



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Ana Carolina Soares Gomes

Cobre: análise do cenário atual da oferta e demanda no Brasil

Rio de Janeiro

2017

Ana Carolina Soares Gomes

Cobre: análise do cenário atual da oferta e demanda no Brasil

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais

Orientador: Prof.^a Dr.^a Nely Palermo

Coorientador: Prof. Dr. Claudio Gerheim Porto

Rio de Janeiro

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

G633 Gomes, Ana Carolina Soares.
Cobre: análise do cenário atual da oferta e demanda no Brasil / Ana Carolina Soares Gomes. – 2017.
145 f. : il.

Orientadora: Nely Palermo.
Coorientador: Cláudio Gerheim Porto.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Cobre – Minas e mineração – Teses. 2. Geologia econômica – Brasil – Teses. 3. Minérios de cobre – Brasil – Teses. 4. Minas e recursos minerais – Brasil – Teses. I. Palermo, Nely. II. Porto, Cláudio Gerheim. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. IV. Título.

CDU 553.43(81)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Ana Carolina Soares Gomes

Cobre: análise do cenário atual da oferta e demanda no Brasil

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais

Aprovada em 29 de março de 2017.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Nely Palermo (Orientadora)

Departamento de Geologia Aplicada - Faculdade de Geologia - UERJ

Prof. Dr. Claudio Gerheim Porto (Co-orientador)

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dr. Gilberto Dias Calaes

Consultoria de Empreendimentos Ltda.

Breno Augusto dos Santos

Geólogo Sênior

Rio de Janeiro

2017

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Maria Antonia e Aluisio (*in memorian*) por todos os ensinamentos sempre com muito carinho e dedicação, ao meu irmão pelo exemplo da busca incessante pelo conhecimento, ao meu marido Anderson por todo amor e compreensão, as minhas tias Eloisa (*in memorian*), Maria Iranice e minha avó Maria José, que sempre me incentivaram para a realização desse mestrado.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial a minha Orientadora Prof^ª. Dra Nely Palermo por toda atenção, empenho e dedicação para me auxiliar na realização desse mestrado.

Ao Co-orientador Prof. Dr. Claudio Porto pelos apontamentos e discussões acerca do tema de economia mineral e do cobre.

Em especial ao geólogo Breno Augusto dos Santos pelo incentivo e apoio durante o processo de realização do mestrado, desde a época da escolha do tema até a finalização dessa dissertação.

Ao Dr. Gilberto Calaes por ter auxiliado nos diversos assuntos abordados nesta dissertação.

A Universidade do Estado do Rio de Janeiro por ter possibilitado o meu engrandecimento de conhecimento e pelos professores e colegas de mestrado, onde pude trocar experiências e amadurecer na pesquisa científica.

Ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social que me permitiu a realização do mestrado, além dos colegas de departamento que me incentivaram a executar esse trabalho.

À equipe da Vale de exploração em Carajás, em especial Cantidiano Freitas, Ronan Barbosa e Serginho (Sérgio Bacelar) que contribuíram com trabalhos científicos sobre o minério de cobre e ajudaram a elevar o meu conhecimento sobre o assunto.

Em especial as amigas Bárbara Nascimento, Caroline Araújo e Lisie Falcão que nos momentos de dificuldade, incentivaram e auxiliaram para a finalização deste trabalho.

RESUMO

GOMES, Ana Carolina Soares. **Cobre**: análise do cenário atual da oferta e demanda no Brasil. 2017. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017

O presente trabalho aborda as questões econômicas do cobre, metal de grande importância mundial presente em diversos setores da economia, mas principalmente na indústria eletroeletrônica. A exploração geológica no Brasil ainda pode ser aprimorada e se deve investir maiores recursos para este fim, só assim o Brasil poderá elevar as suas reservas de cobre e ampliar a sua capacidade de produção de concentrado de cobre. Atualmente, o país exporta a maior parte do concentrado de cobre produzido, mas ainda tem participação reduzida na produção mundial. Ao se abordar o cobre refinado, o Brasil é um grande importador. Principalmente pelo fato do país ter apenas contar com pequena capacidade de produção de cobre refinado, relativamente ao seu consumo. Ademais, diversos depósitos brasileiros de cobre apresentam contaminantes que necessitam de adaptações do *smelter* para a produção de cobre refinado. Os principais depósitos brasileiros estão na Província Mineral de Carajás e são principalmente do tipo *Iron Oxide Copper Gold (IOCG)*, compatíveis com os depósitos australianos e diferentes do principal produtor mundial de cobre, o Chile, onde predominam depósitos do tipo pórfiro.

Palavras-chave: Cobre. Exploração. Reserva. Produção.

ABSTRACT

GOMES, Ana Carolina Soares. **Copper**: analysis of current scenario of supply and demand in Brazil. 2017.145 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

This purpose of this paper is to address the economic issues relating to copper, a metal of major importance in several economic sectors, although primarily within the electronic industry. Geological exploration within Brazil has to be improved to also include a substantial increase in capital investment to enhance this purpose, only then will Brazil be in the position to increase its copper reserves and expand the capacity to produce concentrated copper. The country currently exports most of the produced copper concentrate, but still yields a reduced share by world production standards. In relation to refined copper, Brazil is a major importer, this mainly due to the country's reduced smelter capacity. Moreover, several Brazilian copper deposits are affected by contaminants that require smelter adaptations in the production of refined copper. The main Brazilian deposits are in the Mineral Province of Carajás and mainly comprise of the Iron Oxide Copper Gold type, which is compatible with Australian deposits and which differ from the world's primary copper producer, Chile, where deposits of porphyry are predominate.

Keywords: Copper. Exploration. Reserve. Production

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Fluxograma do processo de produção do cobre metálico	22
Figura 2 -	Composição das exportações brasileiras por categoria	29
Figura 3 -	Composição das exportações brasileiras por categoria	29
Figura 4 -	Composição das exportações do setor mineral	29
Figura 5 -	Composição das exportações dos bens minerais primários	30
Figura 6 -	Composição das importações do setor mineral	30
Figura 7 -	Composição das importações dos bens minerais primários	31
Figura 8 -	Localização dos depósitos tipo pórfiro no mundo	40
Figura 9 -	Mapa de localização do Depósito de Cu-Au Chapada	41
Figura 10 -	Mapa geológico da porção centro-leste da Província Tocantins	42
Figura 11 -	Principais Depósitos de Cobre Austrália	55
Figura 12 -	Produção das minas de cobre no Canadá, por Província e Território, 2015 preliminar	56
Figura 13 -	Mapa do Brasil mostrando a distribuição dos principais depósitos e minas de cobre do país	58
Figura 14 -	Distribuição dos depósitos de cobre mundiais e do Brasil segundo as classes minerais mais importantes	59
Figura 15 -	Estágios e dispêndios em um programa de exploração mineral	66
Figura 16 -	Estimativa de investimentos globais em exploração de não ferrosos	78
Figura 17 -	Principais investimentos de exploração de não ferrosos	79
Figura 18 -	Recursos, Reservas e minas em produção mundial -2014	87
Figura 19 -	Produção Mundial das minas de cobre -1900 -2015	89
Figura 20 -	Produção das minas de cobre por região, 1960 x 2015 (mil t)	89
Figura 21 -	20 principais produtores mundiais de cobre contido em concentrado em 2015 (mil t)	90
Figura 22 -	20 principais produtores de cobre refinado em 2015 (mil t).....	91
Figura 23 -	Produção Global das minas de cobre, 2014-2019.....	92
Figura 24 -	Uso mundial de cobre refinado -1900 -2015.....	94
Figura 25 -	Consumo Mundial de Cobre - 2011.....	94
Figura 26 -	Consumo de cobre refinado por região, 1960, 1980 e 2015.....	95
Figura 27 -	Principais Fluxos Comerciais de minérios e concentrados de cobre.....	96
Figura 28 -	Principais Fluxos Comerciais de cobre refinado.....	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Produção de metais	37
Gráfico 2 -	Produção de Concentrado de cobre, em metal contido, por países	90
Gráfico 3 -	Exportações de cobre refinado	98
Gráfico 4 -	Importações de cobre refinado	99
Gráfico 5 -	Produção de cobre	102
Gráfico 6 -	Distribuição Setorial - consumo do concentrado de cobre	106
Gráfico 7 -	Distribuição Regional da Quantidade Consumida de Concentrado de Cobre	107
Gráfico 8 -	Importação versus Exportação de cobre	109
Gráfico 9 -	Importação e exportação do concentrado de cobre	110
Gráfico 10 -	Exportações brasileiras de concentrado de cobre	110
Gráfico 11 -	Importações brasileiras de concentrado de cobre	111
Gráfico 12 -	Índice de preço de metais com maior comercialização	112
Gráfico 13 -	Preço das commodities definidos pelo LME	113
Gráfico 14 -	Produção de cobre contido em concentrado	116
Gráfico 15 -	Médias mundiais dos custos de mineração de cobre, excluindo receita com subprodutos (em US\$/t)	119
Gráfico 16 -	Comparação entre custos de produção de minas a céu aberto e subterrânea (em US\$/t)	120
Gráfico 17 -	Média dos Custos Operacionais por Região (em US\$/t)	120
Gráfico 18 -	Evolução dos custos operacionais médios da mineração de cobre no Brasil e Chile (em US\$/t)	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Principais minerais de cobre presente nos depósitos.....	17
Tabela 2 -	Produção de Bens Minerais no Brasil em 2014.....	24
Tabela 3 -	Principais reservas minerais do Brasil.....	25
Tabela 4 -	Produção beneficiada dos principais bens minerais do Brasil.....	27
Tabela 5 -	Exportações brasileiras de produtos de origem mineral - Comércio Exterior.....	31
Tabela 6 -	Importações brasileiras de produtos de origem mineral - Comércio Exterior.....	32
Tabela 7 -	Saldo Mineral - Comércio Exterior.....	32
Tabela 8 -	Principais empresas de mineração brasileiras.....	33
Tabela 9 -	Ranking do setor Mineração 2016.....	34
Tabela 10 -	Produção brasileira de metais.....	35
Tabela 11 -	Principais Depósitos do tipo pórfiro em produção no Chile.....	53
Tabela 12 -	Depósitos do tipo pórfiro na região norte do Peru.....	54
Tabela 13 -	Depósitos do tipo pórfiro na região sul do Peru.....	54
Tabela 14 -	Principais depósitos em produção na Austrália.....	55
Tabela 15 -	Principais depósitos canadenses.....	57
Tabela 16 -	Principais Depósitos de cobre do Brasil.....	61
Tabela 17 -	Possíveis futuros projetos de cobre no Brasil.....	62
Tabela 18 -	Preços Unitários dos Serviços de Pesquisa de Cobre.....	67
Tabela 19 -	Estimativa de orçamento de exploração para cobre em área de 1.000 ha....	68
Tabela 20 -	Exploração Mineral da Austrália.....	69
Tabela 21 -	Investimentos em projetos de cobre.....	70
Tabela 22 -	Investimentos para o desenvolvimento de projetos.....	71
Tabela 23 -	Custo médio de produção por país.....	71
Tabela 24 -	Evolução das reservas Brasileiras de cobre -1988 -2000.....	72

Tabela 25 -	Reservas Brasileiras de cobre - Estados -1988-2000.....	73
Tabela 26 -	Evolução das reservas e recursos de cobre do Chile -2001-2007.....	73
Tabela 27 -	Reserva e recurso em separado.....	74
Tabela 28 -	Expansão de minas em operação e projetos de novas minas.....	75
Tabela 29 -	Investimentos em Pesquisa Mineral no mundo.....	79
Tabela 30 -	Investimentos na Mineração para o Cobre.....	80
Tabela 31 -	Investimentos na Mina de Cobre.....	81
Tabela 32 -	Investimentos realizados na Usina para Cobre.....	81
Tabela 33 -	Previsão dos investimentos em pesquisa mineral – 2015/2022/2030.....	82
Tabela 34 -	Investimentos realizados no Brasil.....	82
Tabela 35 -	Previsão dos investimentos em mineração – 2015/2022/2030.....	83
Tabela 36 -	Principais reservas mundiais.....	88
Tabela 37 -	Principais empresas produtoras de cobre.....	92
Tabela 38 -	10 principais minas por capacidade (base 2016).....	93
Tabela 39	Consumo mundial de cobre refinado.....	95
Tabela 40 -	Importação de Concentrado e Minério de Cobre.....	97
Tabela 41 -	Exportação de Concentrado e Minério de Cobre.....	97
Tabela 42 -	Reservas lavráveis.....	100
Tabela 43	Produção Mundial -2010 a 2014.....	101
Tabela 44 -	Produção Bruta.....	101
Tabela 45	Produção Beneficiada.....	101
Tabela 46 -	Consumo interno de cobre no Brasil.....	107
Tabela 47 -	Consumo total de cobre no Brasil no segmento industrial.....	108
Tabela 48 -	Capex dos Projetos Vale - Brasil.....	116
Tabela 49 -	Capex do Projeto Codelco - Chile.....	117
Tabela 50 -	Características do cobre e alumínio.....	124

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	13
1	PANORAMA DO SETOR MINERAL BRASILEIRO	24
1.1	Principais Reservas Minerais	25
1.2	Principais Produções Minerais	26
1.3	Importação X Exportação	28
1.4	Principais empresas de mineração	33
1.5	Comparação de comportamento do mercado de cobre com outros metais selecionados	35
2	GEOLOGIA DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS DE COBRE	39
2.1	Depósito de Cobre tipo Pórfiro (<i>porphyry copper</i>)	39
2.1.1	<u>Depósito de Cu-Au Chapada, Brasil</u>	40
2.2	Depósitos Sedimentares	43
2.2.1	<u>Depósito Sedimentar do tipo <i>copperbelt</i></u>	44
2.2.2	<u>Depósito Sedimentar do tipo <i>RedBed</i></u>	45
2.2.2.1	Distrito de Camaquã	45
2.2.3	<u>Depósito Sedimentar do tipo <i>Kupferschiefer</i></u>	47
2.3	Depósitos do tipo IOCG	48
2.4	Depósitos do tipo Vulcanogênico	50
2.4.1	<u>Depósito de Cobre VMS de Bom Jardim de Goiás</u>	52
2.5	Dados geoeconômicos dos depósitos de cobre	52
2.5.1	<u>Depósitos do tipo pórfiro</u>	52
2.5.2	<u>Depósitos do tipo IOCG e sulfetos maciços</u>	54
2.6	Depósitos de cobre no Brasil	57
3	PANORAMA DA EXPLORAÇÃO DE COBRE	64
3.1	Definição de áreas potenciais	64
3.2	Riscos de exploração mineral	65
3.3	Custos da exploração mineral	67
3.4	Histórico dos teores minerados	72
3.5	Investimentos em exploração	77
4	O MERCADO DO COBRE	87

4.1	Mercado Mundial	87
4.1.1	<u>Reservas mundiais</u>	87
4.1.2	<u>Produção mundial</u>	88
4.1.3	<u>Demanda mundial</u>	93
4.1.4	<u>Comércio internacional de concentrado e metal</u>	96
4.2	Mercado nacional	100
4.2.1	<u>Reservas Nacionais</u>	100
4.2.2	<u>Produção Nacional</u>	100
4.2.3	<u>Demanda Nacional</u>	105
4.2.4	<u>Comércio exterior brasileiro de concentrado e metal</u>	108
4.3	Preços	111
4.4	Custos Referenciais de Implantação e de Operação de Empreendimentos de Cobre	114
4.4.1	<u>CAPEX (Capital Expenditure) - Custos de Investimento em Projetos de Cobre</u>	114
4.4.2	<u>OPEX - (Operational Expenditure)- Custos de Operação (Cash Costs)</u>	118
5	CONCLUSÕES, TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS	123
5.1	Subprodutos, substitutos e concorrentes	123
5.2	Sustentabilidade	125
5.3	Inovação	128
5.4	Tendências e desafios	131
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
	REFERÊNCIAS	138

INTRODUÇÃO

O cobre é um elemento que possui uma elevada capacidade de condução térmica e elétrica e por ser muito versátil, pode ser utilizado em diversos setores econômicos tais como: indústria elétrica e eletrônica (transmissão de energia, na fabricação de equipamentos elétricos e eletrônicos, entre outros); engenharia industrial (usinagem de peças e componentes, produção de peças fundidas para corpos de bomba, válvulas, tubos e chapas para trocadores de calor, entre outros); e indústria automobilística (utilizada em radiadores, carburadores, partes elétricas do veículo e em acessórios).

Em países em desenvolvimento, como o Brasil, com intensos programas de investimentos, principalmente nas áreas de infraestrutura e habitação, os produtos originados do cobre são de grande relevância para a expansão econômica.

O Brasil ainda é importador de um grande volume desse bem mineral, ou seja, não é autossuficiente na produção de cobre, o que mostra a necessidade de expansão das reservas para suprir o crescimento da demanda. Além disso, há uma perspectiva de aumento de demanda por essa *commodity* no país e no mundo.

Para que haja um crescimento das reservas e da produção, os investimentos em exploração e exploração do minério de cobre no Brasil devem ser intensificados.

A maior parte de cobre concentrado produzido no país é oriundo das minas Sossego e Salobo (VALE), no Pará, minas em Jaguarari (Caraíba Mineração), na Bahia, e Chapada (Yamana), em Goiás, que juntas respondem por mais 90% da produção.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2012), o Brasil é o 15º maior produtor mundial de cobre contido em concentrado, com uma produção de 400 mil toneladas em 2011. As reservas nacionais são da ordem de 17,3 milhões de toneladas de cobre contido, assim distribuídas: Pará (85%), Goiás (8%) e Bahia (3%). O consumo nacional per capita de cobre metálico em 2012 era de 2,01 kg/habitante/ano considerado baixo quando comparado à média mundial, de 3,42 kg, o que pode ser explicado pelo baixo nível de investimento em infraestrutura e construção civil.

Objetivos

Este trabalho tem por objetivo: i) analisar os aspectos econômicos do minério de cobre, um bem mineral de extrema importância por ter diversas aplicações na indústria e estar presente no cotidiano da vida humana; ii) elaborar um panorama econômico da exploração

mineral do cobre no país, abordando as questões relacionadas a reservas e produção, bem como a mercado e preços; iii) apontar gargalos ao desenvolvimento do setor no país.

Abordagem metodológica

A pesquisa foi baseada principalmente em dados disponibilizados por entidades públicas e privadas ligadas à indústria mineral no Brasil e no exterior.

Inicialmente foi realizado um levantamento dos dados geológicos e geoeconômicos disponíveis nas páginas eletrônicas das seguintes entidades brasileiras: Ministério de Minas e Energia (MME), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Vale S.A., Mineração Caraíba, Yamana Gold, Paranapanema, Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais não-ferrosos do Estado de São Paulo (SINDICEL), Associação Brasileira do Cobre (ABCOBRE), entre outros.

Também foram feitas pesquisas nas páginas eletrônicas de entidade estrangeiras tais como: Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile), Ministerio de Energía y Mina del Peru, U. S Geological Survey (USGS), Geoscience Australia, Natural Resources Canada, Consultoria CRU, Consultoria KPMG, The International Copper Study Group (ICSG), entre outros.

Destaca-se que houve limitações em acessar determinados dados, principalmente da Consultoria CRU e ICSG devido ao elevado custo, fora do alcance do projeto da dissertação.

Os gráficos e tabelas foram elaborados para a apresentação das informações geoeconômicas.

Após uma análise crítica e a integração dos dados, foi elaborado o texto final da dissertação apresentando o panorama atual do cobre no Brasil, e a discussão das perspectivas futuras desse mercado levando em conta competitividade, sustentabilidade e inovação no mercado de cobre no Brasil, conforme será apresentado a seguir.

Cobre e seus aspectos gerais

O nome cobre deriva do termo "Aes Cyprium"- metal de Chyprus, associado a Ilha de Cyprus (Chipre), ilha do mediterrâneo, onde acredita-se que foram encontradas as primeiras fontes do metal. Posteriormente, o metal ficou conhecido como "cuprum", palavra latina que deu origem ao símbolo químico Cu.

O cobre é um dos metais mais antigos da civilização. Possui grande importância na história e foi o primeiro metal utilizado na idade dos metais. Anteriormente, no período neolítico, ainda na fase da pré-história, conhecida também como "período da pedra polida", aproximadamente a 10.000 a.c., percebeu-se a intensificação do processo de sedentarização e

o surgimento da agricultura na humanidade. O cobre juntamente com os outros metais, ferro e bronze (liga de cobre e estanho) possibilitaram o desenvolvimento de armas e utensílios, sendo este fato de fundamental importância para o cultivo agrícola, e também para a prática de caças.

De acordo com o Procobre, 2016, há provas da existência de antigas minas na península do Sinai, que remontam ao reinado de Senefru (3.800 a.C.), e também, foram descobertos utensílios indicando que a extração do metal era bem definida. O domínio de posse e tecnologia de obtenção do cobre representava nos povos da antiguidade a riqueza e o poder. Durante a Idade Média o cobre continuou a ter seu grau de importância.

O cobre alcançou sua dimensão de metal imprescindível para o desenvolvimento industrial mundial em 1831, quando Michael Faraday transformou a energia mecânica em energia elétrica e a partir daí, a demanda pelo metal cresceu de forma considerável. A Grã Bretanha foi o maior produtor de cobre do mundo, durante grande parte do século XIX, mas, a importância do metal motivou a abertura de novas minas em outras regiões, como os Estados Unidos, o Chile e a África. Assim, foram descobertos importantes usos para o cobre e as melhorias conquistadas na metalurgia permitiram a produção de várias ligas deste metal, ampliando seus campos de aplicação.

Na atualidade, o cobre mantém sua relevância para o homem, graças às suas características que lhe conferem diversidade de aplicações no desenvolvimento tecnológico industrial. É um metal que possui uma elevada capacidade de condução térmica e elétrica e por ser muito versátil, pode ser utilizado em diversos setores econômicos.

O elemento químico cobre é um metal relativamente raro na crosta terrestre. As características do cobre são cor avermelhada, número atômico 29, dureza 2,5 a 3,0, ponto de fusão 1.085°C, brilho metálico, ótimo condutor de calor e eletricidade, dúctil e maleável. Por ser um metal nobre, possui propriedades semelhantes às da prata e do ouro. Apresenta elevada resistência à tensão física e à corrosão. Possui propriedade não magnética e é de fácil formação de ligas com outros metais.

Mineralogia do Cobre

O cobre é um elemento químico que combina com diversos outros elementos químicos. De acordo com *British Geology Survey*, 2007, existe mais de 150 minerais de cobre identificados, entretanto, somente um número reduzido de minerais é importante economicamente.

Os minerais de cobre são divididos em diversas classes que são: minerais sulfetados primários ou hipogênicos, óxidos, sulfetos secundários, silicatos, carbonatos, entre outros.

Para os minerais primários ou hipogênicos, formados a partir de processos hidrotermais, destacam-se os minérios sulfetados e que são mais importantes economicamente. Os minerais em destaque são bornita, calcopirita e enargita.

Para o grupo dos óxidos, formados tipicamente do intemperismo de sulfetos de cobre, tem-se a cuprita como exemplo. Neste grupo também estão inseridos os minerais carbonatados, como a malaquita e azurita, além dos silicatados como a crisocola. Por último, os sulfetos secundários tais como calcocita e covelita, são formados da lixiviação do cobre oriundo da superfície dos sulfetos.

A Tabela 1 a seguir apresenta os principais minerais com as fórmulas e o percentual de cobre presente em cada mineral.

Tabela 1 - Principais minerais de cobre presente nos depósitos

Mineral	Fórmula Química	Máximo de cobre contido (%)
Cobre nativo	Cu	100
Calcocita	Cu ₂ S	79,9
Cuprita	Cu ₂ O	88,8
Covelita	CuS	66,4
Bornita	Cu ₅ FeS ₄	63,3
Malaquita	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	57,5
Azurita	2CuCO ₃ .Cu(OH) ₂	55,3
Antlerita	Cu ₃ SO ₄ (OH) ₄	53,7
Enargita	Cu ₃ AsS ₄	49
Crisocola	CuSiO ₃ .2H ₂ O	36,2
Calcopirita	CuFeS ₂	34,6

Fonte: British Geology Survey, 2007.

De acordo com o Balanço Mineral, 2001, o grupo de minerais sulfetados mais importantes economicamente é composto de calcopirita, calcocita, bornita, covelita e enargita. Entre os secundários, fazem parte o oxidado cuprita, os carbonatados malaquita e azurita e o silicatado crisocola.

Propriedades do cobre e aplicações

O cobre é um metal que possui características tão peculiares que nenhum outro metal consegue oferecer, cabendo destacar:

- a) alta condutividade térmica e elétrica;
- b) resistência a corrosão;
- c) eficácia antimicrobiana;
- d) versatilidade.

A sua excelente condutividade, maleabilidade, resistência a corrosão e biofuncionalidade derivam da origem elementar do cobre.

Uma das principais propriedades físicas do cobre é a sua alta capacidade de conduzir eletricidade. Esta característica distingue o cobre dos outros metais. Por este motivo, é muito empregado em itens como fios, cabos, motores, equipamentos elétricos, entre outros. A condutividade térmica do cobre também merece destaque, já que consegue conduzir calor até 8 vezes mais que outros metais. Esse tipo de condutividade tende a ser relacionada com a

condutividade elétrica, quanto maior a condutividade elétrica, maior é a condutividade térmica.

Sobre as vantagens mecânicas, o cobre por ser um metal macio e maleável possibilita a moldagem e a fabricação de peças em diversos formatos, inclusive podendo ser soldado e polido.

Deste modo, por ter características tão marcantes, o cobre é peça fundamental para o desenvolvimento da tecnologia, isto por que, suas propriedades melhoram a eficiência dos produtos e contribuem para a miniaturização de peças. Além disso, tem excelente capacidade de transmissão de sinais e transferência de dados, mostrando que é um excelente material para ser utilizado em dispositivos elétricos/eletrônicos, tais como microchips, semicondutores e circuitos elétricos.

O cobre e suas ligas têm um papel igualmente importante para os meios de transporte, cabendo destacar as novas rotas tecnológicas associadas aos veículos elétricos e híbridos. Os veículos elétricos podem conter até 50 kg de cobre entre bateria, motor elétrico, compressor elétrico, fiação, entre outros. Os híbridos também possuem uma quantidade expressiva de cobre, em torno de 33 kg.

De acordo com a Procobre, 2015, um ônibus espacial apresenta 4,5 toneladas de cobre, 2% do peso total de um *Jet Boeing* é de cobre e um trem bala possui aproximadamente 20 toneladas de componentes em cobre.

Uma outra característica do metal é a sua excelente resistência à corrosão, o que propicia a sua utilização em diversos ambientes e aplicações, principalmente na arquitetura (interna e externa), linhas de suprimento de água potável e de encanamentos, trocadores de calor e condensadores, fábricas de produtos químicos, conexões para água doce e salgada etc.

Outra característica que vale destacar é a importância do cobre para o meio ambiente. Por ser um metal 100% reciclável e sem perda de desempenho, a sua produção secundária, mediante a reciclagem do metal proporciona significativa redução da produção primária. Assim é que, globalmente, a reciclagem do cobre responde por uma redução de 85% da energia que seria consumida nas operações de extração, concentração e fusão do metal, representando uma economia anual de 100 milhões MWh de energia elétrica e de 40 milhões de toneladas de CO₂, Procobre, 2015.

Para os seres humanos, o cobre é um elemento necessário em baixas concentrações. Ele atua nos sistemas enzimáticos, no desenvolvimento fetal, tecido cardíaco, entre outros. Também é importante no processo de respiração celular e antioxidante essencial, que ajuda a neutralizar os radicais livres que produzem danos celulares graves. Em geral, os seres

humanos e animais obtém o cobre que o seu organismo necessita por meio da natureza e por dieta. Estima-se que o homem necessite ingerir no mínimo 0,9 miligramas de cobre por dia.

Uma outra característica do cobre é possuir propriedades antimicrobianas, ou seja, tem a capacidade de alterar proteínas da célula microbiana, ao ponto de que estas não possam cumprir suas funções metabólicas. Isto somente é possível, pelo fato do metal doar e receber elétrons, devido ao seu alto potencial de oxidação e redução. Os mecanismos produzidos pelo cobre podem inibir ou mesmo eliminar tipos de microrganismos, sejam eles bactérias, vírus, parasitas ou fungos.

As aplicações do metal cobre são bem variadas principalmente pelas características já mencionadas acima (DNPM, 2001 - Balanço Mineral). A seguir serão destacados os diversos setores que utilizam o metal e suas ligas:

- a) indústria elétrica e eletrônica: fabricação de equipamentos elétricos e eletrônicos e aparelhos eletrodomésticos;
- b) engenharia Industrial: serviços de estampagem, forjamento e usinagem de peças e componentes, produção de peças fundidas para corpos de bomba, válvulas, aparelhos da indústria química e petroquímica, tubos e chapas para trocadores de calor, refrigeradores e condicionadores de ar;
- c) construção Civil: para coberturas, calhas, instalações hidráulicas e metais sanitários, fechaduras, ferragens, juntas de vedação e de dilatação, luminárias e esquadrias, entre outros;
- d) transporte:
 - indústria automobilística: radiadores, carburadores, parte elétrica e acessórios;
 - indústria naval: hélices de propulsão, tubulações, tintas anticorrosivas para a proteção dos cascos dos navios, equipamentos, máquinas e instrumentos de navegação;
 - indústria aeronáutica: aparelhos de telecomunicações, linhas hidráulicas de pressão, mancais de trem de pouso e em equipamentos de precisão e controle de voo;
 - indústria ferroviária: cabos condutores aéreos para estradas de ferro eletrificadas, motores e outros equipamentos; e
 - Outros usos para o cobre: cunhagem de moedas, a fabricação de armas e munições, a indústria alimentícia, indústria química, galvanização, entre outros.

Processo de produção do cobre

O processo de descoberta e avaliação de reservas de minérios de cobre e produção e utilização do cobre envolve diversas etapas que são: Exploração (prospecção e pesquisa), Lavra (extração e transporte interno), Beneficiamento (cominuição e concentração) e Transformação (fusão, refino e aplicação do metal).

A prospecção mineral engloba o levantamento inicial das informações disponíveis sobre a geologia do cobre e da área a ser prospectada. Com esses dados são selecionadas as áreas indicativas de mineralizações.

A pesquisa mineral tem o objetivo de descobrir e caracterizar os depósitos econômicos. Um programa de pesquisa deve conter fases de mapeamento geológico de detalhe, levantamentos geoquímicos e geofísicos, além de sondagens e avaliações econômicas.

A mineração propriamente dita é a extração do cobre, conforme mencionado no item 1.5, o minério de cobre está presente em diversos tipos de minerais. A exploração do minério pode ser realizada de duas formas: em minas a céu aberto ou em galerias subterrâneas. O minério retirado das minas, em geral possui um teor de cobre que varia de 0,7%¹ a 2,5% de cobre contido (BNDES , 1997).

Para que haja uma elevação do teor médio de cobre contido, para aproximadamente 30% de cobre, é realizado o beneficiamento do minério. O beneficiamento consiste em diversos processos que tem o objetivo de separar os minerais de interesse dos minerais de ganga (sem interesse econômico) e obter o concentrado com um teor de cobre mais elevado. As etapas de beneficiamento envolvem as seguintes etapas: britagem, moagem, flotação e secagem.

A etapa de britagem é responsável pela fragmentação e redução granulométrica das partículas. Em geral são realizadas duas etapas de britagem. A etapa seguinte é a moagem, onde o material cominuído é misturado a água, transformando em uma lama. Essa lama passa por uma série de moinhos, até que alcance uma granulometria adequada para ser utilizada na próxima etapa que é a etapa de flotação.

A flotação é a etapa de concentração do metal, ou seja, são separados os minerais de interesse dos minerais que não são de interesse. Esta etapa é utilizada para o beneficiamento de minérios com baixo teor e granulometria fina. O processo é baseado no comportamento físico-químico das superfícies das partículas minerais presentes em uma solução aquosa. É

¹ Atualmente os depósitos de cobre possuem um teor de cobre mínimo entre 0,5 a 0,6% de cobre contido.

necessária a utilização de reagentes químicos que possibilitam a recuperação seletiva dos minerais por adsorção em bolhas de ar. Após esse processo de flotação, o concentrado é recolhido da superfície, é desidratado através da filtração e sai com uma concentração de aproximadamente 30% de cobre, tal processo é denominado de secagem.

Com o cobre concentrado, é então necessário a conversão do concentrado em cobre metálico. Esse processo só é possível com a utilização de uma rota metalúrgica. São duas as principais rotas metalúrgicas: a pirometalúrgica e a hidrometalúrgica. A rota pirometalúrgica em geral é utilizada para minérios sulfetados, envolve a etapa de fundição, conversão e refinamento eletrolítico. Já a rota hidrometalúrgica é mais apropriada para minérios oxidados e inclui lixiviação, extração por solvente (SX) e eletrodeposição (EW), também denominada processo SX-EW.

A rota pirometalúrgica é a mais utilizada, envolve as fases de fundição, conversão e refinamento. Nos processos mais modernos as fases são combinadas em um processo contínuo.

Na fase de fundição, o concentrado de cobre é fundido no forno flash a uma temperatura que varia entre 1.000°C e 1.500°C, com a adição de oxigênio, é formado o *matte* de cobre com 35% a 68% de cobre (BNDES, 2012). Na segunda fase, denominado conversão, o material é inserido no forno conversor, que também adiciona oxigênio ao *matte*, para a obtenção do *blister*, que contém entre 97% e 99% de cobre. Na terceira fase, o *blister* passa por um refinamento a fogo a uma temperatura de 1.100°C e é obtido o cobre anodo, com 99,5% de cobre.

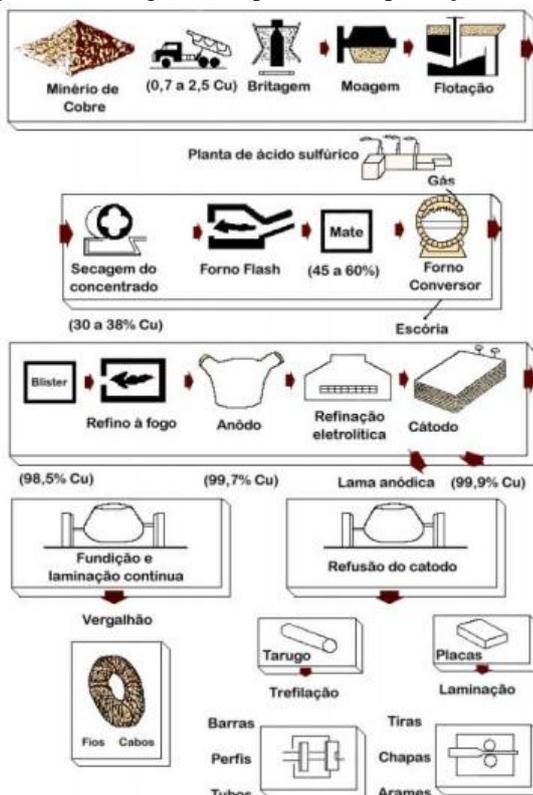
O anodo pode ser utilizado em algumas ligas e moldados, entretanto, para a maioria das aplicações de cobre, é necessário a utilização do catodo de cobre. Para a obtenção do catodo, ou seja, com grau de pureza de 99,9% de cobre, é necessário mais uma etapa, que é o refinamento eletrolítico, onde é produzido o cobre-catodo.

O catodo pode sofrer processo de refusão ou fundição e assim produzir produtos transformados de cobre. O processo de refusão dá origem a produção de tarugos e placas de cobre. A partir da trefilação dos tarugos, produz-se semi-elaborados de cobre, tais como tubos, barras e perfis. A partir da laminação das placas, são produzidos semi-elaborados de cobre nos formatos de tiras, chapas e arames. No caso em que o catodo passa pelo processo de fundição e laminação contínuos, são obtidos vergalhões que produzirão fios e cabos.

Importante mencionar que o refino eletrolítico também obtém subprodutos, tais como ouro, prata e platina, através da lama anódica que se deposita no fundo da célula eletrolítica.

A Figura 1 mostra o processo de produção do cobre via rota pirometalúrgica desde o minério de cobre até o produto final.

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção do cobre metálico



Fonte: BNDES, 1997.

A rota hidrometalúrgica é a mais apropriada para a extração de cobre de minérios oxidados de baixo teor. Ele até pode ser utilizado para minérios sulfetados, entretanto, o minério precisa passar por um processo denominado ustulação², tornando essa rota mais cara para minérios sulfetados.

O processo hidrometalúrgico consiste em lixiviar o minério moído com solventes específicos, sendo o ácido sulfúrico o mais utilizado para obtenção de soluções ricas em cobre, que varia de 30 a 70% de cobre. Após esse processo, a solução é filtrada e ocorre a concentração por técnicas de extração do solvente (SX) e o cobre é precipitado por eletrodeposição (EW), denominado processo SX-EW.

O Processo SX-EW consiste em uma técnica hidrometalúrgica para a obtenção de cobre eletrolítico ou refinado a partir da utilização de solventes e de eletrodeposição. É a técnica mais utilizada em novos projetos de cobre. Na fase de extração por solvente(SX), a

² É o processo de produção de um metal ou forma oxidada, a partir do aquecimento do minério sulfetado a temperaturas abaixo do ponto de fusão ou sinterização do mineral, na presença de um gás, normalmente o ar. Nestas condições ocorre uma reação entre o enxofre do minério com o oxigênio do ar, liberando o metal, ou produzindo uma forma oxidada que passa por processo posterior de redução.

solução ácida produzida pela lixiviação resulta em uma solução rica em cobre que é transferida para a fase final de eletrodeposição(EW). Nessa fase, a solução é reduzida eletroliticamente de sulfato a cobre metálico na forma de catodos de alta pureza (99,99%) sem a necessidade de fundição e refinaria. O que mostra que ela apresenta custos de produção bastante competitivos.

De acordo com BNDES, 2001, em termos de escala, o processo SX-EW apresenta maior flexibilidade, podendo-se operar economicamente plantas de até 30.000 t/ano de cobre contido. No processo pirometalúrgico, a escala mínima utilizada é de 200.000 t/ano.

Além do menor custo de produção do cobre obtido pelo processo SX-EW, podem ser citadas vantagens relativas ao meio ambiente, visto que não há emissão de gases poluentes. No processo pirometalúrgico, a etapa de fundição tem como subproduto gás com enxofre, sendo por este motivo necessária a existência de planta acoplada para produção de ácido sulfúrico a partir deste gás.

Conforme exposto, as principais vantagens sobre a rota pirometalúrgica é a viabilidade em processar minérios de baixos teores, menor impacto ambiental e menores custos de capital e operacionais.

1 PANORAMA DO SETOR MINERAL BRASILEIRO

A indústria mineral brasileira tem um papel importante na economia brasileira. Atualmente representa em torno de 4,0% (DNPM 2015) do PIB nacional e oferece bens minerais utilizados nos mais diversos tipos de indústria. De acordo com o IBRAM, 2015, a Produção Mineral Brasileira (PMB) em 2014 foi de US\$ 40 bilhões e em 2015, US\$ 26 bilhões, uma queda de 35% em relação a 2014. A grande redução do PMB está fortemente ligada a queda dos preços das *Commodities* minerais, principalmente o minério de ferro, que responde por aproximadamente 75% do PMB (IBRAM,2015).

A produção mineral de fato, gera fonte de renda e contribui para fortalecer os índices de crescimento no país, principalmente pelo grande potencial geológico do Brasil e das necessidades ainda presentes para o desenvolvimento do país.

Em 2014, o Brasil obteve mais uma vez recorde de produção de alguns bens minerais (IBRAM 2015), e o minério de cobre está entre eles, conforme Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Produção de Bens Minerais no Brasil em 2014

BENS MINERAIS	Valores em toneladas
Agregados Construção Civil	673.000.000
Minério de Ferro	400.000.000
Bauxita	32.000.000
Alumínio Primário	962.000
Fosfato	6.800.000
Potássio Concentrado	460.000
Zinco Concentrado	250.000
Cobre	219.000
Liga de Nióbio	80.000
Níquel Contido	80.000
Ouro	80

Fonte: IBRAM 2015.

1.1 Principais Reservas Minerais

De acordo com o Sumário Mineral DNPM 2015, os dados de reservas minerais do Brasil quando comparado aos dados fornecidos pelo USGS, mostram que o Brasil possui 98,2% das reservas mundiais de nióbio e 50,6% das reservas mundiais de grafita natural mantendo a posição de primeiro lugar em reservas para estes bens minerais. O Brasil também se destaca na segunda posição em reservas mundiais de tântalo (33,8%), terras raras (17,4%) e níquel (14,7%). Na terceira posição aparecem as reservas de barita (18,5%) e manganês (18,3%).

A Tabela 3 a seguir mostra as principais reservas minerais do Brasil.

Tabela 3 - Principais reservas minerais do Brasil

Substância	Unidade	2010	2011	2012	2013	2014	(%) Mundo (2014)
Nióbio	t	4.096.658	4.133.193	10.565.750	10.693.520	10.827.843	98,2
Grafita Natural ¹	10 ³ t	59.500	58.336	39.805	72.064	70.135	50,0
Tântalo ²	t	35.000	35.906	35.828	35.387	34.279	33,8
Terras Raras ²	10 ³ t	31	40	22.000	22.000	22.000	17,4
Níquel ²	10 ³ t	7.532	8.353	9.056	10.371	12.419	14,7
Barita ²	10 ³ t	5.400	2.900	426.000	422.000	79.900	18,5
Manganês ³	10 ³ t	50.000	50.000	53.500	50.029	116.000	18,3

Legenda: 1- Reserva Lavrável de minério; 2- Reserva Lavrável em metal contido; 3- Reserva Medida em metal contido.

Fonte: Sumário Mineral 2011 a 2105, DNPM.

As principais reservas lavráveis de nióbio no país se concentram em Minas Gerais, mais precisamente em Araxá, e em Goiás, na cidade de Catalão, além do Amazonas, no depósito de Pitinga em Presidente Figueiredo. Nos dois primeiros estados, o principal mineral explorado é o pirocloro [(Na,Ca)2Nb2O6(OH,F)] e no Amazonas o minério é a columbita-tantalita (Mg, Mn, Fe)(Ta,Nb)2O₆.

De acordo com DNPM, mais de 45% das reservas lavráveis de grafita estão localizadas no Brasil. As principais reservas de grafita natural estão localizadas nos estados de Minas Gerais, Ceará e Bahia. Uma das reservas com maior grau de cristalinidade é encontrada no município de Pedra Azul -MG.

O tântalo ocorre principalmente na estrutura dos minerais da série columbita-tantalita. O Brasil é o segundo país com as maiores reservas de tântalo, só perde para a Austrália. As

principais reservas estão localizadas no Amazonas, na Mina de Pitinga, no município de Presidente Figueiredo, e é explotado pela Mineração Taboca do grupo MINSUR S.A. do Peru.

As Terras Raras (ETR) compõem um grupo de elementos químicos da série dos Lantanídeos (número atômico entre 57 a 71, grupo IIIB da Tabela Periódica), começando por lantânio (La) e terminando por lutécio (Lu), acrescidos do escândio (Sc) e do ítrio (Y), que apresentam comportamentos químicos similares. Até 2011 as reservas medidas brasileiras representavam menos que 1% das reservas mundiais e a China sempre deteve a maior participação nas reservas. Em 2012, o DNPM aprovou novas reservas lavráveis nos municípios de Araxá (MG) e Itapirapuã Paulista (SP), elevando o Brasil à posição de segundo maior detentor mundial de reservas de ETR.

Em 2014, o Brasil alcançou a segunda posição em reserva medida em metal contido para níquel, estando abaixo somente da Austrália. A localização das principais reservas no Brasil é nos estados de Goiás e do Pará.

Até o ano de 2012, o Brasil não possuía reservas significativas de barita. A China e a Índia detinham as maiores reservas mundiais. Contudo, em 2012, a Companhia Mineradora do Pirocoloro de Araxá realizou estudos, aprovados pelo DNPM em 2012, que reavaliou as reservas da área da Mina do Barreiro, em Araxá (MG). Em 2013, essas reservas lavráveis eram da ordem de 400 Mt com teor de 20% de barita. Assim, a soma das reservas já conhecidas com esta reavaliação, tornou o Brasil um dos líderes das reservas mundiais de barita.

Para o bem mineral manganês, o Brasil apresenta a terceira maior reserva lavrável de minério ROM, atrás somente de África do Sul e Ucrânia. O aumento das reservas brasileiras se deu pela reavaliação das reservas principalmente no estado do Pará. Os estados com as maiores reservas são Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul.

1.2 Principais Produções Minerais

O Brasil apresenta alguns bens minerais de destaques mundiais, para a produção beneficiada das principais substâncias minerais, o destaque para a participação do Brasil é o nióbio, com 93,7% no mercado. Também são bem minerais de importância na produção brasileira a magnesita, onde o país se tornou o segundo maior produtor com 14,5%. Os bens

minerais crisotila (15,6%), alumínio-bauxita (14,9%), vermiculita (13,9%) e ferro (12,8%) também tem elevada participação na produção mundial, DNPM 2015 - Sumário Mineral.

A Tabela 4 a seguir mostra os números da produção beneficiada desses bens minerais nos últimos anos.

Tabela 4 - Produção beneficiada dos principais bens minerais do Brasil

Substância	Unidade	2010(r)	2011(r)	2012(r)	2013(r)	2014(p)	(%) Mundo (2014)
Nióbio ¹	t	63.329	64.657	82.214	76.899	88.771	93,7
Magnesita	t	483.882	476.805	1.228.426	1.084.194	1.152.233	14,5
Crisotila ²	t	302.257	306.320	304.569	290.825	311.227	15,6
Bauxita	t	29.000.000	31.768.000	34.374.000	33.552.200	35.410.000	14,9
Vermiculita	t	49.976	54.970	51.986	60.379	56.444	13,9
Ferro	t	372.120.057	398.130.813	400.822.445	386.270.053	411.182.786	12,8

Legenda: 1-Metal Contido no Concentrado; 2- Fibras; (r) revisado; (p) preliminar.

Fonte: Sumários Minerais de 2011 a 2015.

O nióbio produzido no país é oriundo de Minas Gerais e de Goiás. A Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), localizada em Araxá, é a maior produtora de nióbio com capacidade para produzir 6 Mt/ano de minério pirocloro (ROM). No município de Catalão, Goiás, está localizada a mina de Boa Vista, que pertencia a Anglo American e que tem capacidade de produzir até 1,3 Mt/ano de minério de pirocloro (ROM). De acordo com o site da Anglo, os ativos de nióbio de Goiás foram adquiridos pela China Molybdenum Co. Ltd (CMOC) em setembro de 2016.

A magnesita beneficiada é produzida majoritariamente na Bahia, com 99,9%. As principais produtoras são Magnesita Mineração S.A.(87,0%), que produziu em 2014 mais de 1 Mt de magnesita, DNPM 2015, Nordeste S.A (9,3%) e Xilolite (3,7%), todas na cidade de Brumado (BA). O Brasil é o segundo maior produtor de magnesita, perde somente para China. A magnesita é utilizada principalmente na indústria refratária, além de aplicações nas indústrias de cimento, fertilizantes e produtos químicos.

A produção de crisotila no Brasil corresponde a 15,5% da produção mundial, é a terceira maior do mundo, atrás de Rússia e China. A lavra de serpentinito pertence a mina de Cana Brava, a única a ser explorada no país, no município de Minaçu em Goiás. As vendas da produção nacional no mercado interno são praticamente todas destinadas para a indústria de artefatos de fibrocimento (99%), além de ser empregado na indústria de cloro/álcalis e na fabricação de peças para freios.

A produção brasileira de bauxita é a terceira maior do mundo, atrás somente de Austrália e China. É concentrada em mais de 90% no estado do Pará, com 32,2 Mt em 2014. As principais empresas atuantes na região são Mineração Rio do Norte (MRN) com 18 Mt, a NORSK HIDRO, 9,5 Mt e ALCOA, 4,7Mt. A produção permanece estável por conta da demanda estável e o custo de energia, item essencial para a produção de alumínio primário. Ainda assim, o setor continua em crise com o custo de produção muitas das vezes superior a cotação do alumínio no LME.

A vermiculita, silicato de alumínio, magnésio e ferro ($[(Mg, Fe^{+2}, Al)^3 (Al, Si)^4 O_{10}(OH)_2 4H_2O]$), pertence ao grupo das micas, com amplo uso na indústria e na agricultura. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial. África do Sul e Estados Unidos produzem mais que o Brasil. As principais produções são concentradas no estado de Goiás, com mais de 90%, seguido de Pernambuco (6%), Paraíba (2%) e Bahia (0,2%), responsáveis pela produção de mais de 56 mil toneladas de vermiculita beneficiada. A maior mina de vermiculita é a mina de São Luiz de Montes Belos, localizada em Goiás e pertence a Brasil Minérios Ltda.

Em 2014 o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial de ferro, atrás de China e Austrália somente. Os principais produtores estão localizados em Minas Gerais (68,4%), Pará (29,2%) e Mato Grosso do Sul (1,2%). As principais empresas produtoras são Vale S.A., Samarco Mineração S/A e Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, que juntas reponderam por mais de 85% da produção.

1.3 Importação X Exportação

A balança comercial brasileira composta de exportações e de importações brasileiras teve no ano de 2014, o grupo de matérias primárias e produtos intermediários como principal componente da balança comercial seguido pelo grupo de bens de consumo. Nas exportações a representatividade do grupo é de mais de 62% e para as importações, mais de 49% conforme as figuras 2 e 3 a seguir.

Figura 2 - Composição das exportações brasileiras por categoria

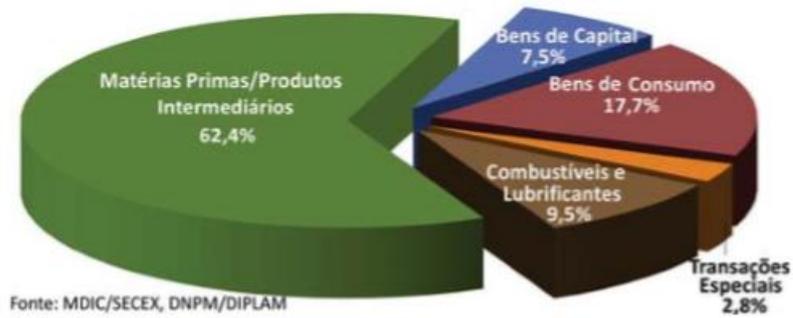
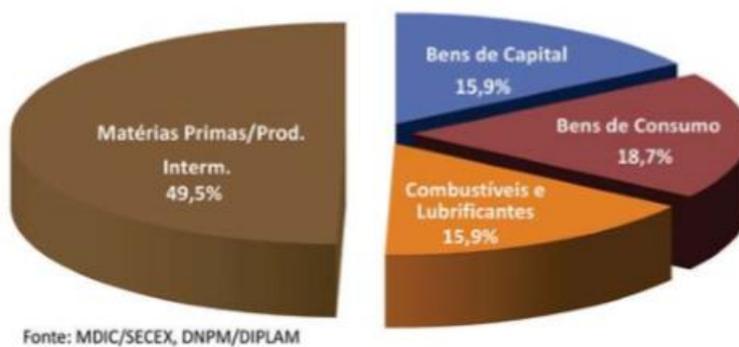
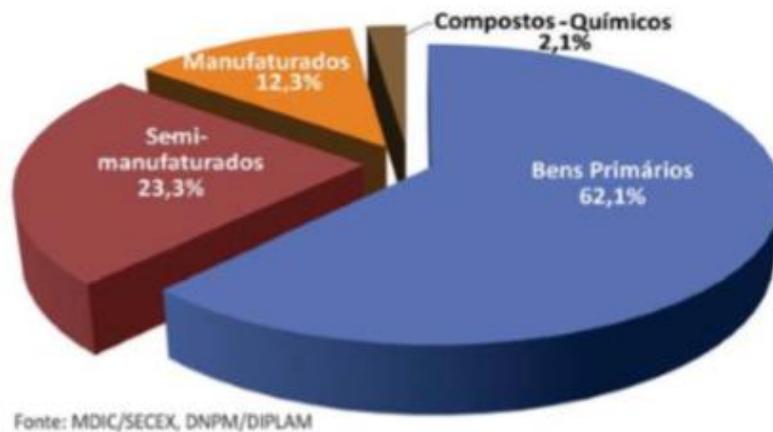


Figura 3 - Composição das importações brasileiras por categoria



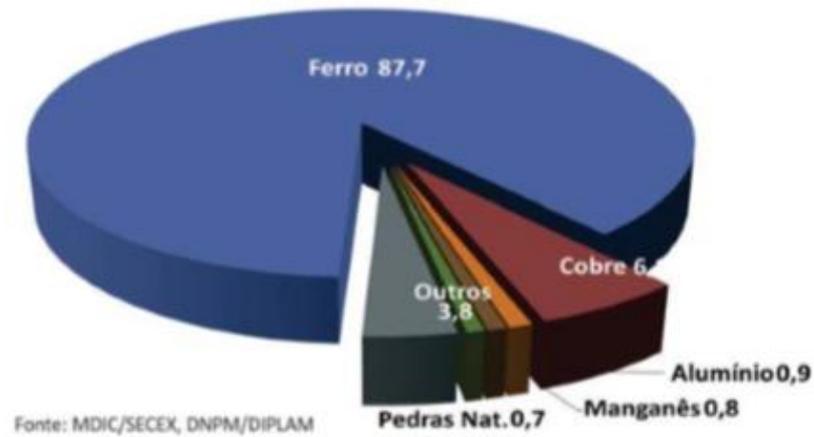
O setor mineral tem grande importância para o comércio exterior, onde mais de 60% das exportações brasileiras do setor mineral são provenientes de bens primários, seguidos dos semi-manufaturados, conforme Figura 4, DNPM -Sumario Mineral 2015.

Figura 4 - Composição das exportações do setor mineral



As exportações são concentradas em minério de ferro que responderam por mais de 87% em 2014, seguida do cobre com 6,1%, DNPM -Sumario Mineral 2015 (Figura 5).

Figura 5 - Composição das exportações dos bens minerais primários



Em relação as importações, cerca de 7,1% das matérias primas e produtos intermediários são de bens primários do setor mineral. Considerando as importações para o setor mineral, os bens primários correspondem a mais de 26% do total (Figura 6), onde potássio e carvão lideram as importações com mais de 74% (Figura 7), DNPM, 2015.

Figura 6 - Composição das importações do setor mineral

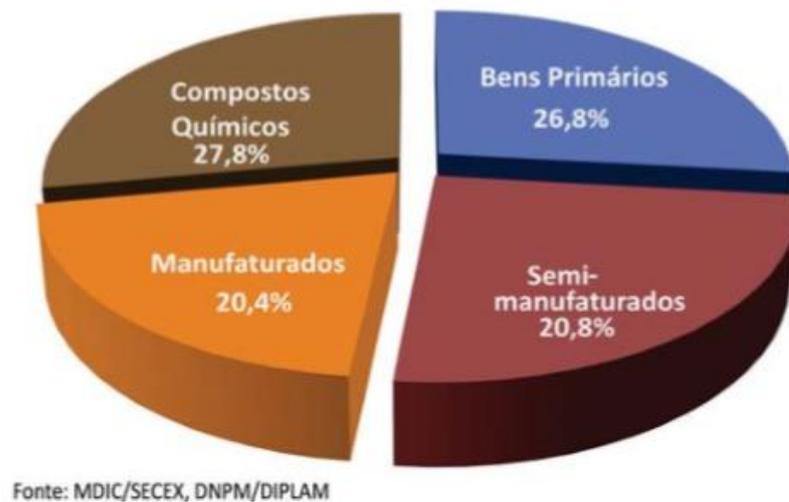
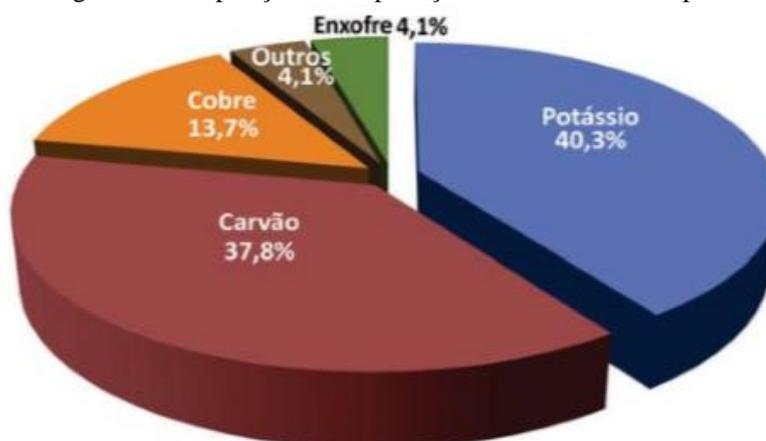


Figura 7 - Composição das importações dos bens minerais primários



Fonte: MDIC/SECEX, DNPM/DIPLAM

As tabelas 5 e 6 a seguir mostram os principais produtos minerais exportados e importados, além do saldo mineral. Para as exportações em valor, os principais produtos são ferro, ouro e cobre. Já para as importações, potássio, carvão e cobre são os produtos mais importados em valor.

Tabela 5 - Exportações brasileiras de produtos de origem mineral - Comércio Exterior
Milhões de US\$ FOB

Exportações	Produtos de origem Mineral	2012	2013	2014	2015
	Ferro	30.989,3	32.491,5	25.819,1	14.076,1
	Ouro	2.664,0	2.668,10	2.322,7	2.324,6
	Cobre	1.510,6	1.826,0	1.805,3	1.984,1
	Alumínio	325,2	340,0	272,4	266,5
	Manganês	201,1	262,5	229,5	149,1
	Pedras Nat. e Revest. Ornamentais	1.060,4	1.302,1	1.276,8	1.209,1
	Caulim	236,3	224,8	209,9	197,0
	Outros	2.312,8	2.042,6	2.319,7	2.078,5
	Total	39.299,7	41.157,6	34.255,4	22.285,0

Fonte: IBRAM, 2016.

Tabela 6 - Importações brasileiras de produtos de origem mineral - Comércio Exterior
Milhões de US\$ FOB

Importações	Produtos de origem Mineral	2012	2013	2014	2015
	Potássio	3.549,8	3.356,1	2.934,2	2.555,4
	Carvão	3.607,3	2.916,6	2.733,6	2.470,0
	Cobre	564,7	1.057,8	976,8	973,3
	Enxofre	205,5	298,7	297,6	308,3
	Zinco	169,0	157,1	131,7	131,0
	Rocha fosfática	205,5	219,9	188,0	205,7
	Pedras Nat. e Revest. Ornamentais	60,9	68,8	67,7	42,3
	Outros	663,5	580,7	567,5	404,1
	Total	9.026,2	8.655,7	7.897,1	7.090,1

Fonte: IBRAM, 2016.

A Tabela 7 mostra o saldo mineral nos últimos anos e identifica que o setor mineral é superavitário, com as exportações sempre maiores que as importações de bens minerais entre os anos de 2012 e 2015.

Tabela 7 - Saldo Mineral - Comércio Exterior

Total setor mineral /ano	Milhões de US\$ FOB			
	2012	2013	2014	2015
Exportações minerais	39.299,7	41.157,6	34.255,4	22.285,0
Importações Minerais	9.026,2	8.655,7	7.897,1	7.090,1
Saldo Mineral	30.273,5	32.501,9	26.358,3	15.194,9

Fonte: IBRAM, 2016.

De acordo com o Sumário Mineral de 2015, o comércio exterior do setor mineral comparado ao comércio total do Brasil é de grande importância, principalmente pelas exportações do setor no saldo da balança comercial. Em 2014, as exportações do setor mineral representaram 19,4% das exportações nacionais, caso não houvesse essas exportações, a balança comercial brasileira sofreria um déficit de aproximadamente US\$ 20

bilhões. Os dados apontam a importância que o setor mineral tem para a balança comercial brasileira.

1.4 Principais empresas de mineração

Como observado no item 2.3, o setor mineral tem grande importância para a balança comercial brasileira. Por ser um setor de relevância no Brasil, existe um número considerável de empresas mineradoras no país. De acordo com IBRAM, 2015, há cerca de 8.870 empresas de mineração, onde a maioria das empresas está localizada no Sudeste (41%) e no Sul (23%) do Brasil. Vale destacar que a indústria da mineração é composta majoritariamente por micro e pequenas empresas, contudo, as grandes empresas apresentam grande desempenho em valor comercial de produção, conforme apresentado na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Principais empresas de mineração brasileiras (continuação)

Empresa	Principais substâncias	Participação (%)*
Vale S.A.	Bauxita Metalúrgica**, Cobre, Ferro, Ouro (Primário), Potássio, Prata (Primária)	40,92
Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	Argilas Refratárias, Bauxita Metalúrgica, Ferro, Filito, Quartzo (Cristal)	8,47
Companhia Siderúrgica Nacional - CSN	Calcário (Rochas), Ferro	2,61
Mineração Maracá Indústria e Comércio S/A	Cobre, Ouro (Primário)	2,60
Mineração Rio do Norte S.A.	Bauxita Metalúrgica	1,92
Nacional Minerios S/A	Ferro	1,75
Anglo American Brasil LTDA	Nióbio (Pirocloro), Níquel	1,47
Rio Paracatu Mineração S.A..	Ouro (Primário), Prata (Primária)	1,37

Tabela 8 - Principais empresas de mineração brasileiras (conclusão)

Empresa	Principais substâncias	Participação (%)*
Anglogold Ashanti Brasil Mineração LTDA	Ouro (Primário), Prata (Primária)	1,32
Samarco Mineração S.A.	Ferro	1,22

Legenda: * Participação percentual da empresa no valor total da comercialização da produção mineral brasileira.

** Atualmente, a Vale possui participação minoritária em uma empresa de mineração de bauxita no Brasil, que é a Mineração Rio do Norte (MRN), contudo tem negociado a venda da mesma de 40% para a Norsk Hydro ASA.

Fonte: Anuário Mineral - 2010.

De acordo com as informações da Tabela 8 acima, a Vale é a maior empresa de mineração do Brasil e lidera com grande vantagem em relação a segunda colocada que é a Minerações Brasileiras Reunidas, que em 2010 era subsidiária da Vale.

A Vale é uma das maiores companhias de metais e mineração do mundo, é líder mundial na produção de minério de ferro e pelotas e maior produtora mundial de níquel. Ela também produz cobre, manganês, ferroligas, entre outros minerais. É uma companhia global que opera em diversos países do mundo e conta com um sistema logístico robusto que inclui ferrovias, portos e terminais marítimos.

De acordo com a Revista EXAME, 2016, a Vale também é a primeira colocada no ranking setor mineração 2016, seguida da Samarco Mineração e Salobo Metais, que também são Vale, com 50% de participação e 100% de participação respectivamente. A Tabela 9 a seguir mostra o *ranking* da revista EXAME.

Tabela 9 - *Ranking* do setor Mineração 2016

Empresa	Controle	Vendas (milhões)
Vale S.A.	Brasileiro	US\$ 11.410,4
Samarco Mineração S.A.	Brasilo-austral	US\$ 1.737,7
Salobo S.A.	Brasileiro	US\$ 900,9
Votorantim Metais Zinco	Brasileiro	US\$ 564,7
Kinross Brasil Mineração	Canadense	US\$ 484,1
Anglo Gold Ashanti	Sul-africano	US\$ 444,6
Mineração Rio do Norte	Brasileiro	US\$ 403,6

Fonte: site exame.abril.com.br/-acessado em 08-01-2017.

1.5 Comparação de comportamento do mercado de cobre com outros metais selecionados

A título de comparação do cobre com outros metais selecionados, a Tabela 10 a seguir mostra a produção dos diversos tipos de metais no Brasil entre 2010 e 2014, levando-se em consideração dependendo do metal, os produtos primários, secundários, concentrado ou contido.

Tabela 10 - Produção brasileira de metais (continua)

Metais	Unid. T				
	2010	2011	2012	2013	2014
Alumínio	9.828	11.862	11.986	11.756	11.941
Alumina	8.040	10.182	10.320	9.942	10.439
metal primário	1.536	1.440	1.436	1.304	962
metal reciclado	252	240	230	510	540
Chumbo	147.369	162.182	191.272	175.207	191.202
Pb Concentrado	19.650	15.100	16.953	15.223	19.831
Pb Contido	12.832	8.545	8.922	8.020	10.978
Metal secundário	114.887	138.537	165.397	151.964	160.393
Cobre	460.840	459.110	433.841	532.929	537.882
Concentrado	213.548	213.760	223.141	270.979	301.197
Metal Primário	224.292	222.550	186.000	236.050	213.085
Produção Secundária (Sucata)	23.000	22.800	24.700	25.900	23.600
Níquel	11.237.368	13.335.517	14.888.342	13.111.790	14.025.172
Ni Minério	11.128.385	13.203.844	14.749.112	13.006.961	13.858.109
Ni Contido	108.983	131.673	139.230	104.829	167.063
Zinco	2.811.261	2.785.370	2.802.150	2.766.069	2.800.863
Zn Minério	2.311.951	2.302.760	2.392.366	2.368.505	2.384.977

Tabela 10 - Produção brasileira de metais (conclusão)

Metais	Unid. T				
	2010	2011	2012	2013	2014
Zn Concentrado	211.203	197.840	164.258	152.147	169.766
Metal primário	288.107	284.770	245.526	245.417	246.120
Ferro Minério	372.120.057	398.130.813	400.822.445	386.270.053	411.182.786
Ouro	62.047	65.209	66.773	79.563	81.038

Fonte: Sumário Mineral 2010-2015 - DNPM.

Conforme apresentado na Tabela 10, seguem algumas descrições por metal selecionado para compor a tabela:

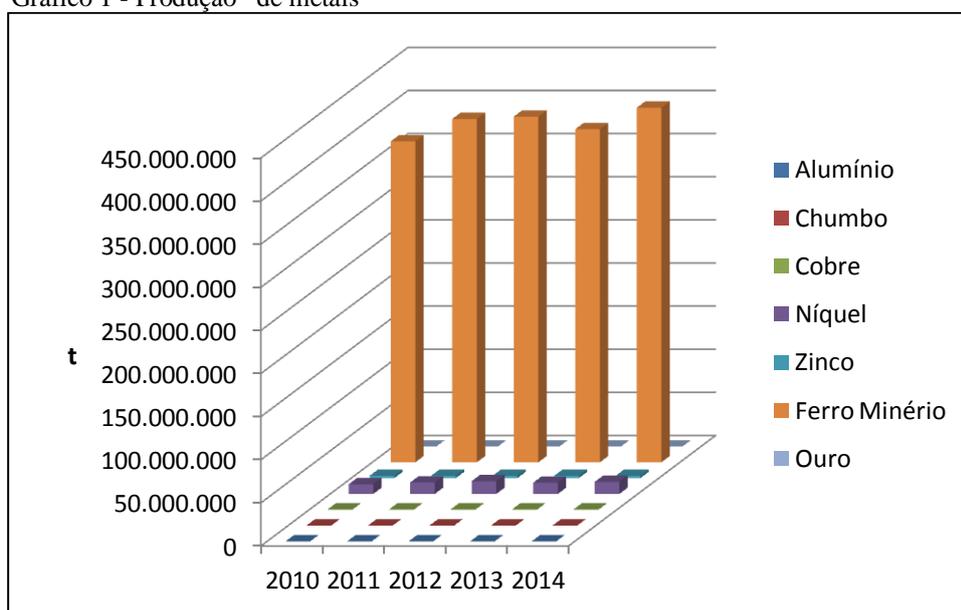
- a) Alumínio: A produção de alumínio primário tem sofrido queda desde 2011, sendo mais acentuada em 2014 com 26,2% em relação a 2013. Segundo o Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico, 2015, a indústria brasileira de alumínio passa por uma deterioração de rentabilidade principalmente pelo custo de energia, redução dos preços de *commodities*, elevação da tributação e aumento das importações. O ambiente é tão desfavorável que nos últimos anos foram fechadas seis plantas que produziam alumínio;
- b) Chumbo: O Brasil não produz chumbo primário, apenas o secundário, proveniente de material reciclado tais como baterias automotivas, industriais e telecomunicações. As usinas refinadoras tem capacidade produtiva de até 160 mil toneladas/ano e são localizadas nos estados de Pernambuco, Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Os principais fornecedores de chumbo primário no Brasil são oriundos da Argentina (31,3%), México (18,7%) e Peru (13,6%). A produção de chumbo secundário elevou em 6% em relação a 2013;
- c) Níquel: A produção brasileira de níquel, incluindo minério de níquel e níquel contido, cresceu em relação a 2013 cerca de 7%, totalizando 14 milhões de toneladas em 2014;
- d) Zinco: A produção brasileira de zinco em 2014 cresceu comparado a 2013, com destaque para o concentrado de zinco que teve crescimento de 12% ante a

2013, totalizando uma produção de 169,8 mil toneladas de concentrado de zinco em 2014;

- e) Ouro: Em 2014 houve um crescimento da produção de ouro frente a 2013 com cerca de 81 t de ouro, posicionando o Brasil em 11º maior produtor mundial, DNPM- Sumário Mineral 2015;
- f) Ferro: em relação a 2013, houve um crescimento da produção de aproximadamente 6%, chegando a produção de mais de 411 milhões de toneladas com teor médio de 63,5%, DNPM -Sumário Mineral, 2015.

De acordo com o Gráfico 1 o minério de ferro é líder em volume de produção nacional de recursos minerais metálicos, seguido de níquel, zinco e cobre. O minério de ferro brasileiro se destaca como maior produção brasileira por ter grandes reservas e de qualidade, alto teor de ferro e uma logística eficiente. Em segundo lugar vem o níquel, com uma produção de metais em 2014, de mais de 14 milhões de toneladas. A produção de níquel se concentra em Goiás e seu parque produtivo pode ser considerado moderno e atualizado devido aos investimentos realizados nos últimos anos.

Gráfico 1 - Produção* de metais



Legenda:*levando-se em consideração dependendo do metal, os produtos primários, secundários, concentrado ou contido.

Fonte de dados: Sumário Mineral -2010 a 2015.

Por fim, vale destacar a produção de zinco que em 2014 foi de mais de 2.800 toneladas. No Brasil a produção de zinco é realizada exclusivamente pela Votorantim Metais Zinco S.A. com minas localizadas em Minas Gerais.

A produção brasileira de concentrado de cobre alcançou em 2014 um total de 301.197 t em metal contido, registrando um aumento de 11,2% frente à de 2013. Os principais produtores são Vale, Salobo Metais, Mineração Maracá e Mineração Caraíba, e, como menores, a Votorantim Metais Níquel e a Serabi.

Em relação a produção do metal primário junto com a produção secundária, sob a forma de catodo, houve uma queda de 9,6% frente à 2013. A maior produtora de catodo do Brasil é a Paranapanema S.A., que representa 94% do cobre refinado do país (Paranapanema, DFP 2014 completa), além da Mineração Caraíba, que produz o restante do cobre refinado. Ambas estão localizadas na Bahia.

De acordo com a Paranapanema, a sua produção de cobre primário sofreu queda de 7% em 2014 e um dos motivos dessa redução se deu pelo cenário macroeconômico do Brasil, que fragilizou o ambiente de negócios e reduziu a atividade industrial do país.

2 GEOLOGIA DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS DE COBRE

Nas próximas décadas o consumo mundial de cobre deverá ter um crescimento considerável e a produção de cobre deverá acompanhar essa demanda. Para que isso aconteça, há a necessidade da expansão das reservas conhecidas e a descoberta de novos depósitos no Brasil e no mundo.

Há uma grande variedade de tipos de depósitos de cobre no mundo. Os depósitos de cobre do tipo pórfiro ("*porphyry copper*") representam cerca de 55% do suprimento mundial deste metal. Já os depósitos sedimentares são a segunda mais importante fonte de cobre e respondem por aproximadamente 20% da produção mundial (BNDES 2012). Entretanto, há outros tipos de depósito de cobre que também possuem importância mundial. A seguir serão detalhados os principais tipos.

2.1 Depósito de Cobre tipo Pórfiro (*porphyry copper*)

No mundo, os principais tipos de depósitos de cobre sulfetado são os depósitos do tipo Cobre pórfiro, que representam cerca de 55 % da produção mundial do metal. Os principais produtores estão no oeste de América do Sul, principalmente no Chile, sudoeste dos Estados Unidos e oeste do Canadá. Esse depósito porfirítico em geral é de grande dimensão e com teores de minério baixo a médio (0,2% a 1%).

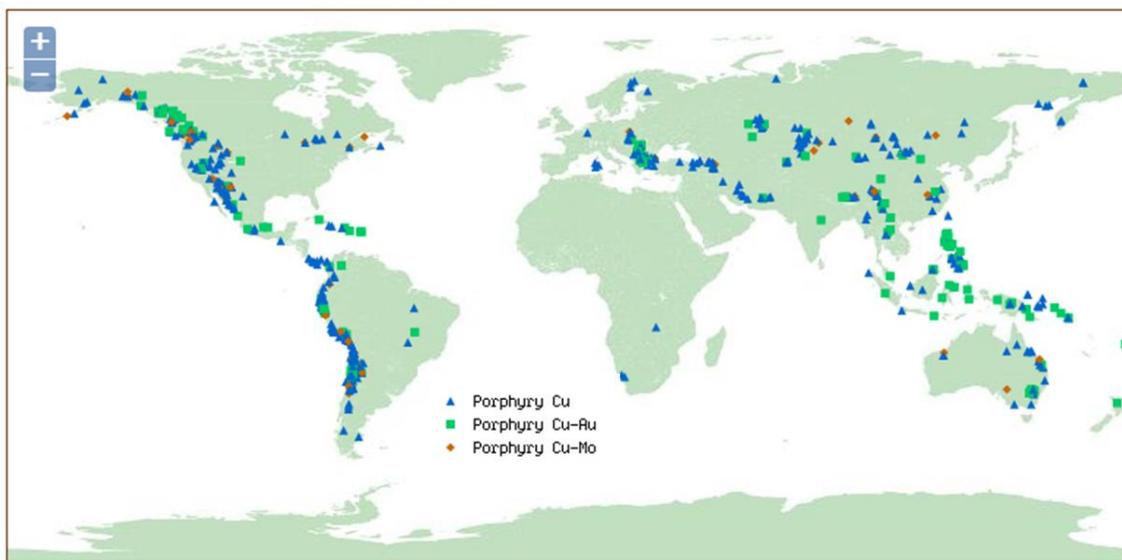
Este tipo de depósito é resultante da concentração de sulfetos a partir de soluções hidrotermais. A distribuição do depósito é controlada por estruturas e espacialmente relacionada a intrusões ígneas dioríticas à granodioríticas. A mineralização encontra-se em geral hospedada em veios de quartzo e rochas encaixantes além de brechas contendo sulfetos de cobre associados a ouro e/ou molibdênio (Sillitoe, 1972).

De acordo com, Sillitoe, 1972, a fonte de metais nas mineralizações tipo pórfiro cuprífero provavelmente são do manto superior, onde uma grande porcentagem de metais foi extraída da crosta oceânica durante sua fusão parcial, à medida que esta é subductada em ambiente geotectônico do tipo convergente.

Em relação a distribuição temporal, os depósitos do tipo pórfiro variam do Arqueano ao recente, porém estão predominantemente associados a cinturões orogênicos Mesozóicos e

Cenozóicos no oeste da América do Norte, oeste da América do Sul e na margem ocidental da Bacia do Pacífico (Figura 8). Há também grandes depósitos em orógenos paleozóicos na Ásia Central e porção leste da América do Norte (Cooke et al., 2005; Sinclair, 2005; Sillitoe, 2010).

Figura 8 - Localização dos depósitos tipo pórfiro no mundo



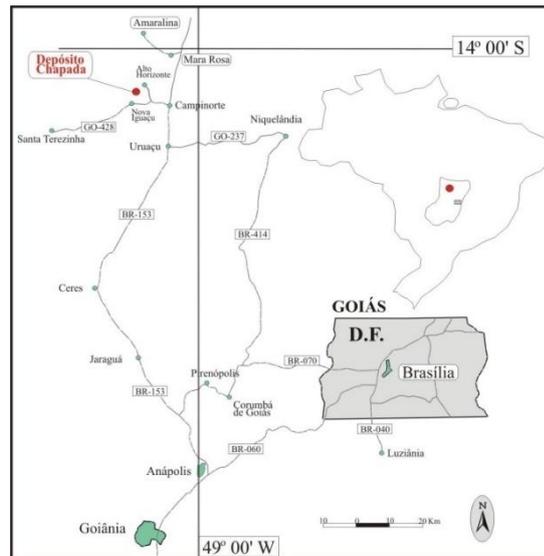
Fonte <http://mrdata.usgs.gov/mineral-resources/porcu.html> - acessado em 04-12-2016.

No Brasil o depósito de Cu-Au de Chapada em Goiás, de idade Neoproterozóica, foi reconhecido por Richardson (1986), como sendo do tipo porfirítico conforme detalhado a seguir.

2.1.1 Depósito de Cu-Au Chapada, Brasil

O Depósito de Cu-Au Chapada está localizado na porção noroeste do estado de Goiás, 3 km a sudoeste de Alto Horizonte (Chapada), 290 km a noroeste de Brasília (Figura 9).

Figura 9 - Mapa de localização do Depósito de Cu-Au Chapada.



Fonte: Bedran, 2010.

No contexto geológico regional, o Depósito se localiza na porção central da Província Tocantins, que representa um orógeno neoproterozóico relacionado ao ciclo Brasileiro, desenvolvido entre o cráton de São Francisco a leste e o cráton Amazônico a oeste, devido à convergência e a colisão de massas na aglutinação do Gondwana ocidental. O Depósito está inserido no contexto do distrito ouro-cuprífero Chapada-Mara Rosa (Oliveira et al., 2000, 2004) e segundo Richardson (1986), é um depósito do tipo cobre-porfirítico associado ao Arco Magmático de Goiás (Pimentel et al. 2004). O Arco se localiza na Porção Sul a Província Tocantins, na transição entre o maciço de Goiás e a porção interna da Faixa Brasília (Figura 10).

Figura 10 - Mapa geológico da porção centro-leste da Província Tocantins

Legenda

- Coberturas Fanerozóicas

- Faixas Paraguai e Araguaia**
- NPap Grupo Alto Paraguai NPt Grupo Tocantins
- NPc Grupo Cuiabá NPe Grupo Estrondo
- Granulitos/ortognaisses (Embasamento?)

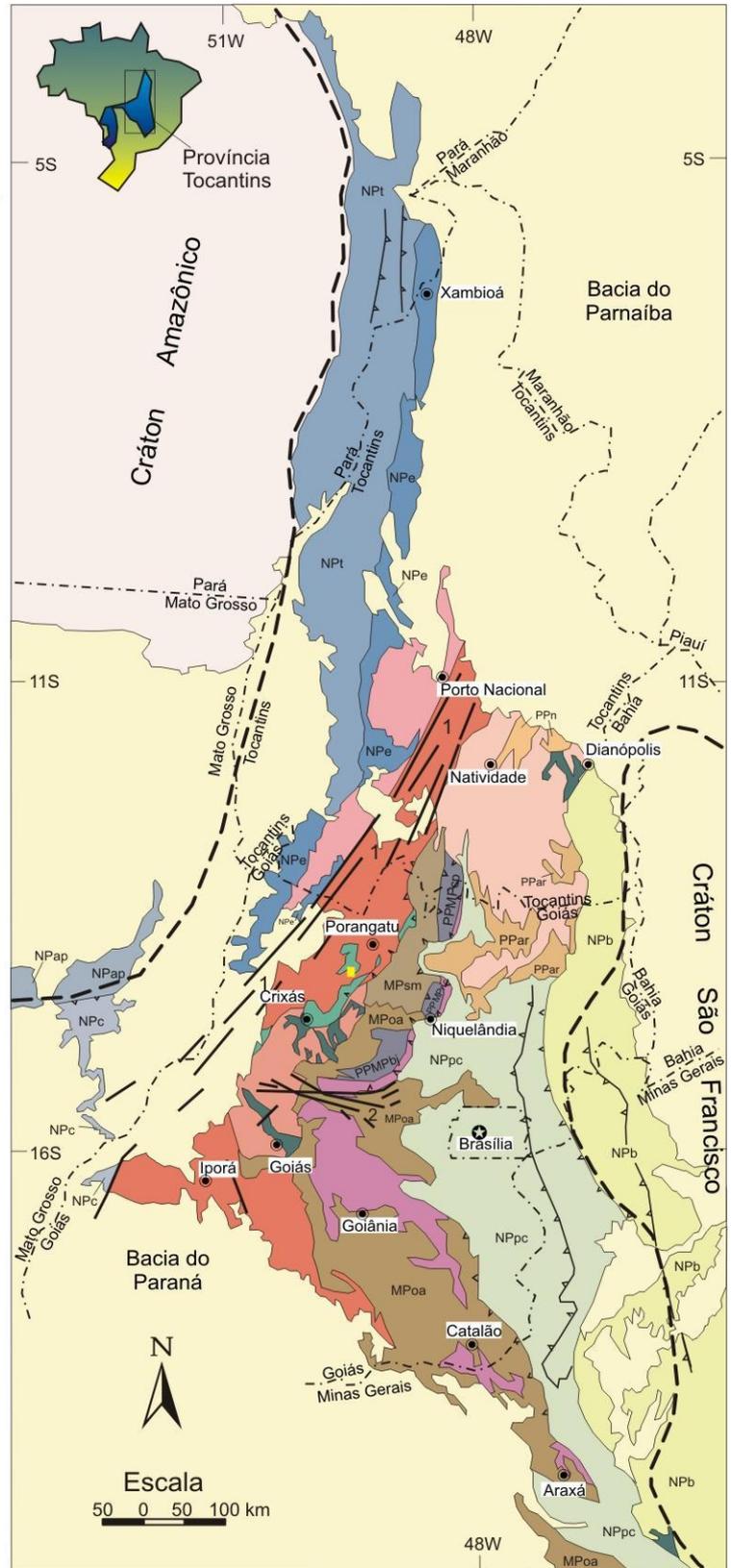
- Faixa Brasília**
- Zona Externa*
- NPb Grupo Bambuí (inclui a cobertura sobre o Cráton São Francisco)
- NPpc Grupos Paranoá e Canastra
- PPar Grupo Araí PPn Grupo Natividade
- Greenstone belts / Ortognaisses
- Zona Interna*
- MPoa Mélange Ofiolítica / Grupo Araxá
- Terrenos Granulíticos + ortognaisses

- Arco Magmático de Goiás**
- Seqüências vulcano-sedimentares
- Ortognaisses

- Maciço de Goiás**
- MPsm Coberturas dobradas / Grupo Serra da Mesa
- Complexos máfico-ultramáficos / seqüências vulcano-sedimentares adjacentes:
 PPMpbj - Barro Alto / Juscelândia
 PPMpnc - Niquelândia / Coitezeiro
 PPMpcp - Cana Brava / Palmeirópolis
- Greenstone belts/Ortognaisses

- Convenções**
-  Principais elementos estruturais:
 1 - Lineamento Transbrasiliano
 2 - Sintaxe dos Pirineus
-  Falhas de empurrão (rampas frontais e oblíquas)
-  Limites geológicos
-  Limites da Província Tocantins
-  Limites estaduais

- Depósito de Cu-Au Chapada



Fonte: Pimentel et al. 2004.

O Depósito Chapada pertence à Mineração Maracá Indústria e Comércio S/A, do Grupo Yamana Gold. É um Depósito de médio porte com operação a céu aberto e cava longa e rasa, com dimensões de 3000 m x 900 m x 220 m e relação estéril/minério 1:1. A reserva é de 421 milhões de toneladas (medida + indicada) com teores de 0,31% Cu e 0,225 g/t Au. Dados de 2007 mostram que foram extraídos 19 milhões de t/ano de minério e produzidos 180.000 t/ano de concentrado, com recuperação de 89% Cu e 55% de Au. Cerca de 80% do concentrado é destinado para a exportação e 20% para o mercado interno (Kuyumjian et al., 2010).

O minério consiste de disseminações de sulfetos ao longo do plano de foliação e em menor concentração de forma maciça em charneiras de dobras e em falhas e fraturas. De maneira geral, o minério é constituído pela associação de calcopirita, pirita e magnetita.

Sobre a mineralização do Depósito Chapada, Richardson et al. (1986) sugere que este depósito se assemelha aos depósitos de Cu e Au porfíricos formados em ambientes de arcos de ilhas intraoceânicos (Yumul et al. 2002) principalmente pelas seguintes características: abundância de minério sulfetado disseminado, predominando calcopirita e pirita, ausência de lentes de sulfetos maciços, teor e volume de sulfetos de Cu e Au compatíveis com depósitos de cobre porfírico; entre outros.

De acordo com Richardson et al. (1986) e Kuyumjian (2000), eventos metamórficos e deformacionais transformaram a paragênese magmática hidrotermal, gerada em ambiente de arco de ilha intra-oceânico. Sendo assim, esses autores consideram o depósito Cu-Au Chapada como tipo pórfiro de idade Neoproterozóica.

2.2 Depósitos Sedimentares

Os depósitos sedimentares são a segunda maior fonte de cobre no mundo e respondem por cerca de 20% das reservas mundiais. Podem ser divididos entre: a) Depósitos Sedimentares *sensu stricto*, ou seja, o minério é hospedado em estratos da coluna sedimentar (singenético); b) Depósitos Sedimentares com mineralização posterior (epigenético), formados a partir de fluidos mineralizantes que percolam os sedimentos encaixantes.

O depósito do tipo *copperbelt*, é um depósito sedimentar *sensu stricto* por deposição química. O cinturão cuprífero da Zâmbia e Zaire é o exemplo típico deste tipo de depósito. Os depósitos sedimentares epigenéticos mais conhecidos são os depósitos estratiformes de cobre,

denominados *Redbed* e *Kupferschiefer*, sendo o primeiro de origem continental e/ou transicional e o segundo de origem marinha. No Brasil, o Distrito de Camaquã é o exemplo do depósito do tipo *Redbed*. Para o depósito do tipo *Kupferschiefer* há apenas ocorrências de São Julião e Aurora no Nordeste. A seguir são apresentados os diversos tipos de depósito de cobre de origem sedimentar.

2.2.1 Depósito Sedimentar do tipo *Copperbelt*

O depósito do tipo *copperbelt*, é um depósito sedimentar por deposição química de origem marinha. O cinturão cuprífero Zâmbia-Zaire é o exemplo típico deste tipo de depósito, que foi formado na linha de costa de uma transgressão marinha.

O cinturão cuprífero Zâmbia-Zaire contém dezenas de depósitos de Cu associado a Co e possui 10 grandes minas, que são lavradas desde a década de 1920. As unidades mineralizadas variam de alguns metros a dezenas de metros, porém as camadas mineralizadas ficam restritas a intervalos estreitos, pouco acima do embasamento. Os teores médios destes depósitos variam de 3% a 6% de Cu podendo alcançar 20% de Cu.

Os depósitos estão alojados em meio a rochas sedimentares do Grupo Roan (Mine Series), do Supergrupo Katanga, datado de 900 Ma. No Zaire, a sequência é dominada por dolomitos, enquanto na Zâmbia predominam rochas clásticas. O minério é sulfetado e em geral localiza-se nas margas dolomíticas e em folhelhos carbonosos pretos, que estão acima de uma sequência de conglomerados. O minério ocorre em paleoaltos e em biohermas. Os minerais de minério de cobre são calcocita, bornita e calcopirita.

Sobre o processo formador do depósito, por conter dolomitos, acredita-se que a sedimentação tenha ocorrido em ambiente hipersalino, conforme indica a presença de magnesita nos dolomitos do Zaire e anidrita na Zâmbia. Sweeny et al. (1991) explicam que o cobre, cobalto, ferro e algum urânio que constituem o minério dos depósitos de Zâmbia-Zaire são provenientes do continente, solubilizados a partir de rochas do embasamento por sistema fluvial e pelo lençol freático continental. A água que migrou no lençol freático com esses metais chegou à bacia costeira precipitando-os em ambiente redutor.

O principal evento mineralizador no cinturão ocorreu no início da diagênese entre 20 a 60°C, em condições redutoras e pH neutro, onde as bactérias presentes nesta bacia se ligaram aos metais, cristalizando sulfetos nos poros sedimentares. Com a continuação do

soterramento, os sedimentos foram transformados em argilitos, folhelhos e dolomitos mineralizados. Além disso, parte das soluções migraram lateralmente e verticalmente mineralizando sedimentos arenosos e preenchendo fraturas e bolsões nas bordas da bacia.

O exemplo brasileiro deste tipo de depósito *copperbelt* é o Depósito de cobre de Terra Preta (MT).

2.2.2 Depósito Sedimentar do tipo *RedBed*

O depósito de cobre do tipo *Redbed* ocorre em ambiente divergente, em bacias limitadas por falhas, incluindo rifts. Os *Redbeds* são constituídos por arenitos, siltitos e argilitos essencialmente continentais encaixados em arcósios ou folhelhos e, em geral estão situados próximos a sequencias evaporíticas. O ambiente deposicional varia de alta a baixa energia. São depositados em bacias fechadas com fácies de leque aluvial e lacustre, que favorecem a oxidação e fluídos salinos capazes de transportar o cobre. Sobre a distribuição temporal, a maior parte dos depósitos conhecidos é do Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico e poucos registros de depósitos no pré-cambriano.

Este tipo de depósito varia em espessura de alguns metros a dezenas de metros com extensão lateral que pode atingir vários quilômetros. Em geral, ocorrem em forma de lentes ou camadas. A mineralização sulfetada cuprífera está localizada próximo a rochas oxidadas. A tonalidade avermelhada dos sedimentos clásticos encontrados nas sequencias sedimentares que constituem os *Redbeds* deve-se à presença de hematita, que recobre ou cimenta os grãos.

No depósito do tipo *Redbed*, o minério principal é a calcocita e a pirita, mas também estão presentes outros sulfetos de cobre tais como calcopirita, covelita e bornita.

No Brasil o depósito do tipo *Redbed* conhecido é o Distrito de Camaquã, que será detalhado a seguir.

2.2.2.1 Distrito de Camaquã

As minas de Camaquã são o exemplo brasileiro do depósito do tipo *Redbeds*. Estão situadas na porção central do Escudo Sul Riograndense e foram por muitos anos no século 20

a principal fonte de cobre extraída no Brasil. São as únicas minas de cobre exploradas em rochas sedimentares do Neoproterozóico.

As minas de Camaquã estão hospedadas por uma sequência sedimentar do Neoproterozóico denominada Formação Arroio dos Nobres do Grupo Bom Jardim. A Bacia do Camaquã foi preenchida e deformada durante as fases tardias da Orogenia Brasileira.

De acordo com Ribeiro (1991) as minas de Camaquã possuem dois tipos de filões. Na mina de São Luiz, filões maciços e contato brusco com a encaixante, ausência de ação térmica e composição mineralógica de pirita, calcopirita, quartzo, hematita e rara barita. Já a Mina Uruguai os filões apresentam predomínio de calcocita e bornita e os filões se ramificam para o interior da rocha encaixante e a disseminação dos sulfetos tem seus limites difusos.

A Mina Uruguai é composta por dez veios subparalelos com mais de 600m de comprimento e até 2m de espessura, com intenso fraturamento que, no plano horizontal, estende-se por 600 m de largura, mais de 1 km de comprimento e 700 m de profundidade. Todas as falhas possuem brechas dispostas em *stockwork*. Na porção noroeste da mina, mais importante economicamente, localizava-se disseminações de calcocita e bornita e filões maciços de bornita, ao passo que na de sudeste ocorriam disseminações de baixo teor com calcopirita e pirita e filões de calcopirita com ganga de hematita e quartzo.

Na Mina São Luiz a área mineralizada abrange 700 m de comprimento por 20 m a 110 m de largura. As fraturas principais apresentam uma zona mineralizada atingindo 10 m a 15 m. Predominam filões de quartzo com calcopirita e, na porção noroeste, com calcocita. O minério disseminado ocorre a sudoeste dos filões, principalmente no topo do Conglomerado Inferior, com espessuras de 1 a 15 m e é composto por calcocita (Teixeira & Gonzalez 1988).

Os filões de metais base das Minas do Camaquã são interpretados como veios epitermais com possível conexão a uma intrusão distal, a qual deve ter atuado como fonte de calor que gerou um sistema convectivo no qual soluções salinas capturaram Cu, Au e S das rochas sedimentares circundantes e metamórficas do embasamento em profundidade. Contudo, as características dos depósitos locais sugerem um fluxo de fluídos altamente canalizados após extensivo período de circulação em profundidade, coleta de metais das rochas sedimentares adjacentes e posterior focalização estruturalmente controlada por falhas e fraturas.

2.2.3 Depósito Sedimentar do tipo *Kupferschiefer*

O depósito do tipo *Kupferschiefer* é de origem hidatogênico³. Segundo, Maucher (1957), o processo mineralizador do subsistema sedimentar hidatogênico é definido por todo acúmulo de metais, formado em consequência da circulação de água não magmática, que desloca metais das rochas percoladas e os deposita em locais privilegiados.

Este depósito é oriundo de ambientes lagunares e marinhos e estão depositados em folhelhos betuminosos em corpos estratiformes. O principal depósito está localizado sobre a Europa Central, do leste da Polônia até a Alemanha.

Em relação à geotectônica, esse tipo de depósito está em plataforma marginal, com deposição durante transgressão marinha. De acordo com Blundell et al. (2003), os fluidos salinos vindos das partes mais basais da bacia seriam conduzidos por falhas e fraturas até atingir os folhelhos *Kupferschiefer*. E através das condições favoráveis nos folhelhos, haveria a precipitação do sulfeto de cobre, formando o depósito.

As áreas lavradas de *Kupferschiefer* tem cerca de 3% de Cu, 1% de Zn e 1% de Pb. Na Alemanha tem espessura de até 25 cm e foi lavrado em uma área de 140 km². Os folhelhos de *Kupferschiefer* depositaram-se discordantemente dos arenitos de cores claras (*Rotliegendesredbeds*) e estão recobertos por calcários dolomíticos e por evaporitos. Os metais distribuem-se segundo uma zonalidade, da base para o topo, do continente para o mar aberto, os minerais de cobre e ferro do minério distribuem-se conforme: hematita, idaitacovelita, calcocita-digenita, tetraedrita, bornita, calcopirita, pirita. Essa zonalidade é reconhecida pelas paragêneses dos minérios que variam conforme o estado de oxi-redução do ambiente, a hematita predomina nas facies mais oxidadas (zonas litorâneas) e em direção a facies redutora (mar profundo) aparecem calcocita e bornita e no ambiente redutor destaque para a calcopirita e pirita.

O processo de formação do depósito do tipo *Kupferschiefer* tem a ver com o fluido que é de salmouras provenientes de *RedbedsRotliegendes* sobre os quais os folhelhos mineralizados se depositaram. Tais fluidos são, sobretudo, águas meteóricas ácidas que percolaram o embasamento e os sedimentos e lixiviaram metais-base dos sedimentos detríticos e de rochas vulcanoclásticas depositadas nas bacias durante e/ou após a deposição dos *Redbeds*.

³ Modificado por substância no estado líquido.

A subsidência dessas bacias causadas principalmente por falhas e abatimentos, promoveu a geração de uma transgressão marinha, favorecendo a deposição de folhelhos, siltitos e dolomitos *Kupferschiefer*. Com o aumento do peso da coluna sedimentar, a geração de gradiente térmico e a presença de falhas, as salmouras conseguiram migrar em direção as áreas de menor pressão. Nas bacias onde havia a presença dos folhelhos, os fluidos percolaram sob os folhelhos, que estavam em fase inicial de diagênese, promovendo a cristalização de pirita. Entretanto, a maioria dos fluídos atingiram os folhelhos tardiamente, com a diagênese em estado avançado e já havia uma barreira de folhelhos e dolomitos impedindo a dispersão das salmouras. Nesta etapa os fluidos permaneceram na interface *Redbeds* e folhelhos, promovendo uma migração lateral dos fluídos mudando sua composição e temperatura.

A cristalização dos sulfetos foi causada pela existência nos folhelhos e dolomitos, de enxofre proveniente da redução dos sulfatos causada por bactérias ou por reação termo-química dos sulfatos com matéria orgânica.

2.3 Depósitos do tipo *IOCG*

Os depósitos do tipo *IOCG* (*Iron Oxide Copper Gold*) representam um dos grandes alvos de pesquisa mundial, desde a descoberta do depósito de *Olympic Dam* na Austrália (Roberts & Hudson, 1983), por apresentar reservas e teores significativos de Cu, além de enriquecimento polimetálico que inclui Au, Ag, U, ETR, Co, Ni, Pd, Nb e P. Ainda que haja um elevado número de estudos sobre este tipo de depósito, ainda não há um modelo genético consensual, uma vez que a diversidade de características dos depósitos do tipo *IOCG* relativas aos seus ambientes geotectônicos de formação, idades, rochas hospedeiras e tipos de alteração hidrotermal, que sugerem diversos processos geológicos poderiam ter sido responsáveis pela gênese dos depósitos (Hitzman, 2000; Williams et al., 2005).

De acordo com Groves et al, 2010, os depósitos do tipo *IOCG* são depósitos magmáticos-hidrotermais que contém principalmente Cu e Au, são estruturalmente controlados, contém significativo volume de brechas, são comumente associado a alterações sódica ou sódica-cálcica, possui alteração e/ou zonas de brechação em larga escala, as vezes até regional, entre outras características. Ademais, os principais depósitos *IOCG* em termos de recursos de cobre e ouro são Pré-cambrianos.

Segundo Brito (2010), este tipo de depósito é considerado como a expressão metassomática de eventos de alteração de larga escala crustal relacionada com intrusões. Sua formação é atribuída a um evento termal relacionado a metamorfismo de baixo a médio grau e intrusões máficas e/ou granitos do tipo I ou A distais, em contextos estratigráficos com abundância de *BIF*. Manifestam-se por sistemas de alteração cálcio sódica com expressão de dezenas a centenas de quilômetros quadrados, controlados por estruturas crustais de grande escala. Atualmente, depósitos desta categoria no Brasil são reconhecidos apenas na Província Mineral de Carajás (PMC). Os principais depósitos são Salobo, Sossego, Igarapé Bahia - Alemão, entre outros.

Como exemplo de depósito do tipo IOCG será exemplificado o Depósito de Salobo. O depósito de Cu (Fe Ag Au Mo) do Salobo é a maior jazida de cobre do Brasil, com 789 milhões de toneladas de minério contendo 0,96% Cu, 55gAg/t e 0,52gAu/t (Vianna 1997). Este depósito foi descoberto em 1977 pela Docegeo, como resultado de *follow up* de anomalias geoquímicas de sedimentos de corrente e de levantamentos geofísicos (Farias & Saueressig, 1982).

Salobo está localizado 30km a norte das minas de ferro da Serra de Carajás, em uma faixa montanhosa composta pelas rochas do Grupo Salobo Pojuca, que se estende por 3,5 km de direção WNW- ESE, balizadas a norte, por gnaisses trondhjemíticos e, a sul, por quartzitos. De acordo com Siqueira & Costa (1991), o depósito Salobo corresponde a uma estrutura duplex formada por duas zonas de cisalhamento: uma curvilínea a norte e uma retilínea a sul. Esta zona de cisalhamento desenvolveu-se há 2555 ± 4 Ma (Machado et al. 1991), imprimindo a todas as rochas do depósito, com exceção das intrusões mais jovens, forte foliação subvertical, muitas vezes de caráter milonítico. A zona mineralizada tem espessura de 300 a 600m, que se prolonga para além de 700m de profundidade. Os minerais de minério consistem principalmente de bornita e calcocita, com calcopirita subordinada, hospedadas em bandas ricas em magnetita (Lindenmayer 1981, 1990; Farias & Saueressig 1982).

As rochas hospedeiras do Salobo foram formadas sob a influência de um sistema hidrotermal em temperatura decrescente (Lindenmayer 2003). A alteração hidrotermal é caracterizada por fluidos magmáticos, altamente salinos (34 a 52% eq. NaCl), que evoluíram para fluidos menos salinos (21,1 para 1,2% eq. NaCl) em temperaturas mais baixas, após se misturarem com fluidos de origem exterior (Ronchi et al. 2003).

Todos os modelos genéticos até hoje propostos reconhecem a forte influência de uma assinatura granítica na área, indicada principalmente pelo conteúdo elevado dos grandes íons

de elementos litófilos, U, F, Mo e ETR. A ausência de texturas miloníticas dos sulfetos de Cu sugere que ele seja tardio ao desenvolvimento das zonas de cisalhamento, cujos anfíbolitos milonitizados foram datados de 2555 ± 4 Ma por Machado et al. (1991).

O depósito de Salobo apresenta muitas semelhanças com os do tipo Olympic Dam (Oreskes & Hitzman 1993) no que diz respeito à associação de metais, de teores (exceto com relação à enorme quantidade de magnetita, característico de Salobo) e ao ambiente tectônico extensional. A alteração fílica tardia, no entanto, parece ser uma característica única dos depósitos de *IOCG* de Carajás.

2.4 Depósitos do tipo Vulcanogênico

São depósitos subaquáticos formados em águas profundas, com mais de 800 m, resultado da precipitação química de metais e outros elementos químicos a partir de exalações de fluidos hidrotermais. Esse tipo de depósito é conhecido como Tipo *VMS* (*Volcanogenic Massive Sulphide*) são também conhecidos como *VHMS* (*Volcanic Hosted Massive Sulphide*).

O modelo de formação dos depósitos Tipo *VMS*, tem por base a formação de células de convecção hidrotermal, em zonas vulcânicas ativas de espriamento oceânico. A água do mar se infiltra através de estruturas no assoalho oceânico, como fraturas e falhas, sendo aquecida em profundidade. Nesta movimentação, o fluido aquecido lixivia os metais da pilha vulcânica ou vulcano-sedimentar. Também pode ocorrer misturas com fluidos magmáticos, provenientes de intrusões subvulcânicas. Este fluido quente, reduzido e com um grande conteúdo de metais, é exalado no assoalho oceânico ou próximo deste. Resfria pela interação com a água do mar oxidante, o que gera a precipitação de sulfetos, sulfatos e óxidos de ferro.

De acordo com Brito, 2010, cerca de 15% das reservas mundiais de cobre ocorrem em jazidas vulcanogênicas e são explorados para cobre, chumbo e zinco, com ouro e prata como subprodutos.

Os depósitos vulcanogênicos podem ser divididos entre proximais e distais. Os depósitos cujos corpos mineralizados estão em meio a rochas do edifício vulcânico são denominados proximais e em geral possuem característica de cogumelos ou cálices, onde sua parte superior, mais larga, é constituída por concentrações maciças de sulfetos, com mais de 30% em peso. Já os depósitos formados junto a exalações vulcânicas, co-genéticos, mas distantes do edifício vulcânico, são denominados depósitos distais.

De acordo com Mudd et al 2013, os depósitos vulcanogênicos ocorrem em toda a história geológica, do arqueano aos dias modernos e estão distribuídos globalmente em depósitos menores a gigantes, como o depósito de classe mundial *Kidd Creek*, Ontario, recursos atuais de 27,4 milhões de toneladas (Mt) com 0,16%Pb, 5,06%Zn, 2,00%Cu e 52,7g de Ag, com uma produção passada de 145Mt com 0,2%Pb, 6,13%Zn, 2,31%Cu e 80g de Ag) e *Windy Craggy*, British Columbia (297,4 Mt a 1,38%Cu, 4g/t Ag e 0,2g/tAu; Galley et al., 2007).

Os depósitos proximais e distais se diferenciam conforme o período geológico durante os quais são formados assim como os tipos de rocha os quais se associam. Os exemplos mais clássicos são os sub-tipo Kuroko, Chipre e Beschi.

O sub-tipo Kuroko consiste de sulfeto maciço associado a rochas piroclásticas e domos félsicos a intermediários e sedimentos associados, em particular folhelhos ricos em matéria orgânica, de ambiente de arco de ilhas e *greenstone belts*. Distribuem-se do Arqueano ao Terciário. Economicamente são explorados principalmente para cobre, chumbo e zinco, tendo como subproduto o ouro e a prata. A média de 509 depósitos do tipo Kuroko conhecidos no mundo mostram recursos contidos de aproximadamente 1 milhão de toneladas de minério com 1,5% Cu, 3% Zn, 1%Pb, 15% Fe, 50 ppm Ag e 0,5 ppm Au (Mosier et al., 1983).

Os depósitos do sub-tipo Chipre são todos do fanerozóico e se formam em regiões de dorsais meso-oceânicas, em meio a basaltos oceânicos. Geometricamente são muito parecidos com o do sub-tipo Kuroko, embora com dimensões bem maiores. Tem até 15 milhões de toneladas de minério e teor de cobre de até 4%. São identificados pela composição do minério maciço à pirita (predominante), pirrotita, calcopirita e um pouco de esfalerita, e pela mineralogia das zonas de alteração hidrotermal, onde predominam a cloritização e a silicificação.

O sub-tipo Beschi é o equivalente distal do depósito proximal do tipo Chipre, são associados a basaltos e tem minério piritoso, com cobre e zinco, sem chumbo nem sulfatos.

No Brasil, o depósito VMS de cobre conhecido é o Depósito de cobre de Bom Jardim de Goiás, localizado no Arco Magmático de Goiás, em Goiás, que será detalhado a seguir.

2.4.1 Depósito de Cobre VMS de Bom Jardim de Goiás

O Depósito de cobre de Bom Jardim de Goiás situa-se no extremo oeste do Estado de Goiás, 30 km a sul da cidade de Bom Jardim de Goiás. As pesquisas desenvolvidas para Projeto Bom Jardim estimaram reserva de 4.575.660 t de minério, com teor médio de 0,92% de Cu. O minério foi identificado como constituído predominantemente por calcopirita e com teores de ouro de até 0,9 ppm (Oliveira 2000).

No contexto geológico regional, o Depósito Bom Jardim de Goiás está inserido no Arco Magmático de Goiás.

O minério predominante no Depósito de Bom Jardim de Goiás é constituído pela associação entre pirita e calcopirita, com magnetita, pirrotita, hematita, covelita, esfalerita, ilmenita, rutilo, ouro, actinolita, clorita, biotita, epidoto, titanita e calcita como minerais de ganga (Seer 1985, Guimarães 2007). A mineralização ocorre na forma de grãos disseminados nos tufos, em veios/vênulas maciços com espessuras variadas, desde milimétricas até 3 metros, e em brechas. Dentre os sulfetos e óxidos a pirita é o mineral mais abundante.

De acordo com Brito, 2010, o depósito possui as seguintes características do modelo genético: minério hospedado em rochas vulcânicas piroclásticas, de composição intermediária, cálcio alcalinas, com assinaturas geoquímicas e isotópicas de arco vulcânico, associadas a lâminas de chert e sequência de basalto/ andesitos com estruturas pillow e pillow brechas, tufos básicos e rochas piroclásticas ácidas e corpos intrusivos de composição diorítica; mineralização predominantemente alojada em veios/vênulas com intensa silicificação, cloritização e epidotização localizada, no sentido das hospedeiras tufáceas, e localmente em brechas e disseminações nas encaixantes; mineralogia constituída predominantemente por pirita e calcopirita com raras inclusões de ouro rico em prata na pirita.

2.5 **Dados geoeconômicos dos depósitos de cobre**

2.5.1 Depósitos do tipo pórfiro

No mundo os principais depósitos são do tipo pórfiro, ICSG 2015, o Chile juntamente com o Peru apresentam a maior parte de suas reservas em depósitos desta natureza. Abaixo serão apresentadas algumas particularidades para o caso Chile.

O Chile está inserido numa região de encontro de placas tectônicas, de intensa orogênese e onde estão localizados os Andes. Nesta região houve intensos processos magmáticos e os depósitos minerais são associados a rochas ígneas intrusivas félsicas a intermediárias que corroboraram para o desenvolvimento dos grandes depósitos porfiríticos chilenos.

Estes depósitos contêm principalmente cobre, molibdênio e ouro e podem conter corpos cilíndricos de diâmetros que variam de metros a quilômetros. São depósitos de grande tonelagem e baixos teores. Diversos depósitos podem ser identificados através de imagens de satélite que mostram anomalias esbranquiçadas relacionadas a alterações hidrotermais em volta dos depósitos que se apresentam nas imagens de satélite em formas arredondadas.

De acordo com Makshev, 2004, o Chile possui alguns dos maiores depósitos tipo pórfiro do mundo como El Teniente e Chuquicamata, o último na região de Antofagasta, área esta que registrou em 2015 mais de 53% de toda a produção de cobre no país, segundo *Servicio Nacional de Geología y Minería, 2015*.

Na Tabela 11 são apresentados os principais depósitos do tipo pórfiro no Chile.

Tabela 11 - Principais Depósitos do tipo pórfiro em produção no Chile

<i>NOME</i>	<i>MINÉRIO</i>	<i>TEORES</i>	<i>RESERVAS</i>	<i>2015 - PROD. CONC. COBRE (mil t)</i>
Escondida	Cu-Au	0,77% Cu e 0,25g Ag/t	11.158 Mt	1.152,5
Chuquicamata	Cu-Mo	0,59% Cu e 0,04% Mo	21.277 Mt	862,6
Collahuasi	Cu-Mo	0,86% Cu e 0,04% Mo	3.100 Mt	455,3
El Teniente	Cu-Mo	0,62% Cu e 0,019 % Mo	20.731 Mt	471,2
Los Pelambres	Cu-Mo	0,62% Cu e 0,015% Mo	7.458 Mt	375,8

Fonte: USGS, <http://mrdata.usgs.gov/>-acessado em 08-12-2016 e La Comisión Chilena del Cobre - Boletim Chilean Copper Production.

O Peru também vem se destacando entre os principais produtores mundiais de cobre. Em 2014 ficou entre os três maiores produtores, atrás somente de Chile e Austrália. A produção de cobre em 2015 teve um crescimento de aproximadamente 23,5% ante a 2014, segundo Ministério de Energia e Minas Peruano.

O Peru possui em toda a sua extensão diversos depósitos de cobre do tipo pórfiro associados a outros metais. Na região norte são destaques os depósitos de Michiquillay e Minas Conga que são de classe mundial. A Tabela 12 mostra alguns depósitos.

Tabela 12 - Depósitos do tipo pórfiro na região norte do Peru

<i>NOME</i>	<i>MINÉRIO</i>	<i>TEORES</i>	<i>RESERVAS</i>	<i>Região</i>
La Granja	Cu- Mo	0,61% Cu	800 Mt	Norte
Minas Conga	Cu-Au	0,3% Cu e 0,8 g/t Au	641 Mt	Norte
Michiquillay	Cu	0,69% Cu	630 Mt	Norte

Fonte: Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores Pro EXPLO, "La exploración creadora de valor" - Capítulo 2 - Modelos de Yacimientos Jorge Acosta, Mayo, 2013.

A região Sul do Peru também é marcada por depósitos de cobre do tipo pórfiro associados a ouro, molibdênio e outros metais. A Tabela 13 mostra os principais depósitos peruanos.

Tabela 13 - Depósitos do tipo pórfiro na região sul do Peru

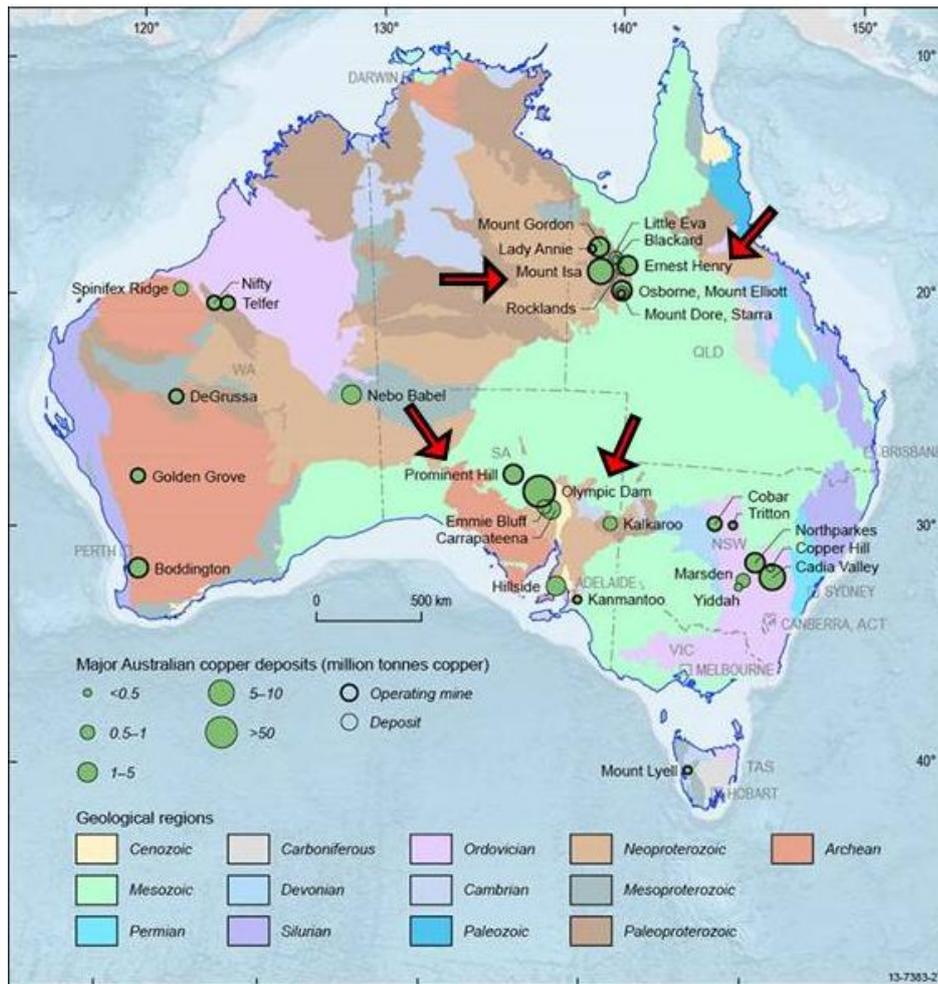
<i>NOME</i>	<i>MINÉRIO</i>	<i>TEORES</i>	<i>RESERVAS</i>	<i>Região</i>
Los Chancas	Cu -Mo-Au	0,59% Cu, 0,039 g/t Au e 0,04% Mo	545 Mt	Sul
Cerro Verde	Cu - Mo	0,37% Cu e 0,0145% Mo	3.700 Mt	Sul
Toquepala	Cu-Mo-Ag	0,55% Cu, 0,04% Mo e 2,3g/t Ag	2.320Mt	Sul
Cuajone	Cu-Mo-Ag	0,69% Cu, 0,0214% Mo e 3,1g/t Ag	1.630 Mt	Sul
Quellaveco	Cu-Mo-Ag	0,65% Cu, 0,021% Mo e 2,0g/t Ag	974 Mt	Sul

Fonte: USGS, <http://mrdata.usgs.gov/>-acessado em 04-12-2016.

2.5.2 Depósitos do tipo IOCG e sulfetos maciços

A Austrália, segundo maior produtor mundial de cobre, possui duas áreas que apresentam as maiores produções do país em cobre. South Australia, que em 2012 representou 31% de toda a produção e possui as minas de Olympic Dam e Prominent Hill, que são os destaques da região e contribuíram com 18% e 11% respectivamente na produção nacional em 2012, Geoscience Australia, 2013. A região com o segundo melhor desempenho de produção na Austrália é Queensland com destaque para os depósitos de Mount Isa e Ernest Henry, conforme Figura 11 a seguir.

Figura 11 - Principais Depósitos de Cobre Austrália



Fonte: Geoscience Australia - <http://www.ga.gov.au/>-acessado em 01-01-2017.

Na Tabela 14 é apresentada as características dos principais depósitos em produção na Austrália.

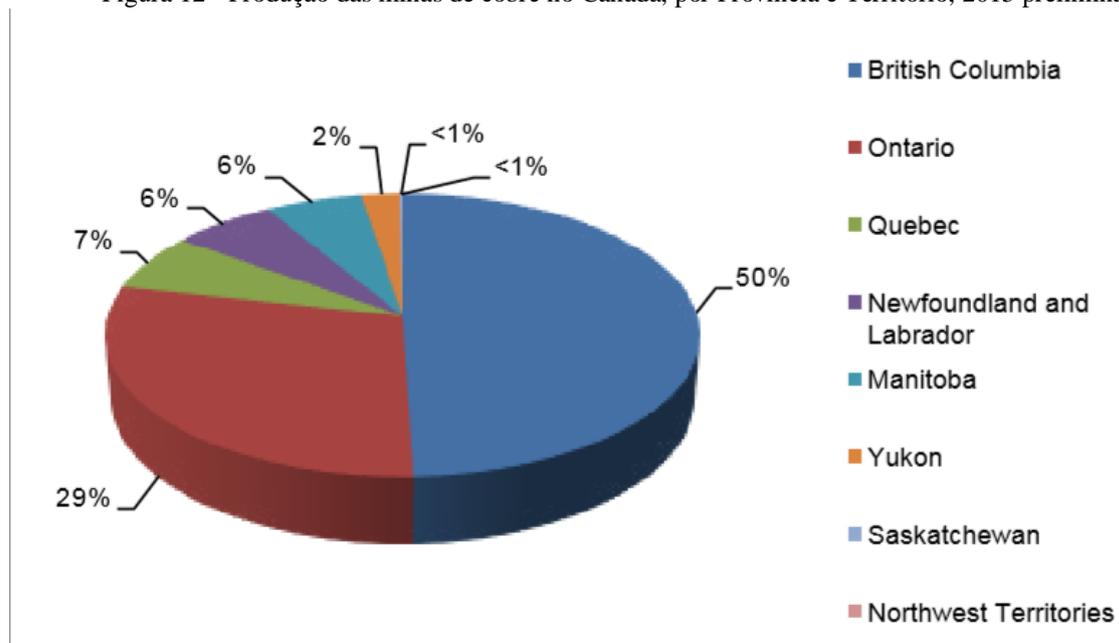
Tabela 14 - Principais depósitos em produção na Austrália

LOCALIZAÇÃO	NOME	TIPO	MINÉRIO	TEORES	RESERVAS	MINERAL DE MINÉRIO	REFERÊNCIA
Queensland	Ernest Henry (Glencore)	IOCG	Cu-Au	1,04% Cu e 0, 52g Ag/t	74 Mt	Cu, bo, Ccp, Au	1
	Mount Isa (Glencore)	Sedimentar	Cu-Zn-Au	2,4% Cu	40,4 Mt	Ccp,Py,Po	2
South Australia	Olympic Dam (BHP Billiton)	IOCG	Cu-Au-Ag-U	2,5%Cu, 0,08% U, 0,6 g/t Au e 6g/t Ag	450 Mt	Ccp, CCo, Bo, pitchblende	3
	Prominent Hill (OZ Minerals)	IOCG	Cu-Au	1,1% Cu e 0,6 g/t Au	69,8 Mt	Ccp e Py	4

Fonte: (1)<http://www.ernesthenrymining.com.au/EN/AboutUs/Pages/Hoistingunderway.aspx>;
<http://www.mining-technology.com/projects/ernest/> - acessado em 04-12-2016; (2) http://www.mining-technology.com/projects/mount_isa_copper/;
http://www.glencore.com/assets/investors/doc/reports_and_results/2014/GLEN-2014-Resources-Reserves-Report.pdf; http://www.mining-technology.com/projects/mount_isa_copper/- acessado em 04-12-2016;(3)<http://econgeol.geoscienceworld.org/content/79/8/1944>;http://www.geo.tu-freiberg.de/oberseminar/os03_04/Jana_Enghardt.pdf - acessado em 04-12-2016;e (4) <http://www.mining-technology.com/projects/prominenthill/>- acessado em 04-12-2016.

No Canadá, a produção de cobre em geral está associada a outro metal, muitas das vezes como co-produto com níquel, zinco, ouro e molibdênio. Os depósitos de cobre no Canadá aparecem em sulfetos maciços e em pórfiros. A British Columbia é a principal província produtora, com uma produção de mais de 342 mil toneladas de cobre em 2015 (Natural Resource Canada, 2017) seguida de Ontário com aproximadamente 195 mil toneladas de cobre produzida em 2015 (Natural Resource Canada, 2017). A província de Ontário tem grande importância pois é onde está localizado Sudbury, local de grande produção de níquel, em que o cobre é recuperado em conjunto. Importante destacar que a maior parte da produção de British Columbia é exportada na forma de concentrado para a Ásia, enquanto a produção de Ontário é processada localmente. Na Figura 12 é apresentada a produção das minas de cobre canadenses versão preliminar por província e território.

Figura 12 - Produção das minas de cobre no Canadá, por Província e Território, 2015 preliminar



Fonte: Natural Resources Canada - <https://www.nrcan.gc.ca/>-acessado em 01-01-2017.

A seguir é apresentada a Tabela 15, com as características dos principais depósitos de cobre das Províncias de British Columbia e Ontário.

Tabela 15 - Principais depósitos canadenses

<i>Província</i>	<i>NOME</i>	<i>TIPO</i>	<i>MINÉRIO</i>	<i>TEORES</i>	<i>RESERVAS</i>	<i>REFERÊNCIA</i>
British Columbia	Highland Valley Copper (Teck Resources)	Pórfiro	Cu-Mo	0,37% Cu e 0,006% Mo	1.356 Mt	1
	Copper Mountain (Copper Mountain Mining Corporation)	Pórfiro	Cu-Au-Ag	0,38% Cu, 0,13 g/t Au e 1,82 g/t Ag	58 Mt*	2
Ontario	Kidd Creek	VMS	Cu-Zn	1,8% Cu e 5,5% Zn	19 Mt **	3
	Broken Hammer	intrusão M-UM	Cu-Ni	0,85% Cu e 0,10% Ni	194. 650 Mt***	4

Legenda: * = Reserva provada; ** = Reserva provada e provável; *** = Reserva provável

Fonte: (1) <https://mrdata.usgs.gov/sir20105090z/show-sir20105090z.php?id=9751> acessado em 04/12/2016; (2) <http://www.mining-technology.com/projects/copper-mountain/> acessado em 04/12/2016; (3) http://www.mining-technology.com/projects/kidd_creek/ acessado em 04/12/2016; (4) <http://www.geologyontario.mndmf.gov.on.ca/gosportal/gos?command=mndmsearchdetails:mdi&uuid=MDI00000000780>-acessado em 04/12/2016.

2.6 Depósitos de cobre no Brasil

No Brasil a maioria dos depósitos de cobre está concentrada na Província Mineral de Carajás conforme a Figura 13, representando aproximadamente 25% dos principais depósitos e minas de cobre do Brasil.

Figura 13 - Mapa do Brasil mostrando a distribuição dos principais depósitos e minas de cobre do país



Legenda: Áreas potenciais para ocorrência de pórfiros de Cu, de Cu–Mo e de Cu–Au do: (A) e (B) Paleoproterozoico, bem preservados, cálcio-alcalinos e alcalinos; (C) Neoproterozoico, metamorfisados; (D) Mesoproterozoico e do Neoproterozoico, metamorfisados; (E) Eopaleozoico, alcalinos; e depósitos IOCG do: (F) Neoproterozoico e Eopaleozoico.

Fonte: Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios, 2016.

Na Província Mineral de Carajás está localizada a maior parte dos depósitos conhecidos do tipo *IOCG*, que tem grande relevância no Brasil, diferente do mundo, onde os principais depósitos são do tipo pórfiro conforme a Figura 14 a seguir.

Figura 14 - Distribuição dos depósitos de cobre mundiais e do Brasil segundo as classes minerais mais importantes



Fonte: Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios, 2016.

Em Carajás, o destaque dos depósitos do tipo *IOCG* são para Salobo, Sossego, Cristalino e Alemão (HUHN et al., 1999; LINDENMAYER, 2003; RÉQUIA et al., 2003; TALLARICO et al., 2005; MONTEIRO et al. 2008), os dois primeiros já em produção pela Salobo Metais S.A e Vale S.A., respectivamente.

Os depósitos de cobre oriundos de segregação magmática também estão presentes no país. Destacam-se os sulfetos magmáticos associados a komatiitos como o exemplo de Fortaleza de Minas (MG), que foram explorados pela Votorantim Metais e a intrusões máficas e ultramáficas em Americano do Brasil, Mangabal I e II e Buriti (Niquelândia), em Goiás, além do Vale do Rio Curaçá (Caraíba), na Bahia (OLIVEIRA, 1990; TEIXEIRA et al., 2010a; MOTA e SILVA et al., 2011; GARCIA, 2013);

Os depósitos do tipo *VHMS* também conhecidos como depósitos de origem vulcanogênica resultam da precipitação química de metais e outros elementos a partir das exalações vulcânicas. Eles aparecem em diversas províncias e distritos minerais, dentre eles estão: Cabaçal/Alto Jauru (MT), Bom Jardim de Goiás e Palmeirópolis (GO). (ARAÚJO et al., 1995; PINHO et al., 2010).

O depósito de Chapada, em Goiás, é considerado um possível depósito de cobre do tipo pórfiro, metamorfsado em fácies anfíbolito (KUYUMJIAN et al., 2010).

Já a Mina de Pedra Verde, no Ceará, seria um exemplo, segundo Matos (2012), de depósito de cobre hidrotermal hospedado em rochas (meta) sedimentares, com características que se assemelham às dos depósitos do *Zambian Copper Belt*, classificados como

Sedimentary Rock-Hosted Stratiform Copper Deposits (COX et al., 2007; HITZMAN et al., 2010).

Em 2015, a produção de cobre se concentrou em poucas minas operadas pelas companhias VALE (Sossego, PA), Salobo Metais (Salobo, PA), Mineração Maracá/Yamana (Chapada, GO) e Mineração Caraíba (Caraíba/Surubim/Angico, BA), (LIMA; NEVES, MEDEIROS 2015).

Na Tabela 16, observa-se que os maiores depósitos são do tipo *IOCG* na Província Mineral de Carajás, seguido do depósito tipo pórfiro de Chapada do Arco Magmático de Mara Rosa. Além de depósitos associados a intrusões magmáticas associados a rochas máficas e ultramáficas como o depósito da Caraíba no Vale do Curaçá, na Bahia, e Americano do Brasil em Goiás, que possuem semelhanças ao Complexo de Duluth⁴ (EUA). Assim como o depósito de Fortaleza de Minas associado a Komatiitos e já exaurido desde 2013.

Os depósitos de origem sedimentar também contribuíram na produção de cobre, como a mina de Pedra Verde, na Província Borborema.

A Tabela 17 apresenta alguns depósitos já reconhecidos no Brasil e que tem grande chance de se tornarem minas no futuro de acordo com o Sumário Mineral 2015.

Para que o Brasil continue a expandir sua reserva é necessário grande investimento em exploração considerando o desenvolvimento de modelos geológicos e reconhecimento de novas províncias metalogenéticas. Os depósitos do tipo *IOCG* continuarão sendo o maior alvo exploratório já que são de grande importância nacional, entretanto, também devem ser considerados os vínculos dos depósitos do tipo *IOCG* com zonas de cisalhamento, como por exemplo os depósitos da Província Borborema.

Também devem ser levados em consideração, as áreas que envolvem processos metassomáticos epigenéticos associados a zonas de cisalhamento e circulação de fluidos hidrotermais em larga escala, com a sobreposição de processos magmáticos e hidrotermais associados a sistemas *IOCG*, a exemplo do Depósito Caraíba (GARCIA, 2013).

Os depósitos do tipo pórfiro metamorfisados, como o de Chapada, pode ser um modelo exploratório para antigos arcos magmáticos nos cinturões paleo a neoproterozóicos do Brasil.

⁴ Depósito que contém mineralização maciça e disseminada das porções basais de intrusões acamadadas de grande porte de ambiente de rift e que, no seu percurso interceptaram folhelhos, evaporitos ou qualquer outro litótipo capaz de fornecer Enxôfre contaminante.

Tabela 16 - Principais Depósitos de cobre do Brasil

LOCALIZAÇÃO	NOME	REGIONAL	TIPO	OCORRE	MINÉRIO	TEORES	RESERVAS	MINA ATIVA	MINERAL DE MINÉRIO	REFERÊNCIA
Província Mineral de Carajás, PA	Salobo (Salobo Metais)	C Amazônico	IOCG	Cisalhamento + Hid (DS+V)	Cu-Au	0,96% Cu, 52 g /t Ag	995Mt	x	Mgt,Ccp,Bo, Cc	1
	Sossego (Vale)		IOCG	Zonas de Cisalhamento	Cu-Au	1,5% Cu e 0,28g/t Au	355Mt	x	Ccp, Mgt,Py,Cobaltita,Millerita,Vaesita	2
Arco Magmático de Mara Rosa GO	Chapada (Yamana)	F Brasília	Cu pórfiro	Ass a intrusões (DS)	Cu-Au	0,31% Cu e 0,225 g/t Au	421Mt (med+ind)	x	Ccp, Py, Bo, Mo, Sp e Gn com Mgt, Hem e Gn	3
Americano do BR	Americano do Brasil, Mangabal I e Mangabal II (Prometálica)	F Brasília	Segregação Magmática - Complexo M-UM	Ass a intrusões	Ni-Cu-Co	0,62% Ni e 0,65% Cu	5 Mt	x	Po, Pn e Ccp	4
Cabaçal, MT		F Brasília	VMS - Subtipo Kuroko	Vulcanogênico	Cu-Au	0,82% Cu e 5 g/t Au	0,87 Mt	Esgotou	Ccp, Po e Py	5
Vale do Curaça, BA	Caraíba	C São Francisco	Segregação Magmática - Complexo M-UM	Ass a intrusões (DS)	Cu	0,88 a 1,8% Cu	85Mt	x	Mgt,Ccp,Bo com Hbl,Bt,Ap,Z	6
MG	Fortaleza de Minas, MG	C São Francisco	Segregação Magmática	Ass a komatiitos	Ni-Cu-Co-Pt-Au	0,4% de Cu, 2,5% Ni	10 Mt	Esgotou	Po, Pn, Ccp, gersdorffita, min pt e Mgt	7
CE	Pedra Verde-CE	Província Borborema	Depósito em rochas sedimentares	Zonas de Cisalhamento	Cu	0,9% Cu	44,3 Mt	Esgotou	ccp, mrc,Py,bn, Ag	8

Legenda: ap=apatita; bn = bornita; bt = biotita; cc = calcocita; ccp = calcopirita ; gn = galena ; hbl=hornblenda; hem = hematita ;mag = magnetita; min pt= Minerais da platina; mo = molibdenita ; mrc= marcassita; pn = pentlandita ;py = pirita; po = pirrotita; sp = esfalerita.

Fonte: Compilado de LINDENMAYER, 1990. LANCASTER et al., 2000; KUYUMJIAN et al., 2010.; OLIVEIRA et al., 2014; PINHO, BARBOZA., FERNANDES, 2010; Corpo técnico da Mineração Caraíba S.A, 2009; BRENNER, 2007; MATOS, 2012.

Tabela 17 - Possíveis futuros projetos de cobre no Brasil

LOCALIZAÇÃO	NOME	REGIONAL	TIPO	OCORRE	MINÉRIO	TEORES	RESERVAS	MINERAL DE MINÉRIO	REFERÊNCIA
Província Mineral de Carajás, PA	Igarapé-Bahia/Alemão (Vale)	C Amazônico	IOCG	VS+ Hid + Sup	Cu-Au	1,4% Cu e 0,9g/t Au	219,0 Mt	Ccp,Py, Cc, Cv	1
	Cristalino (Vale)		IOCG	Zonas de Cisalhamento	Cu-Au	1,0% Cu e 0,30 g/t Au	500,0 Mt	Ccp, Mag, Py, Cobaltita, Millerita, Vaesita	2
	Alvo 118 (Vale)		IOCG	Zonas de Cisalhamento	Cu-Au	1,0% Cu e 0,3 g/t Au	170,0 Mt		3
	Boa Esperança (Min. Caraíba)		Variante dos IOCG	Zonas de Cisalhamento	Cu-Co-Mo	0,72% Cu	66,5Mt		3
	Pedra Branca (Avanco)		IOCG	Zonas de Cisalhamento	Cu-Au	2,4% Cu e 0,61 g/t Au	18,5 Mt *	Ccp, Py e Po	4
GO	Palmeirópolis	F Brasília	VMS - subtipo " Beshssi"	Vulcanogênico	Pb-Zn- Cu	3,59%Zn, 1,11% Cu, 0,63% Pb	7,6 Mt	Po, Py, Sp, Gn, Ccp e Gn	5
	Bom Jardim		VMS (DS) - Subtipo Kuroko	Vulcanogênico	Cu-Au	0,92% Cu e 0,9ppm Au	4,6 Mt	Py, Ccp, com mag, Po, hem, covelita, sp, IL	6
AL	Limoeiro (Vale Verde/Aura Minerals)	Borborema	Segregação Mgmática	Remobilização Hid	Cu-Au-Fe	0,51% Cu, 0,09 g/t Au e 14,8% Fe	170,0 Mt	mgt, il, ccy, bo, po e pen	3

Legenda: * = Recursos indicados e inferidos; cc = calcocita; ccp = calcopirita ; gn = galena; hem = hematita; IL= ilmenita; mag = magnetita; py = pirita; po = pirrotita; sp = esfalerita.

Fonte: Compilado de TAZAVA, 1999; HUHN et al., 1999; MISI et al., 2016; Avanco Resources, 2017; OLIVEIRA, 2000; OLIVEIRA, 2000.

Conforme observado, o Brasil tem potencial para a exploração de cobre nos diversos terrenos e nas diversas regiões do país. Mas deve-se ter atenção as características da geologia, as coberturas de solo e os sistemas minerais identificados para o desenvolvimento de técnicas exploratórias. Além da necessidade de intensificar os levantamentos geológicos mais detalhados que consigam mapear zonas de alteração hidrotermal com metamorfismo ou não. Assim, com essas ações sendo implementadas, o Brasil poderá ter a descoberta de novos depósitos de cobre.

3 PANORAMA DA EXPLORAÇÃO DE COBRE

3.1 Definição de áreas potenciais

De acordo com Juliani C. et al, 2016, em termos globais, as mais de 100 minas de cobre em exploração iniciada nos últimos 20 anos tiveram um tempo médio de descoberta à produção de cerca de 20 anos. O que mostra que é necessário um programa de exploração contínuo para a manutenção da oferta de cobre no mundo.

As grandes descobertas em cobre no Brasil foram nas décadas de 70 a 90, entretanto as minas só começaram a entrar em produção depois de 2000. São citados como exemplos: (i) a Mina de Chapada (GO), descoberta em 1973 pela INCO Ltda., e início de produção em 2007; (ii) Mina de Salobo (PA), descoberta em 1977, início de produção em 2011. Os dados mostram a necessidade de entender o potencial geológico dos depósitos de cobre no país e no mundo, através do aprofundamento do conhecimento das províncias minerais com depósitos existentes e a exploração de novas províncias, utilizando novas técnicas e novos conceitos.

O Brasil por ser um país com grandes dimensões e terrenos geológicos distintos, possui um grande potencial mineral e por esse motivo é um dos principais produtores mundiais de minérios, contudo o percentual de participação do setor mineral no Produto Interno Bruto, em 2014 foi de 4,0% (DNPM, 2015).

Isso é justificado pelo baixo investimento em levantamento geológico básico no país, que contribui para uma reduzida base de dados que contenha informações necessárias para uma exploração geológica inicial de qualidade, além da necessidade de um maior detalhamento dos depósitos conhecidos que possibilitem potenciais depósitos ainda subexplorados.

Para a definição de áreas potenciais, é necessário que haja um conhecimento básico de geologia, geofísica e geoquímica, que, em geral, são dados fornecidos pelos países que tem bom potencial mineral. No Brasil essas informações são mais precárias, o que dificulta a competição do país em relação aos que também tem elevado potencial para mineração.

A falta de dados básicos aumenta o risco para investimentos em exploração mineral, pois limita a atração de investimentos, inclusive, porque a exploração mineral é de alto risco, de prazo longo de maturação, de custos elevados e tecnologia mais intensiva. Além disso, as

empresas que pretendem investir em mineração apostam em países que detém leis ambientais claras, estabilidade política, social e infraestrutura.

Além das questões relacionadas à disponibilidade de dados e investimentos, o potencial mineral em determinada região está ligado à sustentabilidade. Nos dias atuais é necessário o apoio da comunidade para desenvolver projetos de mineração. A medida que a comunidade percebe o retorno positivo na mineração, por meio de desenvolvimento econômico, geração de empregos, melhorias de infraestrutura e preocupação por parte da Empresa nas questões ambientais, os projetos de mineração ganham pontos positivos na região e minimizam os impactos gerados pela atividade. Deste modo, para que um projeto tenha êxito, além dos custos de exploração e produção, a companhia deve abordar questões relacionadas a sustentabilidade do projeto e de seu entorno.

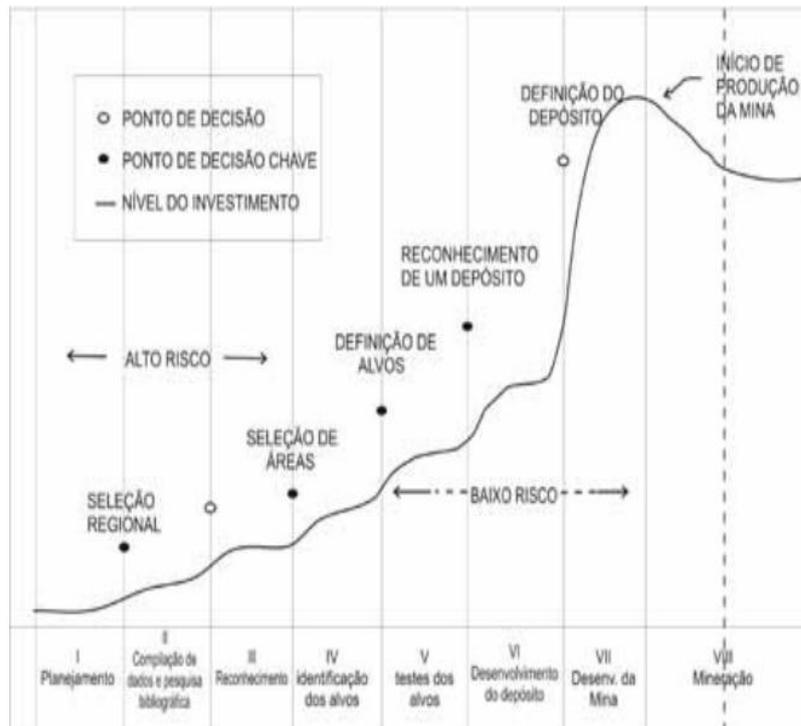
3.2 Riscos de exploração mineral

A mineração é caracterizada por ser intensiva em capital, com a necessidade de grandes investimentos para iniciar uma atividade de exploração em determinada região. Os investimentos são importantes desde a prospecção, passando pelo desenvolvimento da mina, construção das usinas de beneficiamento, além da estrutura logística necessária para atender ao mercado.

Os investimentos realizados no setor de mineração são de longo prazo, portanto, o retorno dos investimentos e as receitas somente acontecem com a venda do minério. A diferença de prazos entre os custos e as receitas evidenciam o alto risco no setor. Esse risco constitui uma barreira à entrada aliada aos desequilíbrios provenientes da oferta e demanda, principalmente de metais. Os trabalhos de prospecção e pesquisa mineral incluem, entre outros: seleção de alvos, por meio de anomalias; levantamentos geológicos, geoquímicos e geofísicos para definição dos alvos e zonas anômalas; poços de pesquisa e sondagem; quantificação de reservas minerais e a determinação da viabilidade técnica do seu aproveitamento econômico.

De acordo com Neto e Rocha (2010), a mineração é um dos setores de maior risco de retorno do capital empregado. Esse risco varia em função do estágio em que se encontra o projeto de mineração. A Figura 15 a seguir mostra os diversos estágios e os graus de risco, modificado de SHINTAKU (1998).

Figura 15 - Estágios e dispêndios em um programa de exploração mineral



Fonte: modificado de SHINTAKU (1998).

De acordo com a Figura 15 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, as etapas que antecedem a definição de alvos, ou seja, planejamento, compilação de informações, reconhecimento e identificação de alvos, são consideradas de alto risco, com uma grande possibilidade do investimento realizado não ter o retorno esperado.

Os riscos podem ser divididos entre internos e externos. Os riscos internos são relacionados diretamente ao projeto de mineração e os riscos externos tem a ver com preços da *commodity*, a localização do depósito, a geologia, entre outros.

O risco geológico é oriundo da incerteza quanto ao retorno de uma suposta descoberta econômica. Quando já existe um depósito, o risco varia de acordo com o tamanho do depósito, teor de minério, entre outros. Ademais, o risco geológico também é influenciado pela localização da mina, extensão do depósito e também pelo percentual de recuperação do minério, a partir de tecnologias de beneficiamento.

Por fim, há os riscos de mercado que podem ser separados em dois tipos. O primeiro, relacionado a venda do produto, e o segundo que envolve situações de mercado propriamente. O risco de venda do produto engloba questões de qualidade e capacidade de produção, além

da questão de prazos de entrega. Já o risco de mercado em si, abarca questões de preço, volatilidade de câmbio e cenário econômico do país.

3.3 Custos da exploração mineral

Como visto no item acima a exploração é fundamental para a descoberta de um novo depósito mineral e uma possível jazida. De acordo com Miller, 1989, na exploração mineral, dois elementos determinantes de custos devem ser considerados: o primeiro é o custo médio associado à descoberta de uma jazida, e o segundo é o orçamento que uma empresa deve dispor anualmente para ter chance de sucesso na exploração mineral.

Para a execução de trabalhos para uma primeira fase de avaliação, com base nos dados de J.Mendo Consultoria, 2009, os valores unitários dos trabalhos são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Preços Unitários dos Serviços de Pesquisa de Cobre

Serviços	Unidade de medida	Valor unitário (R\$)	Observação
Infraestrutura de apoio	1	100.000,00	A depender da região
Geologia	01 Geólogo/mês	15.000,00	
Topografia	km	2.000,00	
Trincheiras	m	100	
Sondagem (incluindo mobilização)	m	500	
Análises químicas	amostra	100	
Análises físicas	amostra	100	
Testes de Caracterização	amostra	5.000,00	
Testes de Concentração	amostra	50.000,00	Medida em toneladas
Relatório Final	1	100.000,00	
Pick Up (automóvel)	1	5.000,00	Leasing ou aluguel mensal
Eventuais	-	100.000,00	Imprevistos

Fonte: J. Mendo Consultoria, 2009.

Já para um programa de exploração completo de duração de dois anos, tomando como base uma área de 1.000 hectares (ha), equivalente a 10km², de ambiente vulcanossedimentar e com a expectativa de conter corpo mineralizado, os investimentos eram de aproximadamente

R\$ 10,8 milhões em 2009, conforme Tabela 19, onde R\$ 10,0 milhões seriam exclusivamente com sondagem rotativa, com furos de 150 metros de profundidade, em média, que mostra o grande custo do serviço de sondagem no investimento total das pesquisas, quase 93% do custo total.

Tabela 19 - Estimativa de orçamento de exploração para cobre em área de 1.000 ha

Item	Detalhamento	Valor (R\$)
Infraestrutura de apoio		100.000,00
Geologia	12 meses x R\$ 15.000,00/mês	180.000,00
Topografia	40 km x R\$	80.000,00
Trincheiras	500 m x R\$ 100,00/m	50.000,00
Sondagem	20.000 m x R\$ 500,00/m	10.000.000,00
Análises químicas	400 x R\$ 100,00/análise	40.000,00
Testes de caracterização	10 amostras x R\$ 5.000,00/amostra	50.000,00
Testes de concentração	2 x R\$ 50.000,00/teste	100000
Relatório Final		100.000,00
Outros		100.000,00
TOTAL		10.800.000,00

Fonte: J. Mendo Consultoria, 2009.

Os valores apontados nas tabelas acima são para pesquisas *greenfields*, ou seja, em lugares ainda não explorados e sem conhecimento geológico prévio. Para pesquisas no entorno de minas em operação, ou seja, *brownfields*, os custos podem ser minimizados, já que o local conta com infraestrutura da mina.

O estudo do J. Mendo Consultoria, 2009, por meio de pesquisa realizada junto a diversos geólogos seniores de exploração de metais básicos e através do levantamento de informações de diversas mineradoras incluindo a Vale, também aponta para os seguintes parâmetros e faixa de valor unitário por tonelada de reserva:

- a) parâmetros: área com ambiente geológico já conhecido e favorável a metais básicos; área situada em região com um mínimo de infraestrutura (urbana e de estradas estaduais e vicinais); programa de sondagem, cujos furos estejam distribuídos em malha de conformidade com os padrões internacionalmente aceitos; dimensionamento de reservas totais (medida+indicada+inferida) para se alcançar 100 milhões de toneladas de minério com 0,95 a 1,05% de Cu;

- b) faixa de valor: investimentos totais entre US\$ 12 milhões e US\$ 15 milhões, ou, em valores unitários na faixa de US\$ 0,12/tonelada a US\$ 0,15/ tonelada de reserva total.

Ainda, de acordo com J. Mendo Consultoria, 2009, o custo de uma pesquisa mineral para quantificar e qualificar uma reserva de aproximadamente 500 milhões de toneladas com teor médio de 0,9% de cobre é na faixa de US\$ 60 milhões a US\$ 750 milhões. Enquanto que para a exploração mineral, um investimento de 15 anos num programa de exploração de áreas promissoras para cobre, em uma área de 100.000 hectares seria entre US\$ 150 milhões a US\$ 250 milhões. Ademais, separando anualmente o valor da exploração mineral em quantias entre US\$ 10 e US\$ 16 milhões, a probabilidade de ter êxito em descobrir, qualificar e quantificar depósitos de cobre com reservas e recursos entre 500 milhões de toneladas a 800 milhões com teor superior a 0,6% de Cu é elevada.

Ao fazer uma análise do total investido em exploração em países que tem tradição em mineração como a Austrália, observa-se que há vultosos investimentos em exploração mineral (Tabela 20).

Tabela 20 - Exploração Mineral da Austrália

Exploração Mineral Austrália		
(\$ milhões)		
	Cobre	Total¹
2008	293,0	2.574,1
2009	134,8	2.038,5
2010	261,4	2.491,0
2011	395,9	3.561,9
2012	413,7	3.692,8
2013	222,8	2.526,2
2014	163,7	1.831,3
2015	121,0	1.441,0
até set/2016	103,6	1.047,0

Fonte: Australian Bureau of Statistics, 2017

Conforme observado, a Austrália investiu nos últimos anos uma média anual de mais de 2,3 bilhões de dólares em exploração mineral, dos quais cerca de 10% destinados para a exploração do minério de cobre.

De acordo com os dados fornecidos pela *COCHILCO* (*Comisión Chilena del Cobre*) em relação aos investimentos em projetos de cobre entre 2013 e 2023, ou seja, em 10 anos, são esperados 115 projetos, com investimentos da ordem de US\$ 248,4 milhões, em 18

países, onde o Brasil é um deles. A título de comparação com o Brasil, a Tabela 21, apresenta os investimentos a serem realizados também no Chile, Canadá e Austrália.

Tabela 21 - Investimentos em projetos de cobre

País	Produção de Cu 2013(ktpa)	Nº de projetos	Investimento Total associado (Milhões US\$)	Capacidade produtiva em 2023		Capex US\$ (custo/ t de capacidade de Cu refinado)	Capex US\$ (custo/ t de capacidade de Cu equivalente)
				Cobre refinado (ktpa)	cobre equivalente (ktpa)		
Chile	5.776,0	29	74.389,0	5.247,1	5.934,2	14.177,16	12.535,64
Brasil	270,8	2	906,0	120,0	137,2	7.550,00	6.603,50
Austrália	961,0	5	12.062,0	558,8	574,2	21.585,54	21.006,62
Canadá	631,9	7	14.804,0	580,6	890,7	25.497,76	16.620,64

Fonte: Proyectos de inversión minera de cobre y oro en los principales países productores mineros – 2014 - Cochilco

Entre os países analisados, observa-se que o Brasil possui o menor número de projetos, seguido de Austrália e Canadá. O Chile apresenta o maior número e conta com 25% do total de projetos esperados para os 10 anos.

O destaque do Brasil vai para o capex⁵ dos países, como visto na Tabela 21, o país apresenta custos de implantação por tonelada de capacidade tanto para cobre refinado quanto para cobre equivalente com os menores valores, sendo US\$ 7.550 e US\$ 6.603 respectivamente. O custo de implantação no Brasil para cobre refinado chega a ser 30% do capex do Canadá e 31% do capex da Austrália para cobre equivalente. A base de comparação não é tão expressiva pelo fato do Brasil ter apenas dois projetos a serem executados entre 2013 e 2023, contudo, mostra que o Brasil pode ser competitivo em projetos de cobre.

A Tabela 22 mostra que para o produto final de concentrado, a Austrália precisa desembolsar maiores valores e para a produção mista, o Canadá aparece com os maiores indicadores. Em relação ao método de exploração a céu aberto, o Brasil possui os menores indicadores, seguido de Austrália, Chile e Canadá. Para exploração subterrânea, apenas Chile e Canadá possuem dados e o Chile tem os menores valores para a produção. Contudo, observa-se que no geral o investimento por projeto chileno é o mais elevado entre os 4, isso pode ser justificado pelo número elevado de projetos a serem implementados, que beira quase 30% do total de projetos.

⁵ capex (capital expenditure): são investimentos realizados em equipamentos e instalações de forma a implementar ou manter a produção de um produto ou serviço ou manter em funcionamento um negócio ou um determinado sistema.

Tabela 22 - Investimentos para o desenvolvimento de projetos

País	Por produção (M US\$/ tmf Cu Eq)							Por Projeto (MM US\$/proj.)
	Global	Por Produto final			Por método de exploração			
		Concentrado	Catodo SXEW	Produção mista	Céu aberto	Subterrânea	Misto	
Chile	12,5	12,6	14,2	8,8	13,7	7,4	12,6	2.565,1
Brasil	6,6	6,6	0	0	6,6	0	0	453,0
Austrália	21,0	21,0	0	0	9,0	24,5	0	2.412,4
Canadá	16,6	18,4	0	11,1	16,6	0	0	2.114,9

Fonte: Proyectos de inversión minera de cobre y oro en los principales países productores mineros – 2014 - Cochilco

Para completar os custos de exploração do cobre, serão analisados os custos de produção, ou seja, o opex⁶, dos países já mencionados. O custo operacional envolve o custo da mina, da planta, despesas gerais, além de despesas com vendas incluindo o tratamento de refino, custos de transporte e comercialização. A Tabela 23 mostra os custos médio por país ponderado pela produção em centavo de dólar por libra⁷.

Tabela 23 - Custo médio de produção por país

c/lb	2013	2014
Austrália	200,0	187,0
Canadá	206,0	177,0
Chile	153,0	159,0
Brasil	144,0	135,0

Fonte: Competitividad de la minería chilena del cobre - 2015 - Cochilco

Conforme apresentado na Tabela 23, o Brasil possui um custo médio mais baixo entre os países, seguido do Chile, Canadá e Austrália. Os itens de custo, mão de obra e combustíveis, são considerados os mais dispendiosos para Canadá e Austrália.

⁶ opex (operational expenditure): capital utilizado para manter ou melhorar os bens físicos de uma empresa, tais como equipamentos, propriedades e imóveis, são denominadas despesas operacionais

⁷ 1 libra (pound, lb) = 0,4535924 kg

3.4 HISTÓRICO DOS TEORES MINERADOS

O Balanço Mineral 2001 do DNPM mostra o quadro evolutivo das reservas totais (medidas + indicadas + inferidas) nacionais do cobre e adicionalmente apresenta o teor de cobre por ano, entre 1988 e 2000. A Tabela 24 com as informações é mostrada a seguir.

Tabela 24 - Evolução das reservas Brasileiras de cobre -1988 -2000

Ano	Medida			Indicada Minério	Inferida Minério
	Minério	Contido	Teor Cu (%)		
1988	748.742.694	6.149.855	0,82	618.021.076	338.345.240
1989	745.925.796	6.120.659	0,82	609.126.527	336.504.878
1990	755.504.785	6.192.351	0,82	659.137.123	335.824.794
1991	717.051.145	5.845.269	0,82	664.782.138	320.549.437
1992	713.177.967	5.772.929	0,81	638.843.871	329.224.228
1993	725.783.645	5.858.085	0,81	702.845.899	337.024.228
1994	721.952.736	5.813.756	0,81	702.845.899	337.024.228
1995	717.606.727	5.763.234	0,80	702.845.899	337.024.228
1996	823.642.875	6.412.167	0,78	682.557.153	290.975.335
1997	753.712.538	6.208.968	0,82	313.069.040	360.128.171
1998	741.361.092	5.469.625	0,74	313.469.963	351.803.171
1999	996.919.973	7.980.800	0,80	142.177.491	186.305.171
2000	995.747.734	7.943.992	0,80	142.177.491	186.305.171

Fonte: DNPM, 2001.

Observa-se que as reservas medidas tiveram um crescimento expressivo comparando 1988 e 2000. Isso refletiu também na queda das reservas totais de minério de cobre (medidas + indicadas + inferidas), da ordem de 22%.

De acordo com DNPM, 2001, tais dados tiveram uma avaliação técnica aprofundada no final da década de 90, com ampliação das pesquisas e uma melhor definição das reservas da região de Carajás, no Pará, que elevou as reservas medidas e reduziu as reservas indicadas e inferidas. Por isso o crescimento das reservas medidas e o declínio do total das reservas.

Ainda que tenha havido algumas alterações nas reservas do minério de cobre entre os anos de 1988 e 2000, o teor de cobre se manteve estável com uma média de 0,8% de cobre.

A Tabela 25 mostra que o estado do Pará possui as maiores reservas, representando mais de 62%, seguido de Goiás com 26,4% e Bahia com 5,2%.

Tabela 25 - Reservas Brasileiras de cobre - Estados -1988-2000

Unidade: t

UF	Medida		
	Minério	Contido	Teor Cu (%)
AL	16.832.969	132.980	0,79
BA	51.425.588	837.299	1,63
CE	38.959.268	350.634	0,90
GO	263.200.187	802.475	0,30
MT	5.600	40	0,71
MS	4.320	52	1,20
MG	1.309.802	6.156	0,47
PA	618.108.992	5.767.411	0,93
RS	5.901.008	46.945	0,80
Total	995.747.734	7.943.992	0,80

Fonte: DNPM, 2001.

A título de comparação com o maior produto mundial, o Chile, a Tabela 26 mostra o crescimento acelerado da reserva + recurso de minério entre 2001 e 2007 que chegou a 86%.

Tabela 26 - Evolução das reservas e recursos de cobre do Chile -2001-2007

Ano	Reserva + Recurso		
	Minério (Mt)	Contido (Mt)	Teor Cu (%)
2001	29.061	226,4	0,78
2002	32.036	245,0	0,80
2003	35.707	270,2	0,76
2004	41.062	302,3	0,72
2005	41.449	298,4	0,71
2006	42.107	295,0	0,72
2007	54.040	367,9	0,68

Fonte: Servicio Nacional de Geología y Minería. 2009.

De acordo com o *Servicio Nacional de Geología y Minería (2009)*, a elevação das reservas e recursos chilenos está relacionada ao aumento do preço internacional do cobre no período, que passou de 71,6 centavos de dólar/lb em 2001 para 323,3 centavos de dólar/lb em 2007. Um crescimento de mais de 355%, que permitiu elevar as reservas, a partir da possibilidade de incorporar reservas e recursos de depósitos cupríferos com baixos teores de cobre e assim ter a expectativa de explorar esse tipo de depósito em condições mais favoráveis de mercado. A Tabela 27 a seguir mostra a expansão de recursos e reservas entre 2001 e 2007.

Tabela 27 - Reserva e recurso em separado

Ano	Contido (Mt)	
	Reserva	Recurso
2001	80,3	146,1
2002	94,1	150,9
2003	109,6	160,7
2004	122,9	179,4
2005	122,9	175,4
2006	120,0	174,9
2007	150,1	217,8

Fonte: Servicio Nacional de Geología y Minería. 2009.

Vale destacar que os teores durante o período, assim como no Brasil, também não sofreram grandes variações, ficando em uma média de 0,74% Cu. Os dados são significativos visto que grande parte das reservas e recursos chilenos são do tipo pórfiro principalmente cobre-molibdênio e cobre-molibdênio-ouro. Este tipo de depósito é reconhecido por ser de grande extensão e apresentar baixos teores de cobre.

Ainda de acordo com J. Mendo Consultoria, 2009, na época do estudo, no ano de 2009, estava prevista a expansão da mina de Chapada e a possibilidade de novos projetos de cobre entrarem em produção no Brasil. Observa-se na Tabela 28 que os teores encontrados nessas reservas medidas brasileiras seriam de uma média de 0,64% Cu incluindo os teores da expansão da mina de Chapada, que já possui um teor mais baixo. Entretanto, sem adicionar a expansão de Chapada, os teores de novos projetos chegariam a 0,80%. Contudo, importante destacar que dos projetos possíveis apresentados na Tabela 28, somente Salobo entrou em produção até o momento.

Tabela 28 - Expansão de minas em operação e projetos de novas minas(continua)

Empresa	Mina			Localização	
	Nome	Minério	Produto principal	Município	Estado
EXPANSÃO DE MINAS EM OPERAÇÃO (TONELAGEM ADICIONAL)					
Mineração Maracá S/A	Chapada	Cobre e ouro como coproduto	Concentrado de cobre (28% Cu), com ouro e prata contidos	Alto Horizonte	GO
PROJETOS DE NOVAS MINAS					
Mineração Caraíba S/A	Boa Esperança	Cobre sulfetado, com ouro e cobalto como subprodutos	Concentrado de cobre (28% Cu), com ouro e cobalto contidos	Tucumã	PA
Vale	Salobo	Cobre sulfetado, com ouro, prata e molibdênio como subprodutos	Concentrado de cobre (37% Cu), com ouro e molibdênio	Marabá	PA
	Alemão	Cobre sulfetado, com ouro e prata como subprodutos	Concentrado de cobre (30% Cu), com ouro e cobalto contidos	Parauapebas	PA
	Cristalino	Cobre sulfetado, com ouro e prata como subprodutos	Concentrado de cobre (30% Cu), com ouro e cobalto contidos	Curionópolis	PA

Tabela 28 - Expansão de minas em operação e projetos de novas minas(conclusão)

Empresa	Nome	Reservas em dez/2008 (M de t de minério)					
		Medida		Indicada		Total	
		Tonelagem	Teor (%)	Tonelagem	Teor (%)	Tonelagem	Teor (%)
EXPANSÃO DE MINAS EM OPERAÇÃO (TONELAGEM ADICIONAL)							
Mineração Maracá S/A	Chapada	179,3	0,33%	166,1	0,31%	345,4	0,32%
PROJETOS DE NOVAS MINAS							
Mineração Caraíba S/A	Boa Esperança	56,9	0,80%	11,4	0,81%	68,3	0,81%
Vale	Salobo	508,2	0,80%	420,3	0,74%	928,5	0,77%
	Alemão	na	na	na	na	124,26*	1,98%
	Cristalino	na	na	na	na	312**	0,88%

Legenda: * = Reservas totais mínimas para garantir 23 anos de produção a 5,4 milhões tpa; ** = Reservas totais mínimas para garantir 15 anos de produção a 16 milhões tpa.

Fonte: J. Mendo Consultoria, 2009.

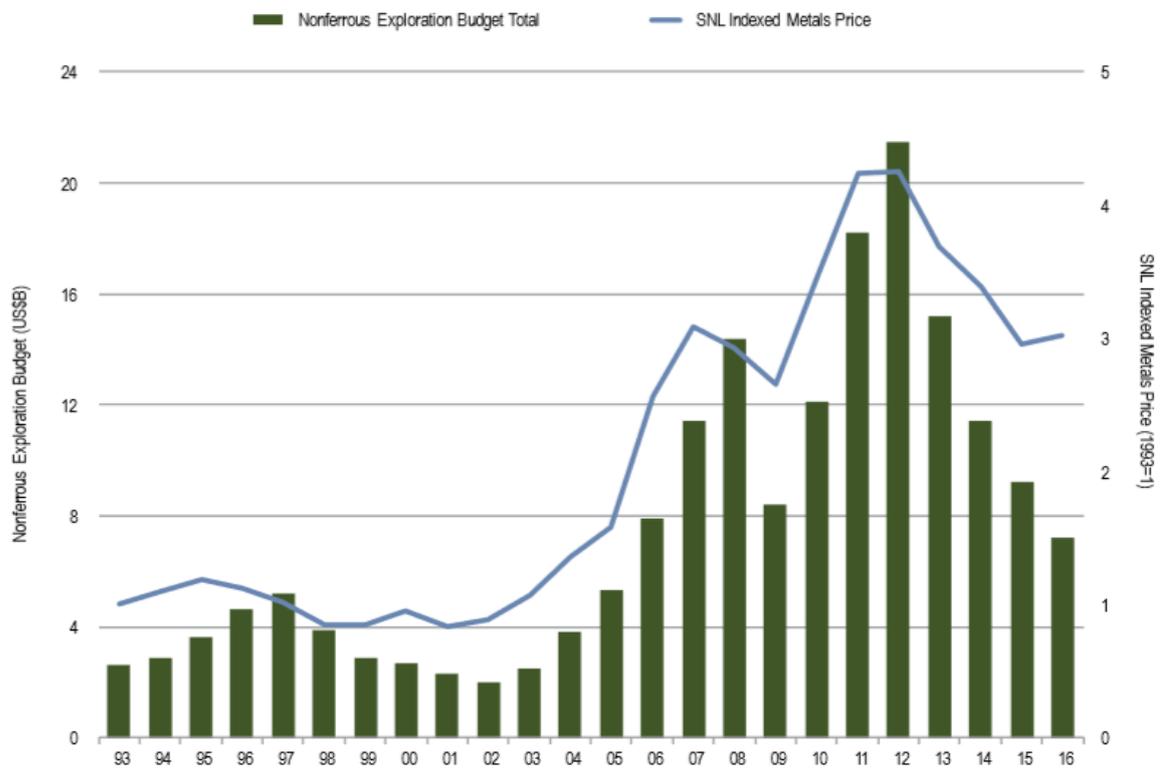
3.5 Investimentos em exploração

Os projetos de mineração são realizados em etapas: primeiro é feita a exploração geológica, seguida da pesquisa geológica e então são realizados os investimentos na mineração, que envolve a abertura de mina, beneficiamento na usina, que produz o concentrado de cobre e após a mina exaurir é realizado o descomissionamento e processo de recuperação ambiental.

Os investimentos em exploração mineral são cíclicos e apresentam correlação com os preços dos metais e as despesas de exploração. A partir de 2001 houve um aumento dos investimentos em exploração de não ferrosos no mundo todo. Essa elevação está associada ao aumento do preço do ouro, escassez de novos projetos e o interesse de investidores. Ademais, a demanda chinesa movimentou os investimentos em exploração no mundo alcançando o patamar de US\$ 13,8 bilhões em 2008, cerca de oito vezes mais que em 2002. (SNL, 2016).

A crise ao final de 2008, que provocou grande recessão econômica, afetou os investimentos no ano de 2009, que ficou marcado pela redução em quase US\$ 6 bilhões nos investimentos em exploração de não ferrosos e inclusive pela queda no preço das *commodities*. Os anos que se sucederam foram de expansão na exploração, que chegou a alcançar mais de US\$ 20 bilhões em investimentos (SNL, 2016). O cenário começou a mudar a partir de 2013 quando o mercado se viu obrigado a reduzir seus investimentos para reforçar suas margens financeiras. Desde então, os investimentos em exploração para não ferrosos tem sofrido reduções, os preços dos metais também tem recuado e a China vem desacelerando sua economia. Em 2016 os investimentos foram da ordem de US\$ 6,9 bilhões, abaixo até da crise de 2008, Figura 16 (S&P Global, 2017).

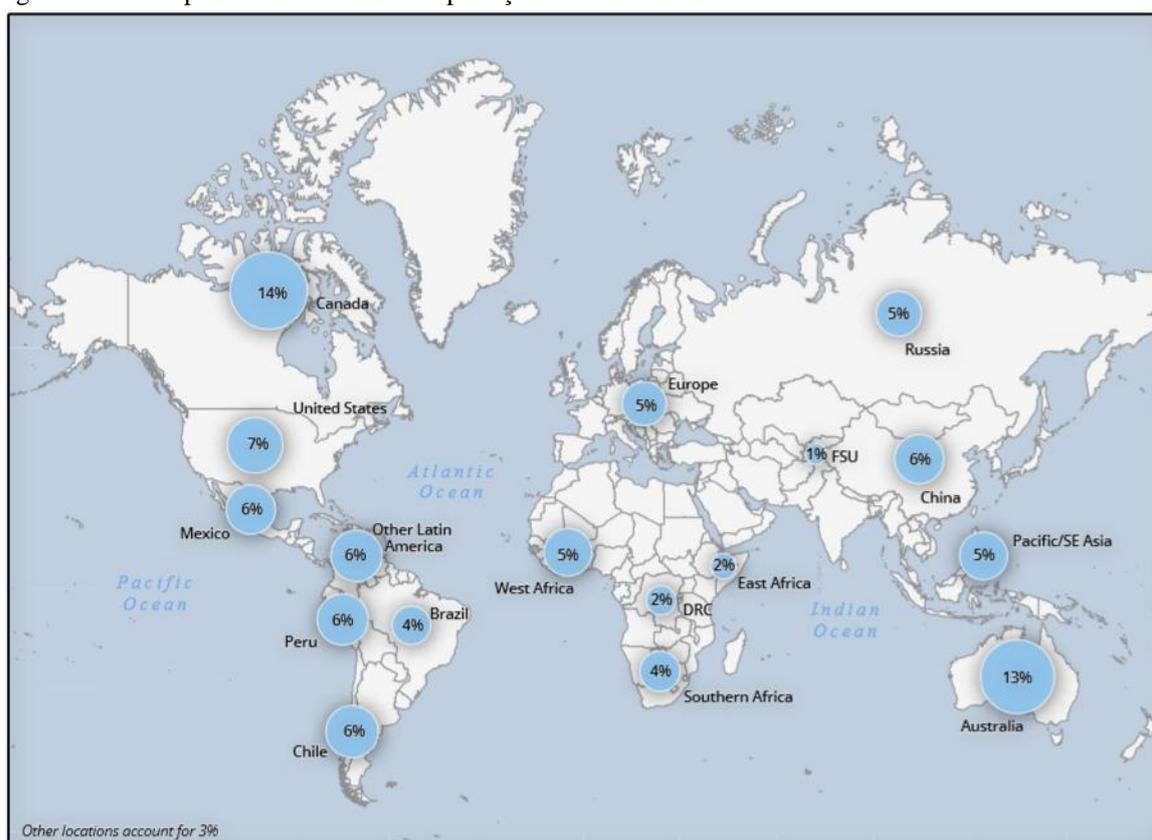
Figura 16 - Estimativa de investimentos globais em exploração de não ferrosos



Fonte: S&P Global, 2017.

Ainda que haja redução dos investimentos, a América Latina continua sendo o destino mais popular da exploração, com aproximadamente 28% dos gastos globais de 2016. As regiões de destaque são: Chile, Peru, México, Brasil, Colômbia e Argentina. O ouro continua sendo o principal alvo na exploração da América Latina com participação de 44% em 2016, enquanto houve redução para metais base de 40% em 2015 pra 38% em 2016. (S&P Global, 2017). A Figura 17 a seguir mostra os principais destinos dos investimentos em exploração para não ferrosos.

Figura 17 - Principais investimentos de exploração de não ferrosos



Fonte: S&P Global, 2017.

Para os investimentos em exploração e ampliação de minas, o Brasil tem pouco destaque mundial. De acordo com Lafis, 2016, o Brasil ainda que tenha um território extenso como Canadá e Austrália, apresenta um total investido em pesquisa mineral similar a países menores, como Chile e Argentina, conforme a Tabela 29.

Tabela 29 - Investimentos em Pesquisa Mineral no mundo (continua)

Investimentos em Pesquisa Mineral no Mundo (US\$)		
Países	Investimento Bruto (US\$)	Participação dos Investimentos em Mineração no Total Global (%)
Canadá	2.033.000	19,0%
Austrália	1.284.000	12,0%
EUA	856.000	8,0%
México	642.000	6,0%
Chile	535.000	5,0%
Peru	535.000	5,0%
Rússia	428.000	4,0%
China	428.000	4,0%
Argentina	321.000	3,0%
Brasil	321.000	3,0%

Tabela 29 - Investimentos em Pesquisa Mineral no mundo (conclusão)

Investimentos em Pesquisa Mineral no Mundo (US\$)		
Países	Investimento Bruto (US\$)	Participação dos Investimentos em Mineração no Total Global (%)
Outros	3.317.000	31,0%
Investimento Global	10.700.000	100,0%

Fonte: Metal Economic Group – 2012, últimos dados divulgados. Elaboração: Lafis

Esse baixo investimento em pesquisa mineral no Brasil reflete em menores perspectivas de identificar depósitos minerais no país e mostra que, é necessário destinar maior quantidade de recursos nesta área, caso seja de interesse do país se tornar uma potência em mineração. A exemplo de países como a Austrália, que de acordo com a Tabela 29 possui a segunda maior participação em pesquisa mineral no mundo e é um país minerador.

Com base nas informações apresentadas nos anuários minerais do DNPM de 2009 e 2010, temos os seguintes números relacionados a investimentos em mineração de cobre no Brasil (Tabela 30).

Tabela 30 - Investimentos na Mineração para o Cobre

	Mina (R\$)	Usina (R\$)	Total (R\$)
2008	232.453.499,00	213.217.362,00	445.670.861,00
2009	307.233.522,00	314.871.094,00	622.104.616,00
Previstos para os 3 anos seguintes	601.141.885,00	285.650.977,00	886.792.862,00

Fonte: Anuário Mineral, 2009 e 2010 - DNPM.

Como pode ser observado, houve um crescimento dos investimentos entre 2008 e 2009 com um incremento de quase 40% em relação a 2008. Tal crescimento pode ter ligação com a perspectiva de recuperação da economia mundial, a partir do 1º semestre de 2009, que mostrou uma retomada dos preços dos não ferrosos na LME em que o cobre está inserido. A recuperação econômica pode ter sido atribuída a demanda continuada chinesa e a melhora de alguns mercados. Assim, empresas no Brasil podem ter vislumbrado uma oportunidade de investimento. Adicionalmente, no período estavam sendo realizados os investimentos para a implantação do Projeto Salobo da Vale que contribuiriam para este crescimento. Contudo, para os anos seguintes, levando-se em consideração a realização de investimentos igualmente, os investimentos sofreram uma retração de 52%.

Para um detalhamento mais amplo, as tabelas 31 e 32 a seguir mostram os investimentos segregados entre mina e usina e os principais investimentos realizados em cada etapa.

Tabela 31 - Investimentos na Mina de Cobre

Investimentos realizados na mina para o cobre	2008	2009	Previsto para os 3 anos seguintes
Geologia e Pesquisa Mineral	25.312.655,00	63.208,00	14.894.433,00
Infraestrutura	23.485.110,00	60.306.786,00	230.473.458,00
Inovações Tecnológicas e de Sistemas	2.185.417,00	1.067.045,00	411.275,00
Aquisição e /ou Reforma de Equipamentos	101.977.900,00	198.291.088,00	249.534.482,00
Outros	79.492.417,00	47.505.394,00	105.828.237,00
Total R\$	232.453.499,00	307.233.521,00	601.141.885,00

Fonte: Anuário Mineral, 2009 e 2010 - DNPM.

Tabela 32 - Investimentos realizados na Usina para Cobre

Investimentos Realizados na Usina para o cobre	2008	2009	Previsto para os 3 anos seguintes
Infraestrutura	15.735.687,00	135.922.798,00	15.701.500,00
Inovações Tecnológicas e de Sistemas	6.136.039,00	1.555.141,00	2.461.163,00
Aquisição e /ou Reforma de Equipamentos	172.926.553,00	174.496.413,00	262.922.310,00
Meio Ambiente	7.240.216,00	858.261,00	-
Outros	11.178.867,00	2.038.481,00	4.566.004,00
Total R\$	213.217.362,00	314.871.094,00	285.650.977,00

Fonte: Anuário Mineral, 2009 e 2010 - DNPM.

Tanto os investimentos em Mina quanto em Usina tiveram um crescimento de 2008 para 2009 de 32% e 48%, respectivamente. Os principais investimentos são em equipamentos por serem bem duráveis e de maior valor agregado.

De acordo com o Plano Nacional de Mineração (PNM 2030), os investimentos realizados no Brasil em pesquisa mineral em 2008 foram da ordem de US\$ 486 milhões, onde US\$ 346 milhões em áreas *greenfield* e US\$ 140 milhões em áreas *brownfield*. Os valores de 2008 foram recordes principalmente pelo crescimento dos preços de *commodities* a partir de 2003⁸.

No passado o Brasil tinha o comportamento do mundo, quando se trata de investimentos em pesquisa mineral, isso porque muitas das vezes a pesquisa era realizada por empresas *junior*s, que possuem ações negociadas principalmente, nas bolsas do Canadá. Entretanto, nos últimos anos, com as incertezas do Marco Regulatório da Mineração, diversas empresas *junior*s sentiram-se desmotivadas em atuar no país, reduzindo os seus investimentos. No Mundo foram investidos no período US\$ 13,2 bilhões e o investimento no Brasil representa 3,7% dos investimentos realizados no mundo.

⁸ Em 2002, observou-se o menor volume de investimentos em pesquisa mineral no mundo, desde que esses dados começaram a ser levantados pelo MEg (Metal Economic group).

Entre 2006 e 2008 foram investidos em pesquisa mineral aproximadamente US\$ 757 milhões (PNM, 2030), dos quais 76,4% para minerais metálicos. Os metais básicos respondem por 28%, com destaque para níquel, cobre e zinco, estando atrás apenas do ouro que representa 29% do total.

A previsão de investimentos em pesquisa mineral com o objetivo de aumentar as reservas e atender a elevação da demanda por minérios até 2030 é de aproximadamente US\$ 10,5 bilhões. Com base nos dados informados no PNM 2030, o cobre estaria em 5º lugar em investimentos entre 2010-2030, representando 6,58% de participação nestes investimentos conforme a Tabela 33 a seguir.

Tabela 33 - Previsão dos investimentos em pesquisa mineral – 2015/2022/2030
US\$ milhões

Bem mineral	2010- 2015	2016- 2022	2023- 2030	2010- 2030	%(Σ)
Ouro	844	1.628	2.334	4.807	45,78
Ferro	271	451	705	1.426	13,58
Níquel	193	400	661	1.254	11,95
Zinco	156	252	419	827	7,88
Cobre	117	219	354	691	6,58
Outros	289	464	741	1.494	14,23
Total Investimentos	1.870	3.414	5.214	10.499	100

Fonte: DNPM/SGM.

Previsão: Secretaria Executiva do PNM-2030.

Para os investimentos em mineração, o Brasil investiu entre 2006-2008 o montante de US\$ 4,5 bilhões, (PNM 2030), com destaque para os minerais ferrosos. A Tabela 34 apresenta os principais investimentos realizados no Brasil, todos minerais metálicos, e o cobre aparece novamente na quinta colocação para os investimentos em mineração.

Tabela 34 - Investimentos realizados no Brasil

Bem mineral	US\$ milhões				
	2006	2007	2008	Σ 2006-2008	Média
Ferro	933	3.179	1.939	6.051	2.017
Níquel	112	710	1.543	2.364	788
Ouro	226	490	796	1.512	504
Alumínio (Bauxita)	266	451	110	827	276
Cobre	273	183	239	695	232
Outros	465	807	770	2.043	680
Total Investimentos	2.275	5.820	5.397	13.492	4.497

Fonte: AMB/DNPM – no prelo.

A estimativa de investimentos na mineração no período entre 2010-2030, excluindo investimentos de infraestrutura e logística, é de US\$ 90 bilhões. De acordo com a Tabela 35, o cobre deve ser o terceiro maior investimento em mineração, com o objetivo de elevar a sua capacidade de produção de cobre contido.

Tabela 35 - Previsão dos investimentos em mineração – 2015/2022/2030

Classe	Custo (US\$/t)*	Investimentos (US\$ milhões)				
		2010- 2015	2016- 2022	2023- 2030	2010- 2030	% (Σ)
Ferro	44	10.296	9.260	13.318	32.874	36,4
Alumina	600	3.408	2.820	4.500	10.728	11,9
Cobre (Cu contido)	7.500	2.130	1.500	2.250	5.880	6,5
Ouro	36.000.000	2.357	2.166	722	5.245	5,8
Brita	10	1.008	1.476	2.015	4.499	5,0
Outros		8.170	8.906	13.975	31.051	34,0
Total		27.369	26.128	36.780	90.277	100,0

Legenda: * Custo por tonelada de capacidade instalada adicionada, salvo água mineral (por Litro).
Fonte: DNPM/SGM. Projeção: Secretaria Executiva do PNM-2030.

Conforme exposto acima, a proposta de um novo Marco Regulatório da Mineração e a incerteza de sua implantação promoveu um recuo dos investimentos na exploração mineral no Brasil. A seguir serão tecidas algumas considerações do Marco Regulatório da Mineração Proposto em 2013.

Novo Marco Regulatório da Mineração

O novo marco regulatório foi enviado ao Congresso Nacional pelo Projeto de Lei 5.807/2013 após 5 anos de debates. Entretanto, até hoje por ter regras muito diferenciadas e distintas, ele não foi adiante. Entre as mudanças propostas pelo novo Marco são destaques:

- a) Criação do Conselho Nacional de Política Mineral (CNPM), órgão de assessoramento da Presidência da República e que seria responsável pela rodadas de licitação;
- b) Criação da Agência Nacional de Mineração, órgão responsável pela regulação, fiscalização e formulação das regras para o setor, extinguindo o DNPM;

- c) Utilização de novo regime de aproveitamento mineral por meio de concessão, precedida de licitação ou de chamada pública. A exceção seria para o Regime de Autorização de Exploração de Recursos Minerais dispensada a licitação, para lavra de:
- minérios para emprego imediato na construção civil;
 - argilas destinadas à fabricação de tijolos, telhas e afins;
 - rochas ornamentais;
 - água mineral;
 - minérios empregados como corretivo de solo na agricultura.
- d) O regime de contrato de concessão proposto previa um regime de título único para pesquisa e lavra com prazo definido de 40 anos com possibilidade de prorrogação por mais 20 anos. A diferença para a concessão de lavra atual, é que hoje a empresa que atendeu aos requisitos estabelecidos pelo Código de Mineração possui a concessão, ou seja, a concessão de lavra constitui-se em ato vinculado ao cumprimento das obrigações requeridas no momento do requerimento do Alvará de pesquisa, garantindo o direito a concessão;
- e) Novas regras de arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). A CFEM passaria a incidir sobre a receita bruta de venda dos bens minerais, deduzido os tributos efetivamente pagos incidentes sobre a comercialização desses bens. Sobre a cobrança das alíquotas, chegariam até 4% e seriam especificadas por cada bem mineral por meio de regulamento. Em relação a distribuição da CFEM, permaneceria da mesma maneira: 12% União; 23% para os Estados e 65% para os Municípios.

Com base no que está descrito acima, verifica-se que o anúncio do Novo Marco Regulatório de Mineração trouxe instabilidade ao cenário legal, afastando inclusive investidores receosos em aportar recursos em um país sem definição do futuro da mineração.

Assim, em dezembro de 2016, a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do MME (SGM/MME) apresentou uma série de propostas com o objetivo de :

- a) restabelecer a credibilidade do setor mineral brasileiro;
- b) atrair novos investimentos para o setor;
- c) aprofundar o conhecimento geológico do território, entre outros.

Tais propostas foram denominadas "Diretrizes e Ações para o Setor Mineral Brasileiro". A seguir serão exemplificadas algumas diretrizes:

- a) Retirada da tramitação do PL 5.807/2013.

- Depende da deliberação do Plenário da Câmara dos Deputados, pois não houve pronunciamento da Comissão Especial designada para proferir parecer. Ademais, há uma proposta por Medida Provisória da criação da Agência Nacional de Mineração e extinção do DNPM.

b) A extinção da Reserva Nacional de Cobre e seus associados (RENCA)

- A Reserva Nacional do Cobre localizada entre os estados do Amapá e Pará com 46.000 km² criada pelo Decreto nº 89.404/1984 e pertencente a CPRM. O RENCA tem potencial mineral principalmente para ouro e metais base (cobre e níquel) e possui dois depósitos conhecidos de fosfato de grande porte;

- O início da liberação de áreas com potencial mineral do RENCA se deu por meio da Portaria nº 128, de 30/03/2017 publicado no Diário Oficial da União de 07/04/2017. A extinção do RENCA será realizada por meio de Decreto.

c) Flexibilização da Lei da Faixa de Fronteira (FF)

- A Faixa de Fronteira é conceitualmente denominada como Faixa de terras paralela à linha divisória terrestre do território nacional indispensável a segurança nacional. Tem uma abrangência em 11 estados e 570 municípios com superfície de 16 mil km e faixa de 150 km de largura, com quase 27% do território brasileiro. A Lei 6.334/1979, sobre a Faixa de Fronteira, proíbe entre outro pontos, a alienação de terra públicas, a compra de terras por estrangeiros e a atividade de "pesquisa, lavra, exploração e aproveitamento de recursos minerais, salvo aqueles de imediata aplicação na construção civil". Ainda há mais uma restrição a mineração, mineradoras que obtenham autorização, precisam ter pelo menos 51% de capital nacional, pelo menos dois terços de mão de obra nacional e maioria de brasileiros na administração ou gerência. Somente com licença prévia do Conselho de Segurança Nacional é possível ter exceção a todas essas proibições;

- As diretrizes para FF envolvem Projeto de Lei de modificação da legislação no que tange à atividade de mineração, com o objetivo principal em retirar a restrição à participação do capital estrangeiro na atividade de mineração em faixa de fronteira, promovendo o fomento

a mineração e aumentando o potencial para cobre, ouro, níquel, ferro, entre outros bens minerais.

d) Alteração do Código de Mineração

- Por meio de Projeto de Lei, com alterações principais na adequação de taxas e multas, ampliação do prazo de recurso contra indeferimento de 10 para 30 dias, prazo de 120 dias para disponibilidade, possibilidade de pesquisa após a apresentação do Relatório Final de Pesquisa, inclusão da necessidade de Plano de Fechamento de Mina, entre outros. Também estão previstas modificações na legislação vigente que trata o CFEM com mudanças em: (i) Base de cálculo: receita bruta de venda, tal como expressa em nota fiscal, deduzidos os impostos incidentes sobre a venda, simplificando a cobrança;
- Além da Regulamentação do Código de Mineração que desde de 1996 sofreu alterações, mas ainda não foi regulamentado, este processo será possível por meio de um projeto de Decreto.

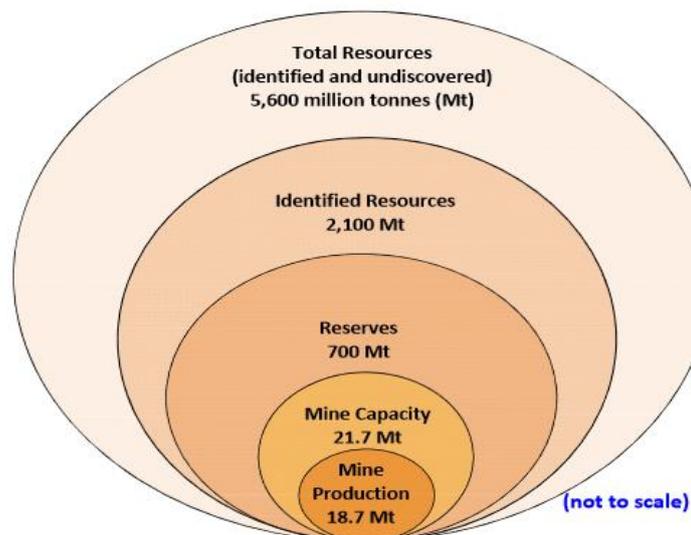
4 O MERCADO DO COBRE

4.1 Mercado Mundial

4.1.1 Reservas mundiais

De acordo com o *United States Geological Survey (USGS, 2016)*, as reservas de cobre, contidas nos minérios, são em torno de 700 milhões de toneladas (Mt), os recursos descobertos e não descobertos são estimados em aproximadamente 2.100 Mt e 3.500 Mt respectivamente. Dos recursos não descobertos, a avaliação do *USGS* realizada em 2013 envolve os dois tipos de depósitos principais, do tipo pórfiro com aproximadamente 60% do cobre do mundo e do tipo sedimentar, que reponde por 20%. A avaliação de recursos não descobertos identificou 3.100 Mt para depósitos do tipo pórfiro e 400 Mt para depósitos sedimentares, que juntos somam 3.500 Mt de recursos não descobertos de cobre. A Figura 18 exemplifica os recursos e reservas de cobre.

Figura 18 - Recursos, Reservas e minas em produção mundial -2014



Fonte: The World Copper Factbook, 2015, ICSG.

Com base na Tabela 36 a seguir, observa-se que as reservas mundiais de cobre vem aumentando ano a ano, com destaque para o Chile que detém a maior parte das reservas, quase 30% do total no ano de 2015, seguida por Austrália e Peru, com 12% e 11% das reservas, respectivamente.

Tabela 36 - Principais reservas mundiais

Países	Reserva (10 ³ t)			
	2012	2013	2014	2015
EUA	39.000	39.000	35.000	33.000
Austrália	86.000	87.000	93.000	88.000
Canadá	10.000	10.000	11.000	11.000
Chile	190.000	190.000	209.000	210.000
China	30.000	30.000	30.000	30.000
Congo (Kinshasa)	20.000	20.000	20.000	20.000
México	38.000	38.000	38.000	46.000
Peru	76.000	70.000	28.000	82.000
Rússia	30.000	30.000	30.000	30.000
Zâmbia	20.000	20.000	20.000	20.000
Outros países	141.000	156.000	186.000	150.000
Total	680.000	690.000	700.000	720.000

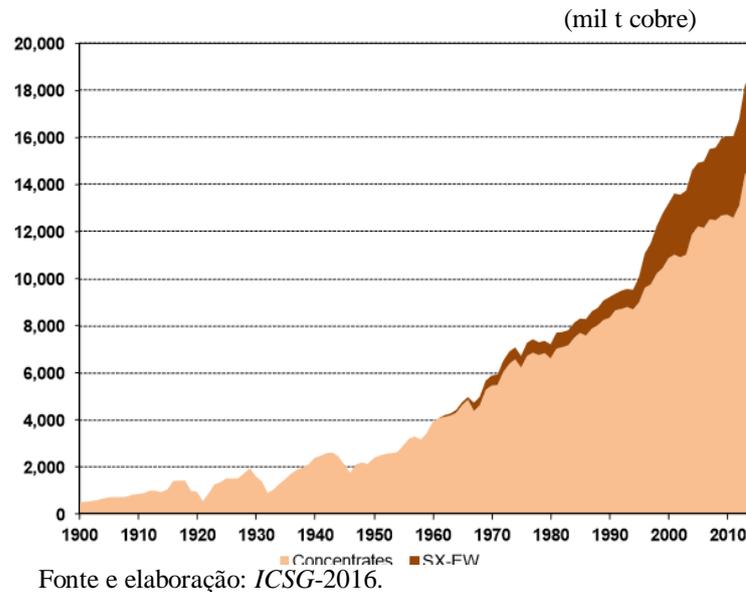
Fonte: Mineral Commodity Summaries 2016, 2015, 2014 e 2013.

Como pode ser observado, o Brasil não está entre as maiores reservas mundiais, contudo suas reservas lavráveis representam ao menos 2% das reservas totais nos últimos anos.

4.1.2 Produção mundial

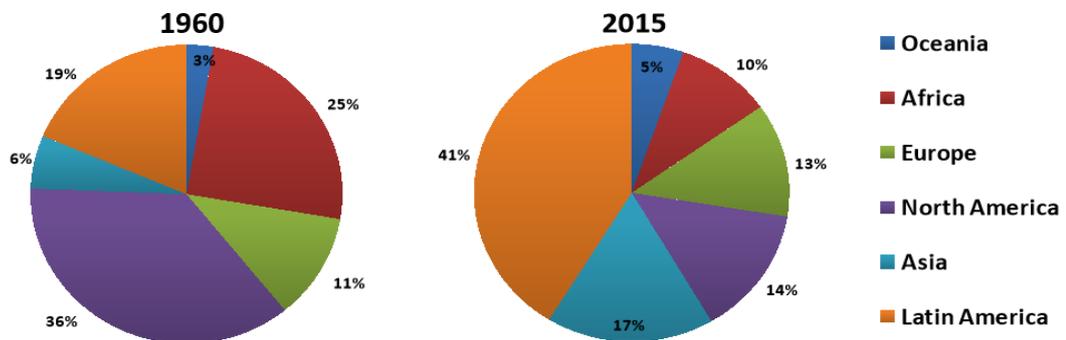
De acordo com o *ICSG - International Copper Study Group*, 2016, desde 1900 a produção mundial das minas de cobre tem crescido 3,2% ao ano. No ano de 1900 a produção foi de 500 mil toneladas de cobre e em 2015 alcançou o patamar de 19,1 milhões de toneladas, conforme observado na Figura 19 a seguir.

Figura 19 - Produção Mundial das minas de cobre -1900 -2015



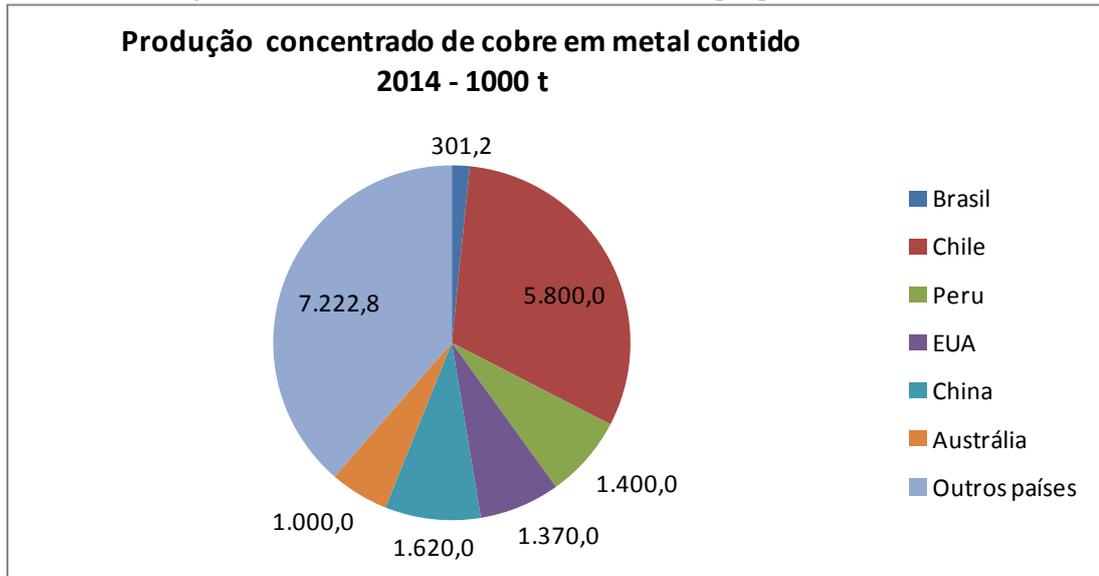
Importante observar que entre 1950 e 1960 a produção de cobre quase dobrou, principalmente pelo grande avanço na produção do minério na América Latina e Ásia. A Figura 19 corrobora com o Figura 20, que compara por região entre 1960 e 2015. Em 1960 a produção da América Latina era de 750.000 toneladas e em 2015 já ultrapassava 7,9 milhões de toneladas representando 41% da produção mundial naquele ano. O grande avanço na América Latina se dá pela vasta produção chilena, principal produtor mundial, que em 2014, respondeu por aproximadamente 1/3 da produção mundial de cobre com aproximadamente 5,8 milhões de toneladas de cobre, Sumário Mineral 2015, conforme o Gráfico 2.

Figura 20 - Produção das minas de cobre por região, 1960 x 2015 (mil t)



Fonte e elaboração: ICSG-2016.

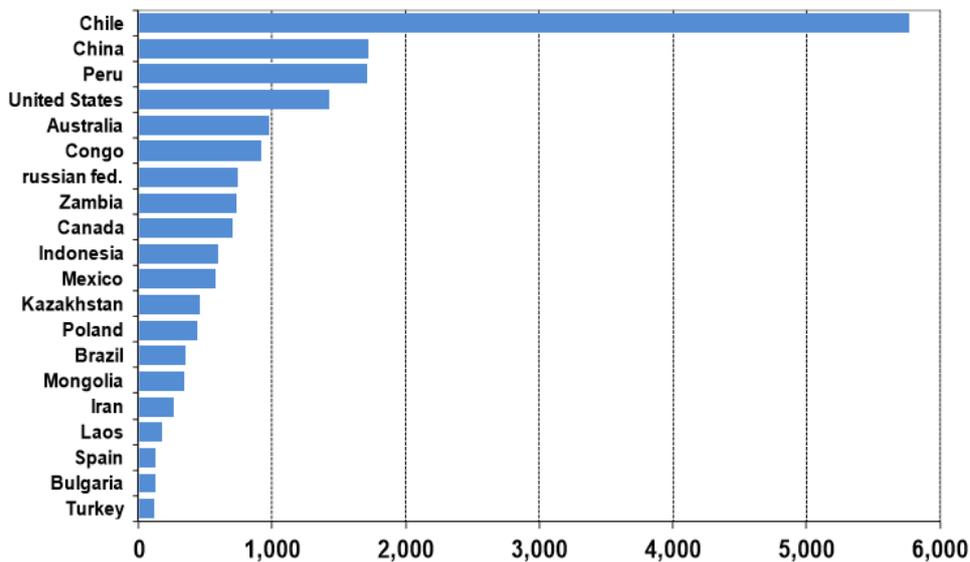
Gráfico 2 - Produção de Concentrado de cobre, em metal contido, por países



Fonte de dados: Sumário Mineral 2015.

O Figura 21 mostra a produção das minas de cobre por país, para os 20 maiores países produtores no ano de 2015, de acordo com a ICSG, 2016. O Chile se destaca na produção, seguido de China, Peru e Estados Unidos. O Brasil mantém a 14ª posição do *ranking* mundial.

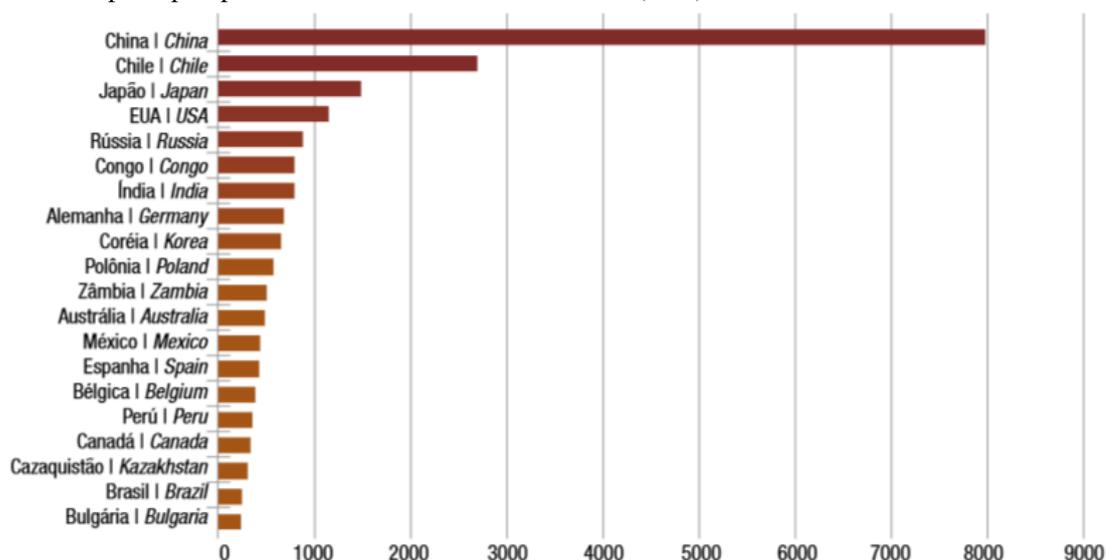
Figura 21 - 20 principais produtores mundiais de cobre contido em concentrado em 2015 (mil t)



Fonte e elaboração: ICSG, 2016.

A Figura 22 informa os 20 principais produtores mundiais de cobre refinado em 2015, de acordo com o ICSG, 2016. A China é responsável por mais de 30% dessa produção, seguida de Chile (12%), Japão (6%) e Estados Unidos (5%). Nota-se que o Brasil, ainda que tenha uma produção pequena de cobre refinado, aparece na 19ª colocação do *ranking* mundial.

Figura 22 - 20 principais produtores de cobre refinado em 2015 (mil t)



Fonte e elaboração: ICSG, 2016 .

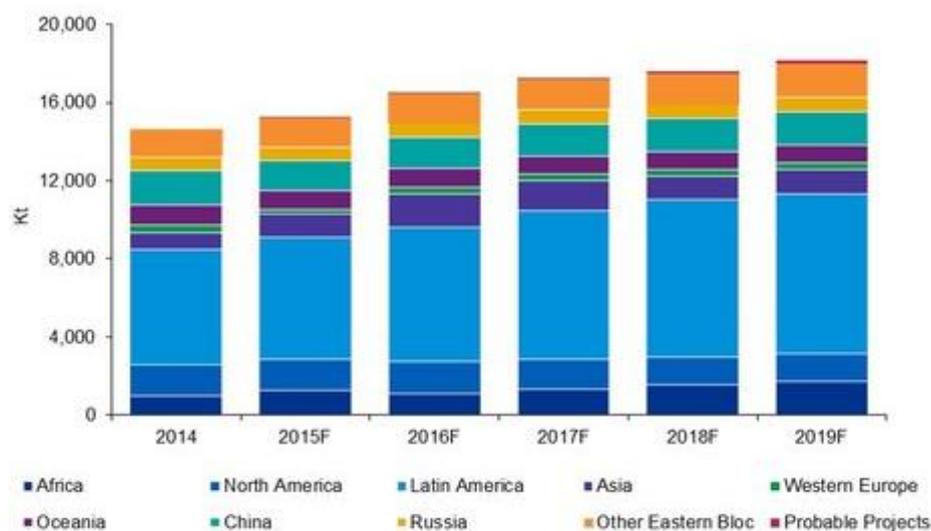
A produção mundial de cobre em 2015 aumentou em aproximadamente 4% em relação a 2014, KPMG 2016, com 15.200 mil toneladas (Kt) em 2015 ante a 14.600 Kt em 2014. A melhoria do resultado está ligada com a fase de conclusão de diversos projetos e o aumento da produção de minas existentes, principalmente na América do Sul e Ásia. Na América do Sul, o Peru se destaca devido ao aumento do número de projetos, e inclusive, o país ultrapassou a China e se tornou o segundo maior produtor de concentrado de cobre no mundo. Na Ásia, a Indonésia é o destaque com elevados ganhos de produção por conta das diversas minas estabelecidas no país.

Para o ano de 2016, a produção deve aumentar para 16.500 kt, um crescimento de 9% em relação a 2015. Um dos projetos de destaque mundial que contribuirá para o aumento da produção é o projeto da MMG Limited no Peru, na mina de Las Bambas e deverá se tornar uma das grandes minas de cobre do mundo. De acordo com as informações de MMG Limited, 2016, a mina terá capacidade de produzir entre 250.000 e 300.000 toneladas de cobre contido em concentrado de cobre em 2016.

Além da mina Las Bambas do Peru, outras minas poderão contribuir com o aumento de capacidade. São elas: (i) mina Bozshakol, do Cazaquistão, pertencente à empresa Kaz Minerals que espera produzir 75.000 t de concentrado de cobre por ano, durante 40 anos (Mining-Technology.com, 2016); e (ii) mina de Sierra Gorda, no Chile, que pertence a KGHM INTERNATIONAL LTD, empresa polonesa, que com sua expansão deve produzir 220 mil toneladas de cobre por ano. (site <http://kgm.cn>, 2016).

Com base na Figura 23, a previsão do crescimento da produção de cobre entre 2016 e 2019 deve ser mais lento, principalmente, devido ao declínio da produção de várias minas mais antigas.

Figura 23 - Produção Global das minas de cobre, 2014-2019F



Fonte: KPMG, 2016.

Com base em informações disponíveis do site Mineweb, 2017, que faz referência a consultoria Thomson Reuters GFMS, as principais empresas produtoras de cobre no mundo em 2014 estão apresentadas na Tabela 37.

Tabela 37 - Principais empresas produtoras de cobre

Posição em 2014	Empresa	País	Produção (mil t)
1	Codelco	Chile	1.841
2	Freeport-McMoRan Copper & Gold Inc. (FCX)	EUA	1.470
3	Glencore International AG	Suíça	1.296
4	BHP Billiton Ltd.	Austrália	1.203
5	Southern Copper Corp	EUA	665
6	Rio Tinto Group	Reino Unido / Austrália	636
7	KGHM Polska Miedz SA	Polônia	506
8	Anglo American Plc	Reino Unido	504
9	Antofagasta PLC	Reino Unido	455
10	First Quantum Minerals Ltd.	Canadá	380

Fonte: <http://www.mineweb.com> - acessado em 13-01-2017

Como pode ser observado na Tabela 37 acima, a Codelco, empresa Chilena é a líder na produção do minério de cobre, seguida de FCX e Glencore. Adicionalmente, pode-se constatar que diversas minas chilenas estão entre as 10 maiores do mundo em termos de capacidade de produção em milhões de toneladas/ano, conforme mostrado na Tabela 38 a seguir. Os dados retratam a importância do Chile na produção de minério de cobre para o mundo.

Tabela 38 - 10 principais minas por capacidade (base 2016)

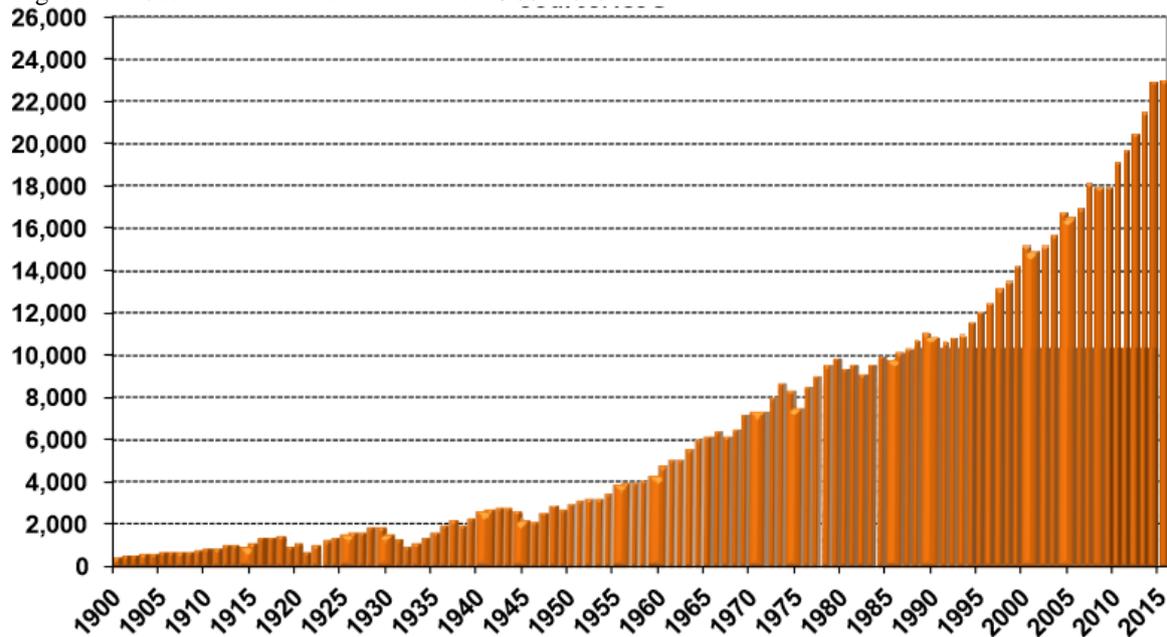
Posição	Mina	País	Empresa(s)	Origem	Capacidade (mil t)
1	Escondida	Chile	BHP Billiton (57.5%), Rio Tinto Corp. (30%), Japan Escondida (12.5%)	Conc. & SX-EW	1.200
2	Grasberg	Indonésia	P.T. Freeport Indonesia Co. (PT-FI), Rio Tinto	Concentrado	780
3	Morenci	EUA	Freeport-McMoRan Inc 85%, 15% affiliates of Sumitomo Corporation	Conc. & SX-EW	520
4	Buenavista del Cobre (former Cananea)	Mexico	Grupo Mexico	Conc. & SX-EW	510
5	Collahuasi	Chile	Anglo American (44%), Glencore plc (44%), Mitsui (8.4%), JX Holdings (3.6%)	Conc. & SX-EW	500
6	El Teniente	Chile	Codelco	Conc. & SX-EW	452
7	Antamina	Peru	BHP Billiton (33.75%), Teck (22.5%), Glencore plc (33.75%), Mitsubishi Corp.	Concentrado	450
8	Los Bronces	Chile	Anglo American 50.1%, Mitsubishi Corp. 20.4%, Codelco 20%, Mitsui 9.5%	Conc. & SX-EW	435
9	Polar Division (Norilsk/ Talnakh Mills)	Rússia	Norilsk Nickel	Conc. & SX-EW	430
10	Los Pelambres	Chile	Antofagasta Plc (60%), Nippon Mining (25%), Mitsubishi Materials (15%)	Concentrado	420

Fonte: ICSG, 2016

4.1.3 Demanda mundial

A demanda mundial por cobre refinado desde 1900 tem crescido, 3,4% ao ano, ICSG, 2016. Eram consumidos cerca de 500 mil toneladas em 1900 e em 2015 passou para 23 milhões de toneladas de consumo, conforme observado na Figura 24 a seguir.

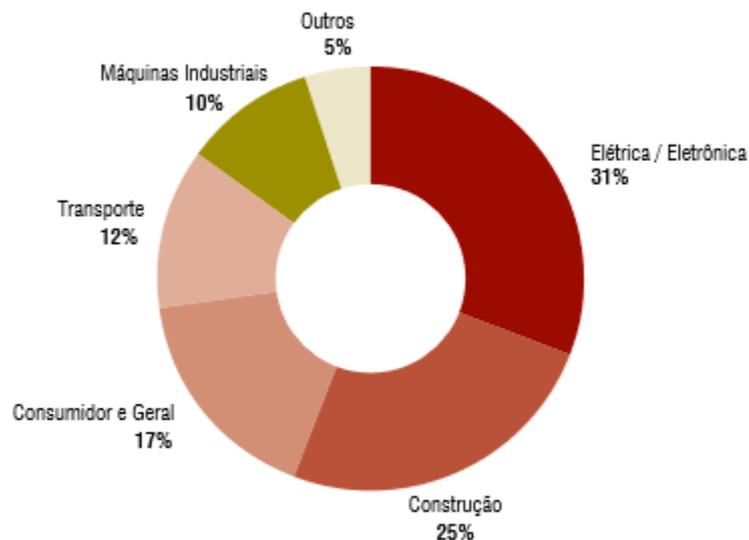
Figura 24 - Uso mundial de cobre refinado -1900 -2015



Fonte e elaboração: ICSG-2016.

Cerca de 31% da produção mundial de cobre metálico se destina à indústria elétrica-eletrônica, para a fabricação de fios e cabos. A construção civil ocupa a segunda posição na composição do consumo mundial de cobre. A Figura 25, mostra o consumo de cobre por setor no mundo.

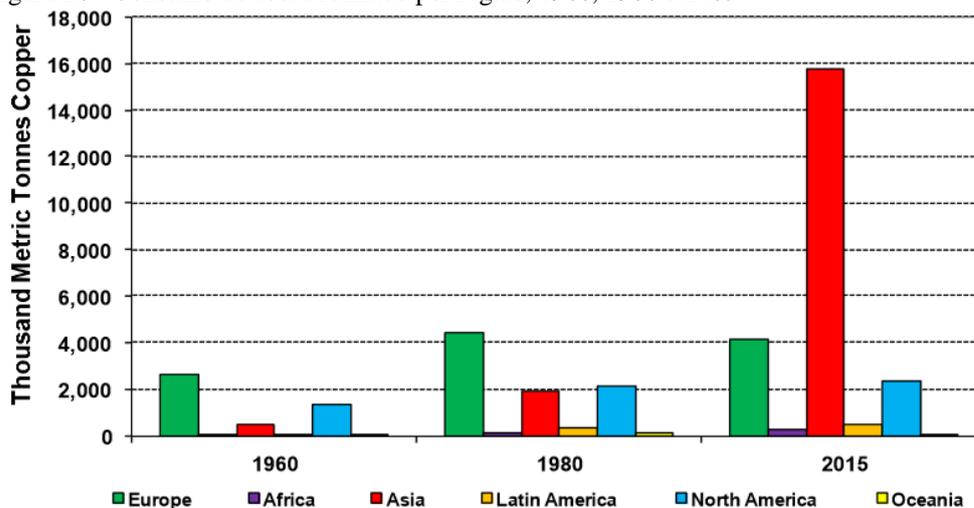
Figura 25 - Consumo Mundial de Cobre - 2011



Fonte: LME-2012, Informações e análises da economia mineral brasileira - 7ª edição - Ibram-2012.

Observa-se na Figura 26, que a demanda por cobre refinado até a década de 80 era majoritariamente da Europa, com aproximadamente 4 milhões de toneladas. Entretanto, com a expansão dos países asiáticos e principalmente a industrialização chinesa, houve um crescimento vertiginoso no consumo de cobre refinado na Ásia em 2015, que atingiu quase 16 milhões de toneladas, ICSG, 2106, 700% de crescimento em 35 anos.

Figura 26 - Consumo de cobre refinado por região, 1960, 1980 e 2015



Fonte e elaboração: ICSG-2016.

Os principais consumidores de cobre refinado são China com 45%, seguido de Estados Unidos (9%) e Japão (5%). O Brasil aparece na oitava colocação dos maiores consumidores mundiais de cobre refinado, representando 2% do total. A Tabela 39 mostra os principais consumidores de cobre refinado em 2012 e 2013.

Tabela 39 - Consumo mundial de cobre refinado

País	mil t	
	2012	2013
China	8.845,3	9.493,5
Estados Unidos	1.760,0	1.835,0
Japão	985,0	994,3
Coréia do Sul	723,4	720,2
Rússia	646,3	664,3
Turquia	427,9	468,0
Taiwan	432,5	437,5
Brasil	423,5	421,3
México	305,0	334,0
Emirados Árabes	244,0	294,0
Outros	5.593,1	5.604,9
Total	20.386,0	21.267,0

Fonte: Anuário Estatístico 2014 ABCobre e SINDICEL.

4.1.4 Comércio internacional de concentrado e metal

O mercado internacional de cobre atua em diversas categorias de produtos, entre elas, o concentrado de cobre e o cobre refinado. Para países que produzem estes dois tipos de produto, pode haver por exemplo, escassez ou excesso de produção de determinado produto em algum período, o que leva o país a importá-lo.

Em relação ao preço de cobre, ele é definido pela Bolsa de Metais de Londres ou *London Metal Exchange* (LME), onde o cobre é negociado em dólar por lote de 25 toneladas, e a variação de preço tem a influência do ritmo da economia mundial.

De acordo com o ICSG, 2016, os maiores exportadores de minério e concentrado de cobre em 2015 foram: Chile, Peru, Austrália, Indonésia e Canadá. O Brasil está na 8ª colocação. Já os maiores importadores foram China, Japão, Índia, Espanha e Coréia do Sul. O Brasil também permanece em 8º lugar. A Figura 27 demonstra os fluxos comerciais internacionais de minério e concentrado de cobre.

Figura 27 - Principais Fluxos Comerciais de minérios e concentrados de cobre



Fonte: Copper Development Association cedida para ICSG, 2016

As informações de 2016 corroboram com os dados de 2012 das Tabelas 40 e 41 apresentadas a seguir que mostram os cinco principais países importadores e exportadores de minério e concentrado de cobre. Para a quinta colocação houve uma mudança de 2012 para 2016, onde no último ano a Espanha ficou em 4º lugar como importador de minério e concentrado de cobre. A título de comparação com a China, maior importador, o Brasil importou 8%, ICSG, 2012, do total importado pela China em 2010.

Para as exportações de minério e concentrado de cobre, na terceira colocação também houve mudança entre 2012 e 2016, que nos dados de 2016, a Austrália ocupa a terceira posição como exportador de concentrado. O Brasil quando comparado ao Chile, maior exportador em 2010, apresenta participação de 10% das exportações chilenas.

Tabela 40 - Importação de Concentrado e Minério de Cobre
mil T em Cobre contido

País	2008	2009	2010 (p)
China	1.452,4	1.655,7	1.811,1
Japão	1.482,4	1.243,5	1.306,4
Índia	621,3	631,2	585,5
Coréia do Sul	445,2	479,6	518,6
Espanha	336,6	355,3	368,8
Brasil	142,2	146,8	140,4

Legenda: p = preliminar

Fonte: ICSG Copper bulletin - march 2012.

Tabela 41 - Exportação de Concentrado e Minério de Cobre
mil T em Cobre contido

País	2008	2009	2010 (p)
Chile	2.133,4	1.798,0	1.863,4
Peru	872,9	866,9	908,2
Indonésia	520,6	745,7	845,5
Austrália	542,0	575,8	583,4
Canadá	339,1	257,3	245,5
Brasil	191,4	179,2	189,3

Legenda: p = preliminar

Fonte: ICSG Copper bulletin - march 2012.

Para o comércio internacional de cobre refinado, segundo o ICSG, 2016, os maiores exportadores são Chile, Rússia, Japão, Austrália e Cazaquistão. Em relação aos maiores importadores de cobre refinado estão China, Alemanha, Estados Unidos, Itália e Taiwan. Para cobre refinado, o Brasil não aparece entre os principais exportadores e importadores. A Figura 28 a seguir mostra os fluxos comerciais internacionais de cobre refinado.

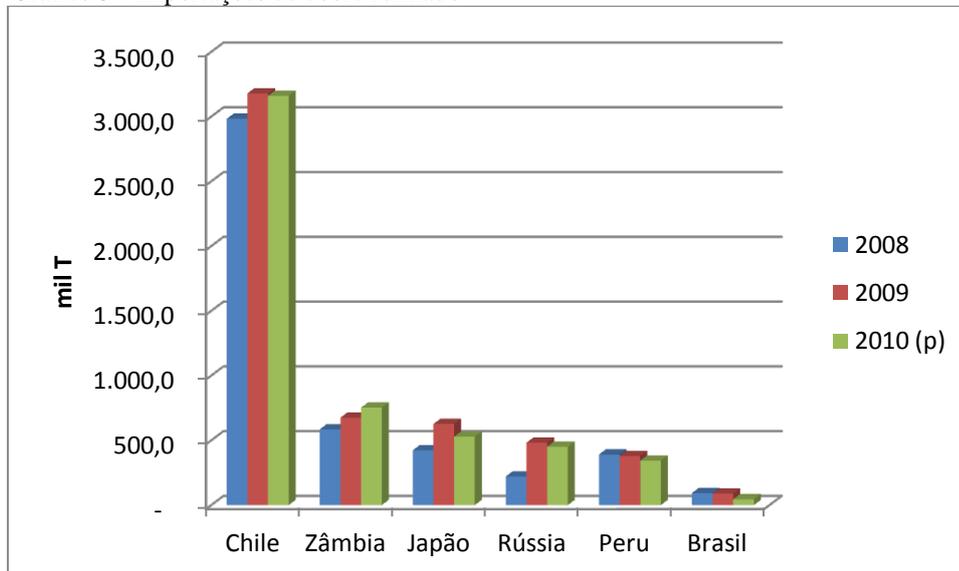
Figura 28 - Principais Fluxos Comerciais de cobre refinado



Fonte: Copper Development Association cedida para ICSG, 2016

Em relação às exportações de cobre refinado, o Gráfico 3 mostra os cinco principais países exportadores, com base em ICSG, 2012. Em relação a 2016, houve uma mudança no segundo lugar, que atualmente é ocupado pela Rússia, e do quarto e quinto lugares, que hoje são ocupados por Austrália e Cazaquistão, respectivamente. A título de comparação com o maior exportador que era o Chile em 2010, o Brasil representou 1% das exportações do Chile naquele ano.

Gráfico 3 - Exportações de cobre refinado

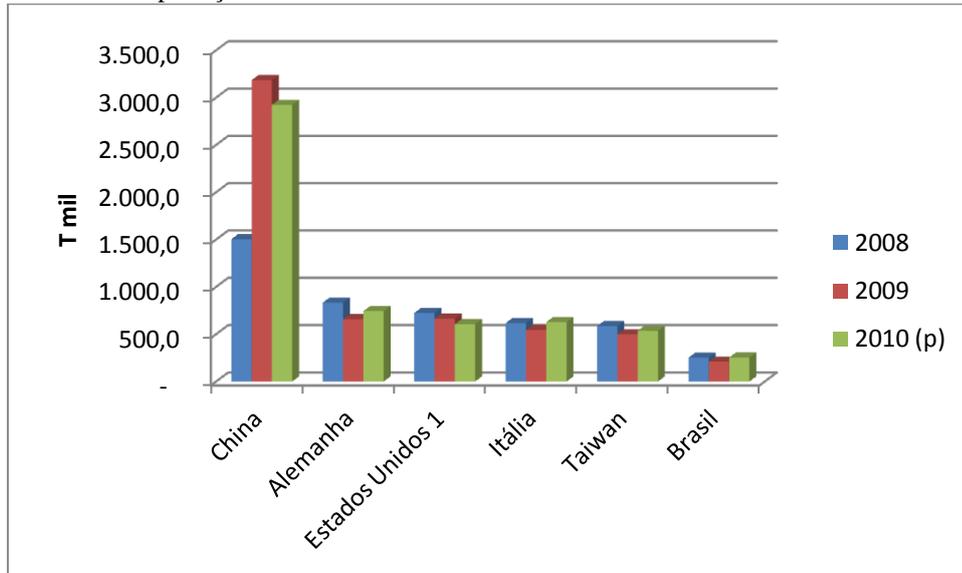


Legenda: p = preliminar

Fonte: ICSG Copper bulletin - march 2012

O Gráfico 4 exibe os cinco principais países importadores de cobre refinado tomando como base o ano de 2010. Todos os países desde de 2010 continuam sendo os principais importadores de cobre refinado em 2016. O cobre refinado importado pelo Brasil representa 9% do total de cobre importado pela China em 2010, principal país importador de cobre refinado.

Gráfico 4 - Importações de cobre refinado



Fonte de dados: ICSG Copper bulletin - march 2012
 Legenda: 1 = Consumo próprio

4.2 MERCADO NACIONAL

4.2.1 Reservas Nacionais

O Brasil não está entre as maiores reservas mundiais, entretanto, as reservas brasileiras de cobre lavráveis em 2014 foram de 10,84 Mt de Cu contido (Sumário Mineral, 2015), que representa 1,5% das reservas lavráveis mundiais (703 Mt de Cu contido). De acordo a Tabela 42 a seguir, as reservas lavráveis brasileiras têm se mantido estáveis na ordem de 11 Mt de cobre contido, nos últimos anos.

Tabela 42 - Reservas lavráveis

Discriminação	Reservas (1) (10 ³ t)				
	2010	2011	2012	2013	2014
Países					
Brasil	9.800	11.063	11.419	11.145	10.844
Chile	150.000	190.000	190.000	190.000	209.000
Peru	90.000	90.000	76.000	70.000	68.000
EUA	35.000	35.000	39.000	39.000	35.000
China	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Austrália	80.000	86.000	86.000	87.000	93.000
Outros países	235.200	247.937	247.581	262.855	257.156
Total	630.000	690.000	680.000	690.000	703.000

Fonte: Sumário Mineral DNPM 2011 a 2105

O estado do Pará, principalmente a Província Mineral de Carajás, responde por aproximadamente 82% das reservas lavráveis. Podem ser destacadas as minas de Salobo e Sossego com reservas da ordem de 1.491,4 Mt e teor de 0,9%, e os recursos dos depósitos cupríferos de Igarapé-Bahia/Alemão, Cristalino, Alvo 118, entre outros, que juntos representam mais de 2.500 Mt e teor de 0,7%, Melfi et al.(2016).

O país também possui reservas em Goiás, com destaque para a Mina de Chapada, Americano do Brasil, Niquelândia e Bom Jardim. Além do estado da Bahia, em especial o Vale do Rio Curaçá, e Alagoas. Outros estados também possuem reservas, porém com baixa representatividade.

4.2.2 Produção Nacional

A produção nacional das minas de cobre também não está entre as maiores do mundo. Todavia, a produção de concentrado de cobre no Brasil vem aumentando ano a ano, inclusive em 2014 o crescimento foi de 11% ante a 2013, conforme a Tabela 43.

Tabela 43 - Produção Mundial -2010 a 2014

Discriminação	Produção (2) (10 ³ t)					
	2010 ^(r)	2011 ^(r)	2012 ^(r)	2013 ^(r)	2014 ^(p)	(%)2014
Brasil	214	214	223	271	301	1,6%
Chile	5.419	5.260	5.430	5.780	5.800	31,0%
Peru	1.247	1.240	1.300	1.380	1.400	7,5%
EUA	1.129	1.110	1.170	1.250	1.370	7,3%
China	1.156	1.310	1.630	1.600	1.620	8,7%
Austrália	870	958	958	990	1.000	5,3%
Outros países	6.007	6.008	5.988	6.994	7.223	38,6%
Total	16.042	16.100	16.699	18.265	18.714	100%

Legenda: (1) Brasil: reserva lavrável (DNPM). Para outros países: reserva econômica (USGS), (2) concentrado; (r) revisado; (p) preliminar.

Nota: Dados em metal contido.

Fonte: Sumários Mineraiis (2011 a 2015)

Nos últimos anos, a produção brasileira de cobre tem se mostrado mais expressiva. Dados do DNPM de 2009 e 2016 indicam um crescimento tanto da produção bruta, quanto da produção beneficiada conforme as Tabelas 44 e 45 a seguir.

Tabela 44 - Produção Bruta

Cobre	Quantidade (ROM) t	Contido (t)	Teor médio (Cu)
2009	37.657.624	248.055	0,66%
2015	80.176.949	509.506	0,64%

Fonte: Anuário Mineral 2010 e 2016-DNPM.

Tabela 45 - Produção Beneficiada

Cobre	Quantidade t	Contido (t)	Teor médio (Cu)
2009	781.731	216.533	27,7%
2015	1.170.141	359.463	30,7%

Fonte: Anuário Mineral 2010 e 2016.

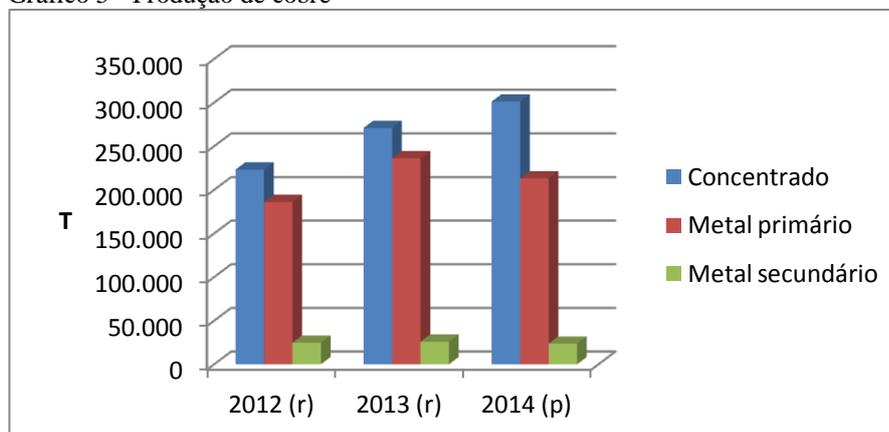
Conforme apresentado na Tabela 44, de produção bruta, o crescimento em *Run of Mine* (ROM) em 2015 ante a 2009 é de 113% e de cobre contido de 105%. Esse crescimento elevado é justificado pela entrada em operação do Projeto Salobo, que adicionou uma capacidade considerável à produção de cobre brasileira. Vale mencionar que os principais produtores são Pará, com 72% do total, Goiás, 25% e Bahia, com 4%. Já para a produção

beneficiada, o crescimento de cobre em 2015 foi de 50% ante a 2009 e de 66% em cobre contido, em um total de 359.463 t em metal contido em 2015.

O Gráfico 5 a seguir exemplifica o crescimento na produção de concentrado de cobre nos últimos anos, puxado pela expansão do Projeto Salobo. Em 2014, o crescimento ante a 2013 foi de 11%. Contudo, a produção de cobre refinado utilizando metal primário e secundário, ou seja, material reciclado sofreu uma redução de 10% em relação a 2013, com uma produção de catodo de aproximadamente 236,7 mil toneladas. Essa queda é justificada pelo cenário econômico negativo que fragilizou o mercado.

A Paranapanema, antiga Caraíba Metais, é a principal produtora de cobre refinado no país, que participou em 2014 com cerca de 95% da produção de catodo, além da Mineração Caraíba que contribuiu com o restante da produção nacional.

Gráfico 5 - Produção de cobre



Fonte de dados: Sumário Mineral 2015.

Atualmente, os principais produtores de cobre são Salobo Metais S.A.(47,5%) de participação, Vale S.A. (26,4%), Mineração Maracá (19,0%) e Mineração Caraíba (7,1%). Outras empresas como Votorantim Metais Níquel e Serabi representam 0,1% do total.

Os principais produtores brasileiros de cobre serão detalhados a seguir.

Vale S.A.

As operações de cobre da Vale no Brasil se concentram na região de Carajás no Pará. A Companhia possui dois projetos sendo desenvolvidos na região: Sossego (Vale S.A.) e Salobo (Salobo Metais S.A., que é 100% Vale S.A.).

Projeto Sossego

O Projeto Sossego, inaugurado em 2004, foi o primeiro projeto de cobre da Companhia a entrar em operação no Brasil. Localizado em Canaã dos Carajás (PA), o

Depósito de Sossego é composto por dois corpos minerais, Sossego e Sequeirinho, com reservas provadas e prováveis de 244,7 milhões de toneladas do minério.

O teor de cobre é estimado em 1%, com aproximadamente 0,26 gramas de ouro por tonelada como subproduto. O minério é processado por uma usina com capacidade de produção anual média de 467 mil toneladas de concentrado e o equivalente a 140 mil toneladas de cobre contido. Em 2015, a produção foi de 104 mil toneladas de cobre contido em concentrado, uma redução de 5,3% em relação a 2014.

Projeto Salobo

O Projeto Salobo é o mais antigo projeto de cobre da VALE, no Brasil, embora tenha sido o segundo a entrar em produção. Localizado em Marabá (PA), entrou em operação em 2012 com capacidade nominal estimada em 100 mil toneladas/ano de cobre contido em concentrado. Com a expansão da operação, Salobo II, o projeto duplicou a sua capacidade de produção.

Em 2015, Salobo obteve recorde de produção, com 155 mil toneladas de cobre contido em concentrado, um crescimento de 58,2% ante a 2014. Ainda assim, a produção de cobre em Salobo esteve abaixo do planejado para o ano, principalmente pelos menores teores de minério na mina e menor estabilidade na usina de processamento.

Mineração Maracá

Mineração Maracá é uma empresa da Yamana Gold, Companhia Canadense de mineração que tem um portfólio de projetos espalhados pelas Américas. No Brasil, possui o Projeto Chapada localizado no noroeste de Goiás implantado desde 2007. O Depósito de Chapada é de Cu-Au. A planta de beneficiamento tem capacidade para 22 milhões de toneladas anuais de ROM. Em 2014, a produção foi de 20,4 milhões de toneladas.

A empresa visa manter a operação até 2029 e tem previsão de expandir com a abertura do Corpo Sul. Além disso, em 2015, as reservas e recursos do Mina de Chapada aumentaram com a recente descoberta de Sucupira, interseção de 172 metros com teor de 0,46g/t de ouro e 0,50% de cobre. Em 2015, a produção de ouro foi de 119.059 onças (oz)⁹ e 59,4 mil toneladas de cobre. O total de reservas provadas e prováveis é de 520,6 milhões de toneladas de minério com teor de 0,26% Cu.

Mineração Caraíba

⁹oz- unidade de medida para o metal ouro. 1 onça troy= 31,1035 gramas

A Mineração Caraíba tem projetos de minério de cobre no estado da Bahia, no Vale do Curaçá, área do atual município de Jaguarari. Na década de 70, iniciou o aproveitamento comercial da Mina Caraíba, tornando-se, a única fabricante de cobre eletrolítico no país.

A Companhia é a única a ter mina subterrânea de cobre no Brasil, além das Minas Surubim e Suçuarana que são a céu aberto. As operações são realizadas na mina Caraíba e Suçuarana. De acordo com a Caraíba, anualmente são produzidas 27 mil toneladas de concentrado de cobre e a produção é direcionada para o mercado interno. Ainda há projetos a serem viabilizados pela Companhia que são: Projeto Vermelhos, na Bahia, com reserva lavrável de aproximadamente 5,0 Mt e o Projeto Boa Esperança, no Pará, com lavra de minério bruto estimada de 4 Mt ROM/ano.

Importante mencionar que mesmo com um histórico de solidez, a Companhia tem passado por dificuldades econômico-financeiras. Os fatores macroeconômicos, como a flutuação da taxa de câmbio e a redução do preço do cobre no mercado internacional contribuíram para essa situação. Em abril de 2015, a Administração da Companhia entrou com pedido de recuperação judicial e em junho de 2015 iniciou um plano de reestruturação.

Em janeiro de 2016, a crise se agravou com o alagamento da mina subterrânea e o impedimento da exploração do minério de maior teor. Em junho, a Mineração Caraíba anunciou a suspensão de parte das suas atividades operacionais e administrativas. Está em curso uma negociação para a entrada de um investidor estrangeiro, possivelmente uma empresa canadense, que possibilitará o retorno das atividades de produção da Companhia.

Avanco

A Avanco Resources Limited é uma *Junior* de origem Australiana, está no Brasil desde 2007 quando adquiriu o Projeto Rio Verde, no Pará. Em abril de 2016, a Mina de Antas que faz parte do Projeto foi inaugurada. O Projeto Rio Verde, recebeu investimentos da ordem de US\$ 60 milhões e terá capacidade de produção de 45 mil t/ano de concentrado de cobre (12 mil t/ano de cobre contido).

O depósito de Rio Verde abrange recursos da ordem de 2,6 Mt de minério, teor de 3,19% de cobre e 0,66 g/t de ouro, com o conteúdo metálico ("in situ") de 85 mil t de cobre e 56.277 onças de ouro. A mina Antas North, apresenta teor de cobre entre 2,5% e 3,0%.

A Avanco tem o objetivo de expandir suas atividades com minério de cobre com o Projeto Pedra Branca, em Carajás (PA) distante do Projeto Rio Verde aproximadamente 50 km. De acordo com a Empresa, o Projeto contém um volume de cobre três vezes maior que o Projeto Rio Verde, com um teor médio de 2,45% e *cut-off* de 0,9%. Os recursos indicado e inferido somam 18,5 Mt com 2,4% de cobre e 0,61 g/t de ouro, com o conteúdo metálico ("in

situ") de 454 mil toneladas de cobre e 363 mil onças de ouro. O custo estimado para implementar uma unidade com capacidade anual de 30 mil t de cobre contido e 25 mil onças de ouro é de U\$ 200 milhões. A previsão de entrada em operação é 2018 com 12 anos de vida útil da mina, podendo ser estendida com a aquisição de depósitos satélites.

Além dos projetos já exemplificados acima, há a previsão de novos projetos para cobre no Brasil. De acordo com o Sumário Mineral 2015, os projetos que estão na fila são:

Vale:

- a) Cristalino - Carajás (PA): produção de 100 mil t/ano de cobre contido em concentrado;
- b) Alemão - Carajás (PA): produção de 80 mil t/ano de cobre contido em concentrado.

Mineração Caraíba:

- a) Boa Esperança - Tucumã (PA): produção de 30 mil t/ano de cobre contido em concentrado;
- b) Vermelhos - Juazeiro (BA): capacidade de 30 mil t/ano de cobre contido em concentrado.

Mineração Vale Verde/Aura Minerals:

- a) Projeto Serrote da Laje - Caraíbas e Arapiraca (AL): produção de 40 mil t/ano de cobre contido.

Além dos projetos acima citados, ainda há outros projetos em discussão. São eles:

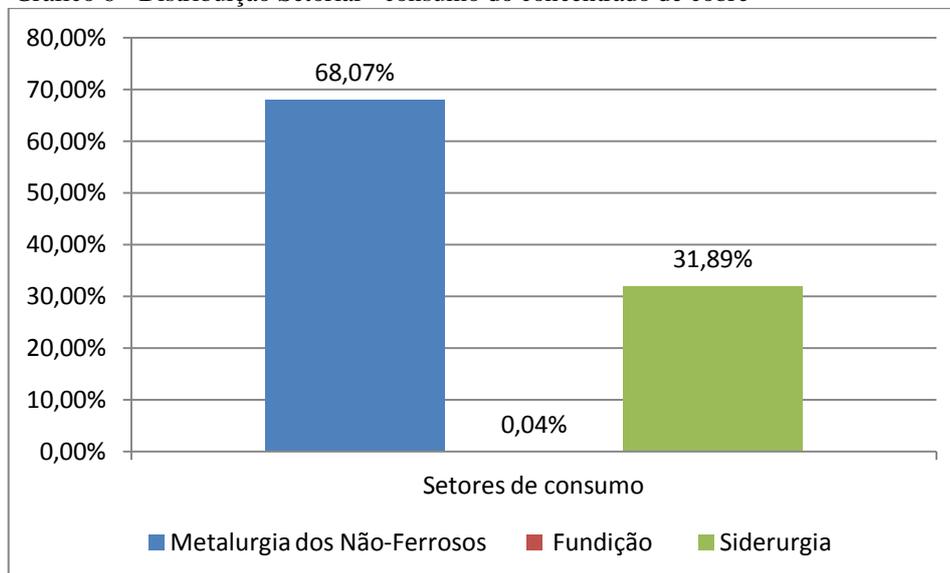
- a) Projeto Aurora no Ceará que foi adquirido pela mineradora australiana Centaurus Metals por meio de aliança estratégica com a Terrativa Minerals. Os dados históricos de sondagem do projeto de cobre incluem interseções de 12,5 metros com 2,4% de cobre; 9,5 metros com 1,6% de cobre; 6,9 metros com 0,93% de cobre, entre outros;
- b) A Centaurus também possui no seu portfólio o Projeto Parambu no Ceará e está em fase de integração de dados para iniciar a etapa de campo do projeto.

4.2.3 Demanda Nacional

O cobre, por ser um bom condutor, é empregado principalmente na indústria elétrica/eletrônica, seguida da construção civil. No Brasil, o consumo de concentrado de

cobre está presente principalmente nos setores de metalurgia de não ferrosos, seguido da siderurgia. O Gráfico 6 a seguir mostra participação de cada setor, com base nas informações do anuário mineral de 2010.

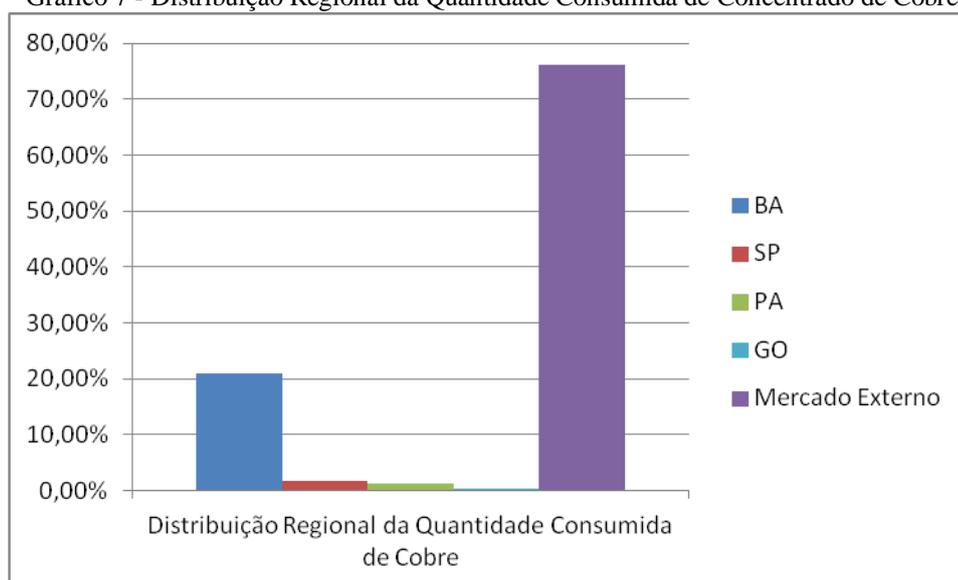
Gráfico 6 - Distribuição Setorial - consumo do concentrado de cobre



Fonte de dados: Anuário Mineral, DNPM, 2010.

O concentrado de cobre que é consumido no Brasil, é empregado principalmente no estado da Bahia, líder em consumo com 21%, sobretudo pelo fato de na região, mais especificamente no polo industrial de Camaçari, estar localizado o *smelter* de fundição, que atualmente pertence a Paranapanema e realiza a transformação do concentrado em produto. Contudo, a maior parte da produção brasileira de concentrado de cobre, de aproximadamente 76,1%, é destinada ao mercado externo, conforme mostrado no Gráfico 7 a seguir.

Gráfico 7 - Distribuição Regional da Quantidade Consumida de Concentrado de Cobre



Fonte de dados: Anuário Mineral, DNPM, 2010.

Em termos de consumo de cobre refinado, o Brasil ainda possui níveis baixos de consumo quando comparado a países em desenvolvimento como Rússia e Índia, que tiveram consumo em 2013 de 664,3 mil t e 455,1 mil t respectivamente. Já China é o maior consumidor de cobre refinado com quase 9,5 milhões de toneladas em 2013, Anuário Estatístico, 2014. O grande consumo chinês está ligado principalmente pelos vastos investimentos em uma indústria diversificada, além da intensificação da urbanização e infraestrutura. A Tabela 46 mostra o panorama do cobre no Brasil nos últimos anos.

Tabela 46 - Consumo interno de cobre no Brasil

Discriminação		Unidade	2012 ^(r)	2013 ^(r)	2014 ^(p)
Produção	Concentrado ⁽¹⁾	t	223.141	270.979	301.197
	Metal Primário		186.000	236.050	213.085
	Metal Secundário		24.700	25.900	23.600
Importação	Concentrado ⁽¹⁾		76.072	152.292	148.403
	Metal ⁽²⁾		298.100	280.600	246.437
Exportação	Concentrado ⁽¹⁾		157.650	242.750	239.548
	Metal ⁽²⁾		72.500	118.700	92.710
Consumo Aparente	Concentrado ⁽¹⁾		141.563	180.521	210.052
	Metal ⁽²⁾	436.300	423.850	390.412	

Legenda: (1) Metal contido; (2) metal primário + secundário; (3) produção + importação - exportação; (r) revisado; (p) preliminar.

Fonte: Sumário Mineral 2015.

Em relação ao consumo per capita de cobre refinado, o Brasil também apresenta baixo grau de consumo, com 2,1 kg/ habitante, valor muito inferior por exemplo a países como

China e Japão, que tinham em 2013, 7,0 kg/ habitante e 7,8 kg/ habitante, respectivamente. Além de Rússia e México, países em desenvolvimento, assim como o Brasil e que apresentaram consumo de 4,7 kg/ habitante e 2,8 kg/habitante em 2013, Anuário Estatístico (2014).

No Brasil, o consumo de cobre no segmento industrial é maior para condutores elétricos de cobre, que representa 59% do total do consumo. Os condutores elétricos são classificados em: padronizados, energia, esmaltados, telecomunicações e especiais. Além de condutores elétricos, o segmento industrial também é composto por produtos semimanufaturados, que participam com 34% do total e são classificados como: laminados, tubos, barras e arames. Também fazem parte do segmento outros produtos tais como pós e pigmentos, peças fundidas e forjadas. A Tabela 47 a seguir mostra o consumo total de cobre nos anos de 2012 e 2013.

Tabela 47 - Consumo total de cobre no Brasil no segmento industrial
mil t

Segmento industrial	2012	2013
Condutores elétricos de cobre	246,7	250,5
Padronizados	115	120
Energia	23,7	22
Esmaltados	61	58,5
Telecomunicações	21	21
Especiais/Outros	26	29
Semimanufaturados	142,8	142,6
Laminados	39,5	35,3
Tubos e Conexões	33,3	34,6
Barras	47,2	50,1
Arame	22,8	22,6
Outros	26,1	28,1
Total de cobre contido em produtos	415,6	421,2

Fonte: Anuário Estatístico 2014, ABCobre e Sindcel.

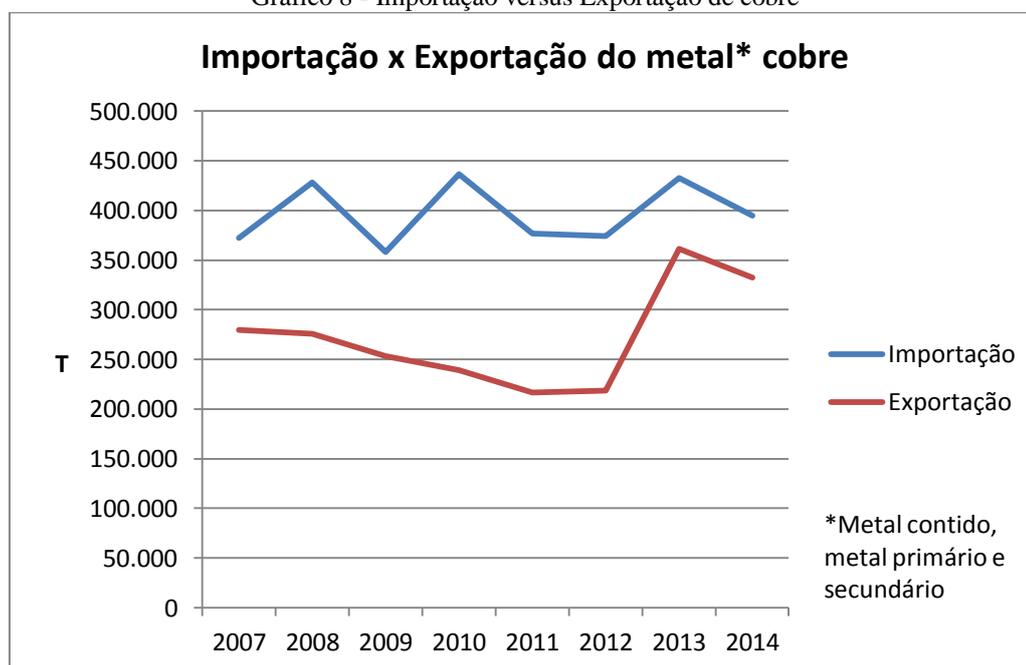
4.2.4 Comércio exterior brasileiro de concentrado e metal

Baseado em informações do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, o DNPM disponibiliza os dados de importação e exportação através de seus Sumários Mineraiis.

O Gráfico 8 a seguir, mostra que as importações para cobre, mais precisamente concentrado de cobre e metal primário e secundário, são maiores que as exportações. Indica que o Brasil é dependente de importações de cobre, pois a sua produção interna é inferior ao seu consumo interno.

Importante também observar que a partir de 2012, as exportações tiveram um crescimento expressivo de aproximadamente 65%, que pode ser marcado pela entrada em operação do Projeto de Salobo da Vale, que tinha previsão à época de capacidade de produção de até 100 mil t/ano de cobre contido em concentrado.

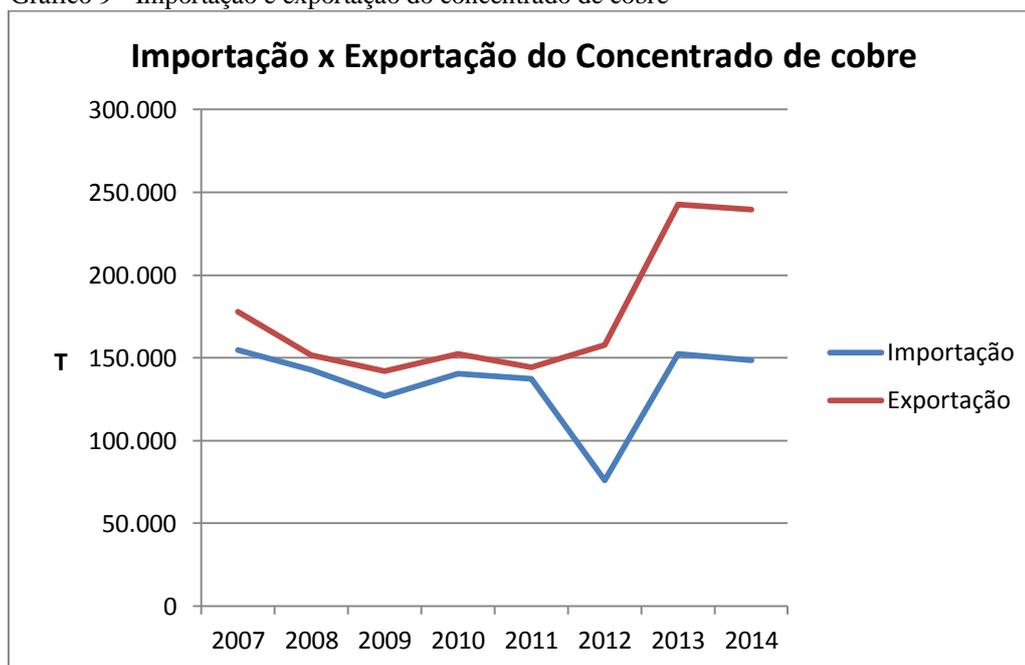
Gráfico 8 - Importação versus Exportação de cobre



Fonte: DNPM - Sumário Mineral.

O Gráfico 9 também aborda o crescimento marcante de aproximadamente 54% das exportações de concentrado de cobre a partir de 2012. E que está associado a entrada do Projeto da Vale. Além disso, o gráfico ainda indica que para o concentrado de cobre, o Brasil tem uma balança comercial favorável, com as importações sempre menores que as exportações.

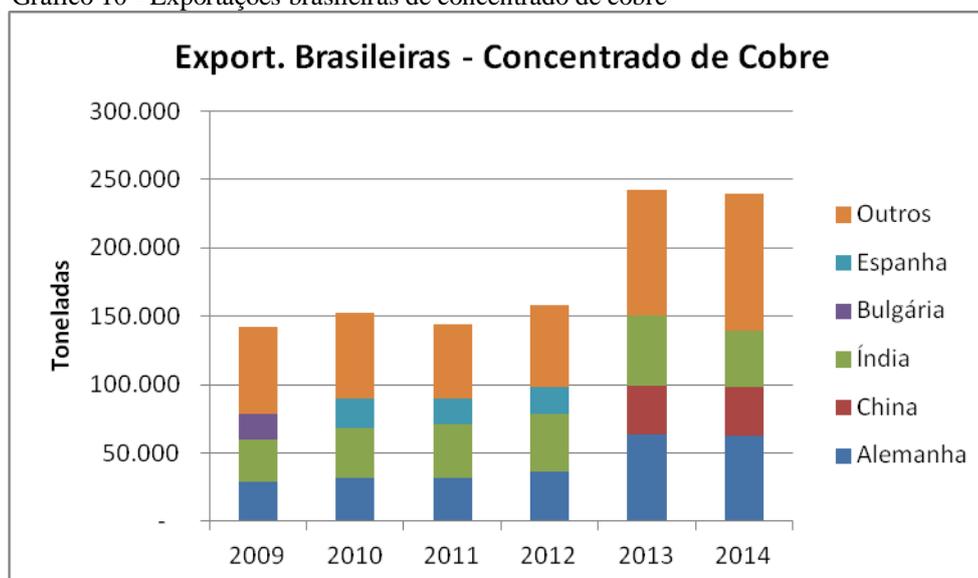
Gráfico 9 - Importação e exportação do concentrado de cobre



Fonte: DNPM - Sumário Mineral.

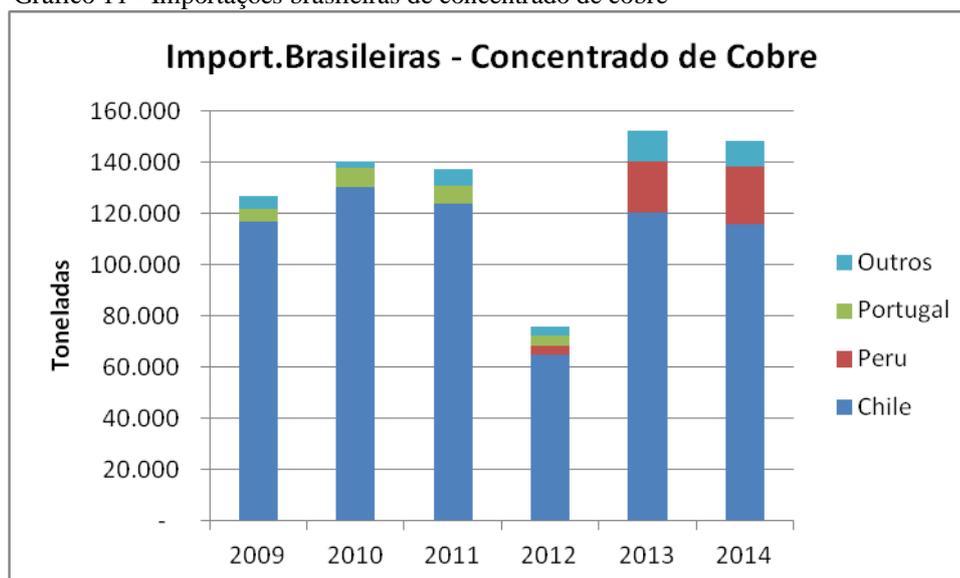
Os gráficos 10 e 11 a seguir correspondem as exportações e importações brasileiras de concentrado de cobre. Eles mostram que as exportações são principalmente destinadas aos países como Alemanha, Índia e China. Já as importações, são predominantemente do Chile com mais de 80%, seguidos de Peru e Portugal, DNPM -Sumário Mineral.

Gráfico 10 - Exportações brasileiras de concentrado de cobre



Fonte de dados: DNPM -Sumário Mineral.

Gráfico 11 - Importações brasileiras de concentrado de cobre



Fonte de dados: DNPM - Sumário Mineral.

Um dos motivos para as maiores exportações brasileiras seguirem para China, Índia e Alemanha é que são países que possuem *smelters* de grande capacidade para o beneficiamento do concentrado de cobre e a produção de cobre refinado.

Esse descasamento entre produção de cobre na mina e a produção nos *smelters* está associado ao uso de técnicas de extração hidrometalúrgica que complementam a produção da rota pirometalúrgica, além das empresas realizarem um melhor aproveitamento da sucata, que possibilita uma redução do custo de energia, em relação à produção a partir do minério. Inclusive para países como a Alemanha que não possui minas de cobre, mas produz o cobre refinado e a China que atualmente é a maior produtora de cobre refinado, chegando a ultrapassar o Chile, BNDES 2012.

Em relação as importações, o Chile e o Peru por estarem muito próximos ao país são os grandes países exportadores de concentrado para o Brasil.

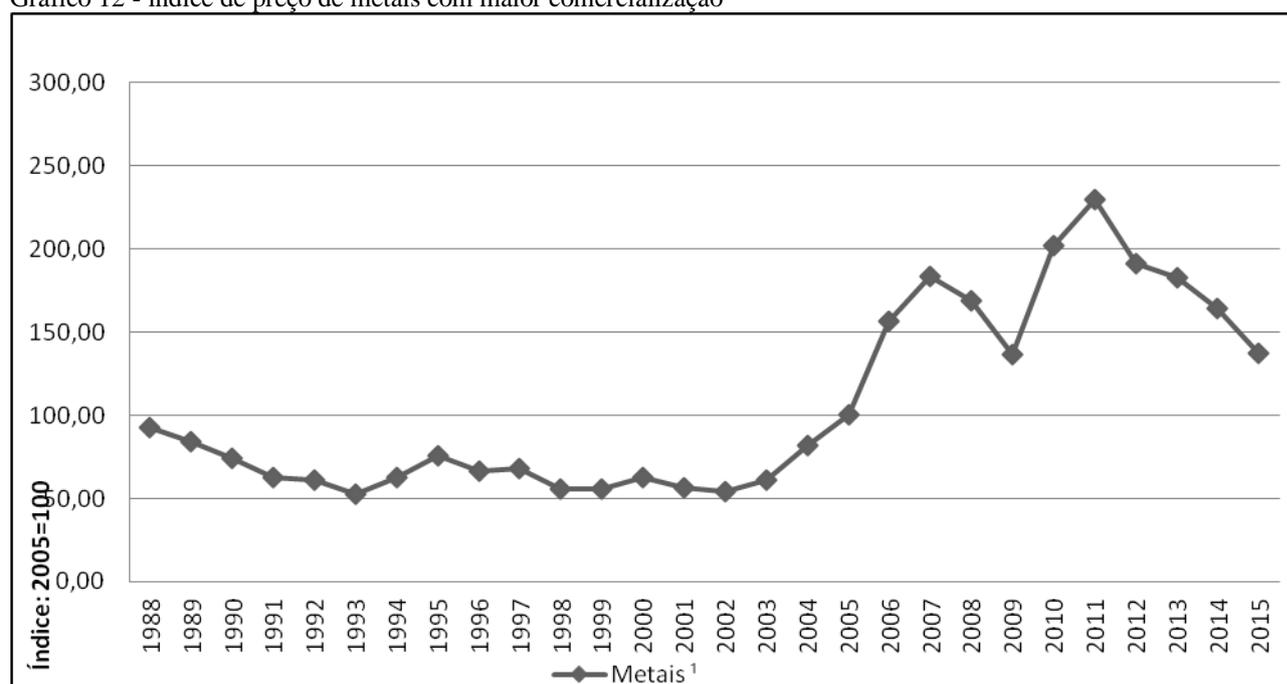
4.3 Preços

As *commodities* provenientes da mineração possuem um mercado cíclico e variam de acordo com a oferta e demanda. Nos últimos anos, o comportamento do mercado mundial foi de aumento da capacidade produtiva nos setores de mineração e de metais, compatível com o crescimento econômico da China e da grande demanda desse país por metais.

O início da elevação dos preços dos metais, em torno de 2003, coincide com o quadro extremamente favorável da economia mundial, inclusive na América Latina e África, que tiveram processos significativos de expansão econômica. A China foi decisiva nesta escalada, nesta época o país estava realizando uma grande industrialização e urbanização. Tal fator foi determinante para a ampla elevação de importação de produtos intensivos em recursos naturais, que contribuíram, decisivamente para a alta dos preços das *commodities* a partir de 2003.

Contudo, nos dois últimos anos, o cenário mudou, com uma retração significativa da demanda e da produção mundial de metálicos. Ademais, diversos projetos foram concretizados no mundo, adicionando capacidade ao mercado que já estava em declínio. A conjunção de fatores promoveu grandes quedas nos preços das *commodities* conforme observado no Gráfico 12, BNDES, 2016.

Gráfico 12 - índice de preço de metais com maior comercialização



Nota: Índice de preços dos metais, incluindo cobre, alumínio, minério de ferro, estanho, níquel, zinco, chumbo e urânio.

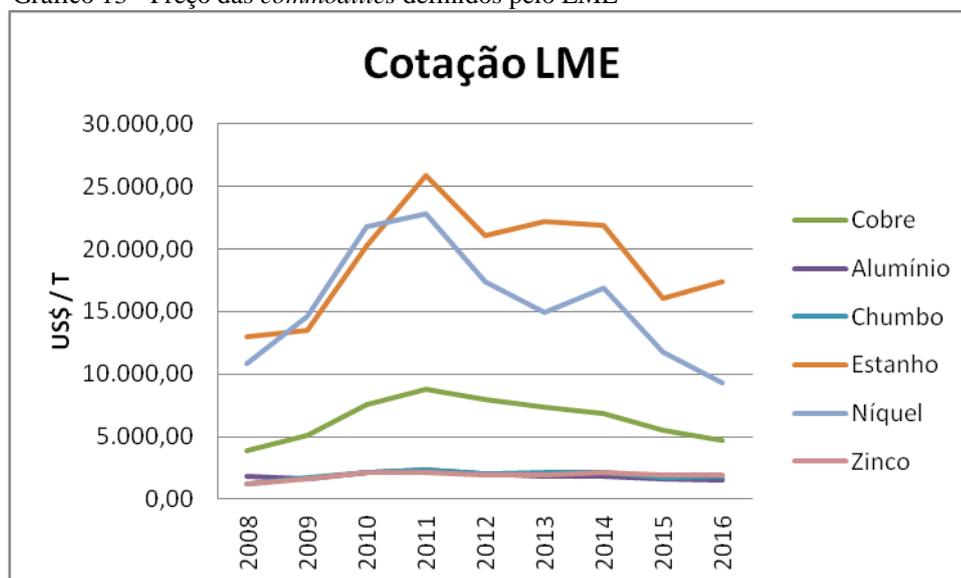
Fonte: FMI (2016).

A China é o maior consumidor de metais do mundo e por isso o comportamento da economia chinesa hoje é que determina os mercados de metais. Assim, com a estabilização do crescimento econômico chinês, os preços das *commodities* minerais e dos metais tem sofrido um impacto negativo.

Em se tratando do preço do cobre, ele é definido pela Bolsa de Metais de Londres ou *London Metal Exchange* (LME), onde o cobre é negociado em dólar por lote de 25 toneladas. Conforme já observado acima, a cotação do preço do metal é influenciada pelo ritmo do crescimento econômico mundial. Além disso, o preço do cobre também é influenciado por setores específicos tais como, infraestrutura, energia elétrica e construção civil.

O Gráfico 13 a seguir mostra a curva de preço do cobre e das principais *commodities* que tem os preços definidos pelo LME.

Gráfico 13 - Preço das *commodities* definidos pelo LME



Fonte de dados: <http://www.maxiligas.com.br/cotacao-lme-london-metal-exchange#toplink>.

Conforme pode ser observado pelo Gráfico 13, todas as *commodities* tiveram um crescimento expressivo de preço entre 2009 e 2011. A elevação dos preços das *commodities* é compatível com o crescimento de 10,5% do PIB Chinês, em 2010, uma elevação de 13% ante a 2009. Em 2011, o crescimento do PIB chinês foi de 9,2%. Contudo, os preços das *commodities* ainda estavam elevados por conta da demanda superior à capacidade de produção.

Os preços de cobre tiveram queda a partir de 2012. Diversos fatores englobam a redução da demanda, com destaque para a diminuição do consumo chinês, custos mais baixos de energia, que juntos pressionam os preços deste metal.

Em relação a tendência de preço, tanto o cobre refinado quanto o concentrado de cobre, têm seus preços alterados de acordo com a oferta e demanda de cobre no mundo. De acordo com a CRU, 2016, existe uma possibilidade de haver déficit de oferta nos primeiros

anos da década de 2020. O principal fator é o subinvestimento em projetos de mineração de cobre, além dos ajustes de elevação de Capex, oriundos do período de grande expansão do mercado, e, a queda do preço do cobre.

Espera-se que com a elevação da demanda e a redução do crescimento da oferta de cobre refinado, mais precisamente a partir de 2018, os preços devam voltar ao patamar de mais de US 5.000/t. Ademais, caso os estoques dos mercados de cobre refinado continuem a cair, os preços deverão continuar a subir em 2019.

Também é esperado para os próximos anos, que o mercado de concentrado de cobre se sinta pressionado com a rápida expansão da capacidade de fundição chinesa. Tal fato poderá pressionar os preços para cima para o concentrado de cobre.

Ainda de acordo com a CRU, 2016, a partir de 2019 haverá déficit de cobre refinado, elevando esse déficit em mais de 200% em 2021, além da carência em concentrado de cobre, que resultará em mais uma elevação do preço do cobre acima de US\$ 6.000/t em 2020 e US\$ 6.400/t em 2021.

4.4 Custos Referenciais de Implantação e de Operação de Empreendimentos de Cobre

4.4.1 CAPEX (Capital Expenditure) - Custos de Investimento em Projetos de Cobre

Para as mineradoras, a decisão de investir em projetos de mineração é de extrema importância. Tal deliberação envolve uma série de análises que vão desde a avaliação de viabilidade econômica do projeto, os custos dos investimentos, passando inclusive por questões relacionadas a impactos ambientais. Também é importante prestar atenção nas questões relacionadas ao mercado que envolvem a demanda do produto, competição entre empresas do mesmo setor, ritmo do crescimento da economia, entre outros.

Um outro fator importante é a hora de tomar a decisão de iniciar um projeto, uma vez que a oportunidade de investimento é limitada há um tempo determinado, onde se busca maximizar o valor do projeto.

No Brasil, a título de comparação com a mineração de ferro, o cobre tem uma participação restrita, já que o minério de ferro é tão difundido e possui uma cadeia desde a exploração até o seu beneficiamento bastante estruturada.

Nesse sentido, o minério de ferro por ser mais difundido, possui maior base de dados e mais pesquisas que ajudam a embasar a busca de informações por este minério. Já o minério de cobre tem menos empresas focadas em exploração, é um minério que necessita de diversos investimentos em pesquisa mineral, principalmente métodos geofísicos, mais caros e que muitas vezes não oferece um retorno imediato.

Tomando como base os dados disponibilizados pela Vale através dos Relatórios anuais 20 F da companhia, foi realizada uma busca de informações de dois projetos que estão em evidência no momento e que contribuem positivamente para a produção de concentrado de cobre no Brasil. São eles os projetos de Sossego e Salobo, este último da Salobo Metais S.A., controlada 100% pela Vale S.A..

O projeto de Sossego foi o primeiro projeto da Vale a entrar em produção (em 2004). De acordo com o Relatório anual 20F da Vale de 2003, o valor do investimento estimado foi de US\$ 413 milhões com duas jazidas principais, Sossego e Sequeirinho, localizadas no município de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás, no Pará. A capacidade operacional anual projetada é de 15 milhões de toneladas extraídas para uma média de 140 mil toneladas de cobre contido em concentrado (teor de 30%).

De acordo com o Relatório 20F de 2005 da Vale S.A., as operações de Sossego iniciaram em 2004 e a previsão de exaustão seria 2021. O total de reserva provada e prováveis do Projeto de Sossego é de 225,1 toneladas de minério. Importante mencionar que as informações do último relatório 20F da Vale do ano de 2015 mostram que a data de exaustão projetada atual é em 2024.

O Projeto de Salobo iniciou sua produção em 2012 com capacidade nominal estimada de 100 mil toneladas anuais de cobre contido em concentrado, com teor variando de 36 a 40%, de acordo com o site da Vale. Com a expansão de sua operação, denominada Salobo II, que ocorreu em 2014, foram adicionadas mais 100 mil toneladas de produto. O projeto também está localizado na Província Mineral de Carajás, mas no município de Marabá (PA).

De acordo com o Relatório 20F de 2012 da Vale S.A., as operações de Salobo iniciaram em 2012 e a previsão de exaustão da mina é no ano de 2043. Um outro dado relevante é sobre a tonelagem de minério para as duas minas. Conforme mostrado na Tabela 48 a seguir, a Mina de Salobo apresenta uma tonelagem bem superior à de Sossego, alcançando 5 vezes a tonelagem de Sossego. Outro fator de destaque para ser avaliado é o incremento do valor do Capex em mineração de cobre para os dois projetos, em um espaço de 8 anos, o valor do Capex por tonelagem de minério cresceu 78%.

A grande elevação do Capex no intervalo de 8 anos pode ser ocasionado pelo *boom* das *commodities* que impulsionaram a mineração, elevando os custos dos projetos.

Tabela 48 - Capex dos Projetos Vale - Brasil

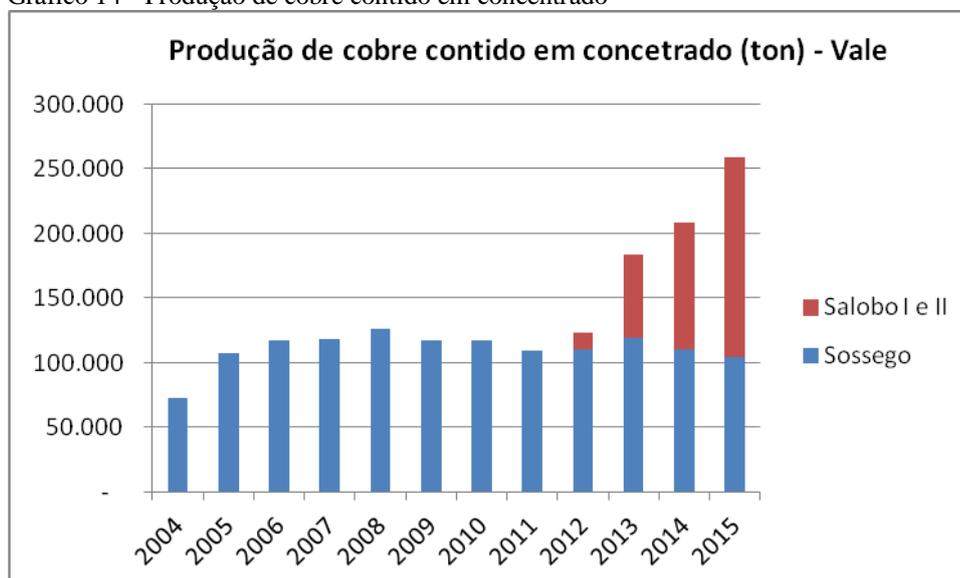
				Reservas Provadas e Prováveis		
	Capex (US\$)	Operações iniciadas	Data projetada para exaustão	Tipo	Tonelagem de minério	Teor
Sossego	413.000.000,00	2004	2021	Céu aberto	225,1*	0,98%Cu e 0,271 g/t Au (GPT)
Salobo I	2.290.000.000,00	2012	2043	Céu aberto	1122,6**	0,72%Cu e 0,38 g/t Au
Salobo II	1.371.000.000,00					
Total	4.074.000.000,00					

Legenda: *Base 2005; **Base 2012

Fonte: Relatórios 20F da Vale.

A produção desde a entrada em operação de cada uma das minas da Vale está apresentada no Gráfico 14 a seguir.

Gráfico 14 - Produção de cobre contido em concentrado



Fonte de dados: Relatórios 20F da Vale .

A produção de concentrado de cobre do início de Sossego em 2004 até 2011, era de média anual de 111 mil toneladas de cobre contido em concentrado. A partir do início da produção de Salobo, que adicionou capacidade nominal de 200 mil toneladas incluindo sua

expansão, a produção anual média alcançou 194 mil toneladas de cobre contido em concentrado, um crescimento de 75% na produção de concentrado de cobre da Vale no Brasil.

Os projetos vistos acima são projetos *greenfields* realizados no Brasil pela Vale. São projetos de longo prazo e requerem altos investimentos. A título de comparação a esses investimentos foi analisado um projeto no Chile de expansão das atividades de mineração da Mina de Chuquicamata da Codelco, entretanto, as dimensões do projeto são tão grandes e complexas que pode ser caracterizado como um novo projeto.

O depósito de Chuquicamata é do tipo pórfiro com dimensões retangulares em planta e apresenta mergulho vertical. A sua mineralização é controlada por falha.

A mina de Chuquicamata iniciou suas operações em 1915 em lavra a céu aberto. Até 2005 foram minerados aproximadamente 2,6 bilhões de minério de cobre com teor de 1,53% de cobre e profundidade de 850 m. (Olavarria, 2006). A lavra a céu aberto está próxima da exaustão e por esse motivo a Codelco iniciou em 2011 o projeto Chuquicamata *underground*.

Este projeto é considerado um megaprojeto que explorará uma parcela significativa das reservas do atual depósito, com aproximadamente 1,8 bilhão de toneladas, com teor de 0,712% de cobre e 502 ppm de molibdênio, que representam quase 70% do total de minério extraído ao longo dos anos de produção da mina a céu aberto. Espera-se produzir 320 mil t/ano de cobre e 15 mil t/ano de Molibdênio. A previsão de vida útil da mina subterrânea é de 40 anos e se espera alcançar a profundidade de 1.800 m (Codelco, 2015).

O projeto é desafiador para a engenharia mineira chilena devido as suas características e magnitudes. Serão construídos 180 quilômetros de túneis para acesso a extração mineral e poços de ventilação com 11 m de diâmetro e mais de 900 m de profundidade. Espera-se que com engenharia de alta qualidade os resultados sejam de sucesso em termos de custo, segurança, desempenho e tempo.

O projeto também terá diminuição do impacto ambiental, por se tratar de uma mina subterrânea, haverá redução de aproximadamente 97% na emissão de material particulado e queda do consumo de diesel em aproximadamente 1/7 do consumo atual. A Tabela 49 mostra o investimento a ser realizado para entrada em operação da Mina Chuquicamata *underground*.

Tabela 49 - Capex do Projeto Codelco - Chile

Projeto	Capex (US\$)	operação prevista	Data projetada para exaustão	Reserva Provável		
				Tipo	Tonelagem de minério (Mt)	Teor
Chuquicamata	4.200.000.000,00	2019	2060	subterrânea	1.760	0,71%Cu e 502 ppm Mo

Fonte: Annual Report 2015 - Codelco.

Ao comparar os investimentos da Vale, em específico Salobo, com os investimentos da Codelco para Chuquicamata *underground*, observa-se que os investimentos possuem valores similares, que são da ordem de mais de US\$ 4 bilhões de dólares de Capex, para teores de cobre e reservas similares nos dois projetos. Ressalta-se que o Projeto da Vale foi *greenfield*, desde a abertura de mina a céu aberto até a planta de beneficiamento para a produção de concentrado de cobre. O projeto da Codelco é destinado para a expansão da sua mina. Atualmente Chuquicamata já conta com planta de beneficiamento e de refinamento eletrolítico.

4.4.2 OPEX - (Operational Expenditure)- Custos de Operação (Cash Costs)

Em uma análise de economicidade para o desenvolvimento de uma jazida de cobre, o custo de produção sempre deve ser considerado. São diversos os fatores que estão envolvidos no custo e que podem elevá-lo ou reduzi-lo.

Tomando como base os dados da CRU Group (2012b), a seguir serão apresentadas as definições que são baseadas as análises de custo:

- a) **custos operacionais:** incluem *royalties*, com base na produção em volume, custos de mão de obra, energia, combustíveis, consumíveis (explosivos, pneus, nitrato de alumínio e ácido sulfúrico) e custos de manutenção;
- b) **custos totais de mina:** incluem, além dos operacionais descritos, os custos de manutenção da capacidade produtiva (*sustaining*) e custos de capital de giro;
- c) **custos globais:** consistem na soma dos custos de realização (tratamento e refino de cobre, frete, marketing e financiamento) com os custos totais de mina;
- d) **custos médios operacionais líquidos:** custos globais de produção do cobre refinado menos o crédito de vendas de elementos associados, como ouro, prata, molibdênio e cobalto.

Os dados apresentados da CRU abordam 129 minas, dos quais nove projetos respondem por 86% da produção mundial em 2009 e em 2016 chegará a 92% da produção projetada. Dessas unidades, 83 são produtores de concentrado de cobre, vinte produzem catodo de cobre via lixiviação *in situ* e SX/EW e 26 produzem tanto concentrado como

catodo. No Brasil, somente a Caraíba Metais desenvolve a produção de catodo, o restante dos projetos produz apenas o concentrado de cobre.

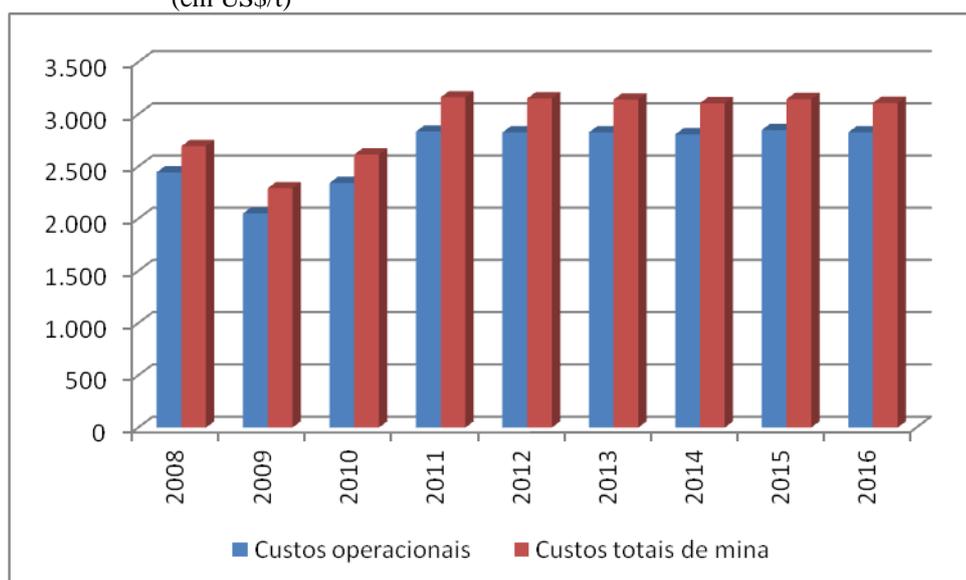
Um dos motivos dos novos projetos no Brasil somente produzirem o concentrado de cobre, é o elevado custo de energia, somado a insegurança em relação as condições de suprimento, além de alguns depósitos apresentarem contaminantes que necessitam de adaptações nos *smelters* para a produção do metal.

De acordo com CRU, 2012, os custos operacionais médios mundiais de mineração e os custos totais de mina de cobre, em 2011, foram estimados em cerca de US\$ 2.835/t e US\$ 3.296/t, de cobre contido respectivamente. Os custos comparados ao ano de 2010 representam aumento de 21% em 2011. Para os custos operacionais, os itens mais representativos em 2011 foram: combustível, 35%, manutenção, 23,2% e energia, 21,5%.

Além dos componentes apresentados, os resultados foram impactados pela redução de performance das minas, em função da qualidade e concentração do minério e dificuldade de mineração. Os dados mostram que a partir de 2012 é esperado que haja uma redução em alguns componentes dos custos operacionais, possibilitando a estabilização dos custos nos próximos anos.

O Gráfico 15 a seguir mostra a média mundial dos custos operacionais e totais de mina, entre 2008 e 2011, e os custos projetados entre 2012 e 2016, para a mineração de cobre.

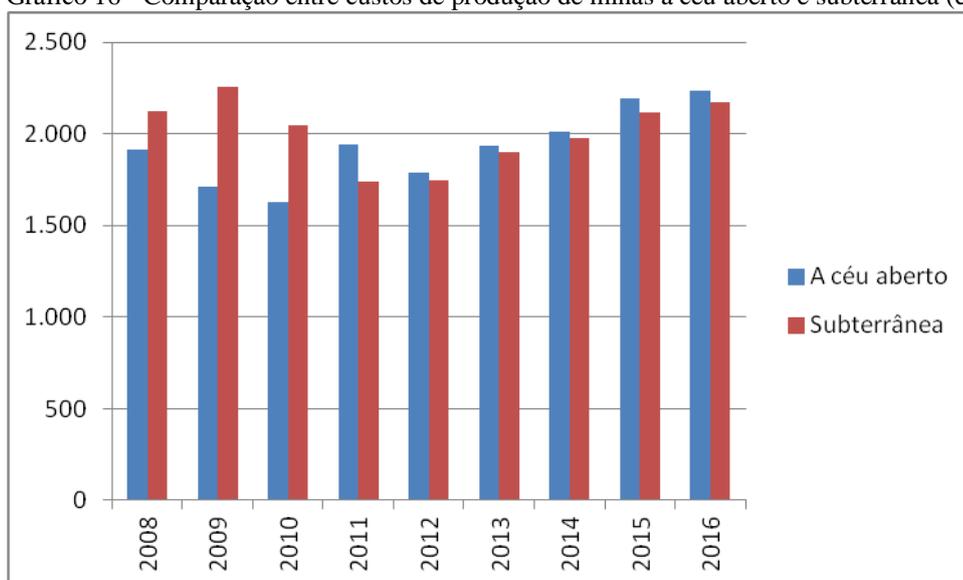
Gráfico 15 - Médias mundiais dos custos de mineração de cobre, excluindo receita com subprodutos (em US\$/t)



Fonte de dados: Copper Quarterly Industry and Market Outlook [CRU (2012b)].

Para efeitos de comparação entre minas a céu aberto e subterrânea, o Gráfico 16 a seguir apresenta os custos entre os dois tipos de mina, entre 2008 e 2011, e os custos projetados entre 2012 e 2016. O gráfico mostra que as minas a céu aberto, possuem menores custos operacionais até 2010. A partir de 2011, as minas a céu aberto apresentam custos mais elevados que das minas subterrâneas, tal fator pode ser explicado pela redução dos teores médios das minas a céu aberto que poderão provocar o aumento dos custos para a exploração do minério.

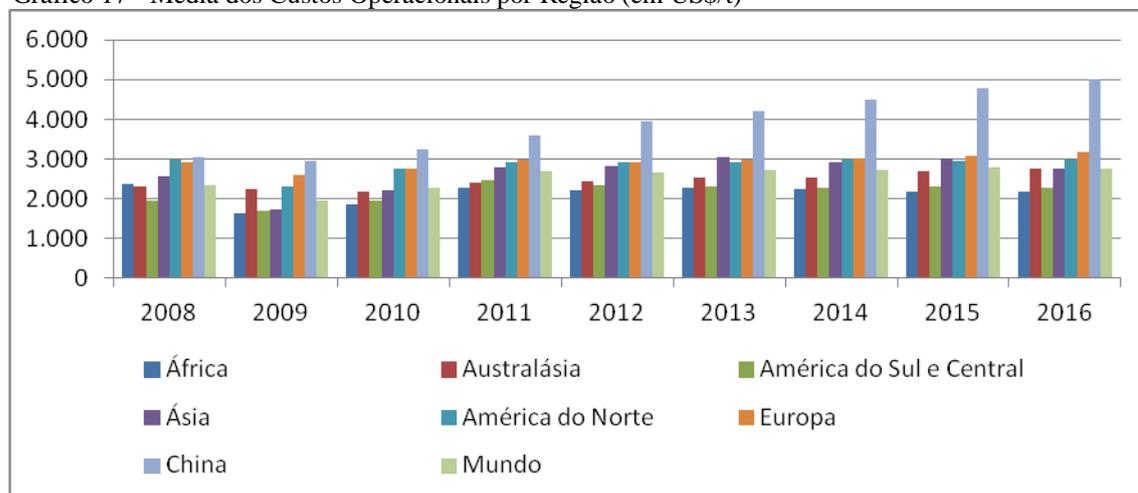
Gráfico 16 - Comparação entre custos de produção de minas a céu aberto e subterrânea (em US\$/t)



Fonte de dados: Copper Quarterly Industry and Market Outlook [CRU (2012b)].

O Gráfico 17 mostra os custos médios operacionais, por região do mundo, entre 2008 e 2011. Além dos custos projetados entre 2012 a 2016.

Gráfico 17 - Média dos Custos Operacionais por Região (em US\$/t)



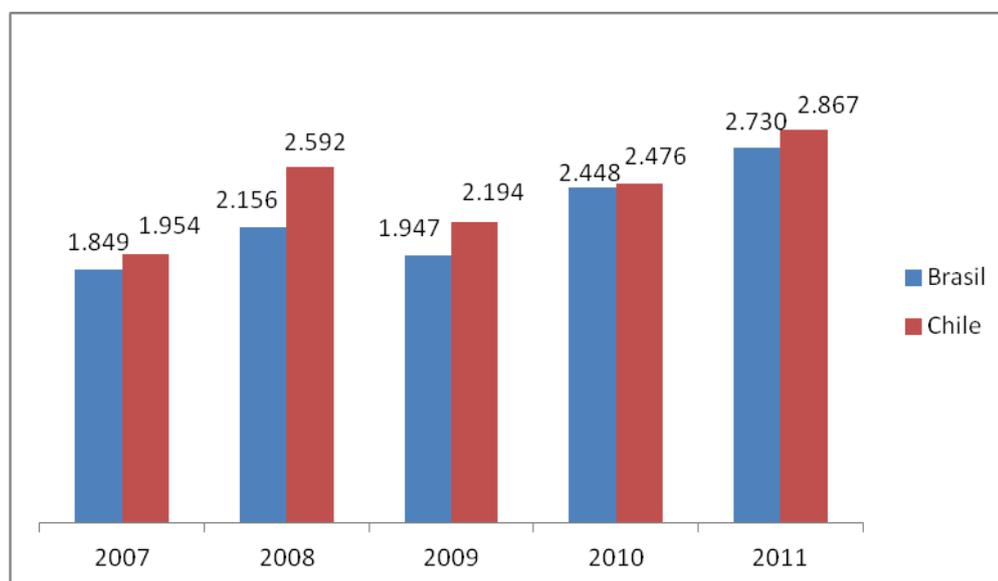
Fonte de dados: Copper Quarterly Industry and Market Outlook [CRU (2012b)].

De acordo com o Gráfico 17 acima, África e América do Sul/Central apresentam os menores custos operacionais do mundo, com os custos abaixo de US\$ 2.500,0/t até a projeção de 2016. Uma das diferenças em relação as outras regiões se dá pelo fato da mão de obra ter um valor mais baixo para África e América do Sul/Central. Já na Europa e Australásia, a mão de obra é a componente de maior relevância no total dos custos. Para China e América do Norte o custo dos consumíveis se destaca no total dos custos.

Vale ressaltar que a China apresenta os maiores custos operacionais do mundo, ultrapassando os US\$ 4.000,00/t na projeção a partir de 2013, principalmente por ter diversas minas de pequeno porte que não permitem que haja redução de custos por aproveitamento de escala.

Ao realizar uma comparação nos custos operacionais (até a etapa de concentração) entre Brasil e Chile, o maior produtor de cobre do mundo, o Gráfico 18 mostra que o Brasil consegue ser competitivo em relação aos custos operacionais de mina, até a fase de concentração, com média de 8% abaixo dos custos das minas chilenas. Isso pode ser explicado pelo número reduzido de minas no Brasil e sua experiência mais recente na mineração de cobre e com projetos em fase inicial de produção.

Gráfico 18 - Evolução dos custos operacionais médios da mineração de cobre no Brasil e Chile (em US\$/t)



Fonte de dados: Copper Quarterly Industry and Market Outlook [CRU (2012b)].

Os dados de 2012 da CRU corroboram com a notícia do *site mining.com* de novembro de 2016, que relata os custos da mineração de cobre no Chile entre os mais altos do mundo em 2015. Onde os custos de produção foram 5,4% maiores que a média de seus pares globais.

Um dos motivos para a elevação dos custos está no elevado custo de energia, que ameaça a competitividade da indústria do cobre chilena e impõe grandes desafios a novos projetos. De acordo com o *site mining*, os custos de eletricidade no Chile subiram 11% entre 2000 e 2015, que posicionou o país entre os mais caros na produção de energia para o desenvolvimento de projetos de mineração. Contudo, houve uma elevação considerável em instalações de energia solar, que ajudou na redução dos custos de eletricidade.

O outro fator que tem promovido a elevação dos custos está relacionado ao teor de cobre encontrado nas minas chilenas, que tem sofrido elevada queda nas minas mais antigas, ainda que o país tenha as mais ricas reservas de cobre no mundo. Assim, os custos de produção se elevam, tornando-se difícil manter a produção com os teores de cobre em declínio.

5 CONCLUSÕES, TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS

A abordagem final do presente trabalho envolve diversos tópicos desde dos subprodutos gerados a partir da produção do cobre, possíveis substitutos e concorrentes, passando por questões sobre sustentabilidade, incluindo reciclagem e meio ambiente. Também serão apresentadas inovações para o cobre e quais são os desafios e tendências enfrentados pelo mercado de cobre. Por fim, serão explicitadas as considerações finais.

5.1 Subprodutos, substitutos e concorrentes

No refinamento eletrolítico, numa das etapas do processo pirometalúrgio, que produz o catodo de cobre, com 99,9% de Cu, é gerada uma lama anódica de alto valor agregado que é depositada no fundo da célula eletrolítica. Dessa lama, são obtidos subprodutos tais como ouro, prata, platina e outros metais que são retirados e encaminhados para aproveitamento. São esses subprodutos que são contabilizados nos custos e que são denominados crédito de vendas dos elementos secundários.

Em relação aos substitutos para o cobre, o principal elemento é o alumínio que pode estar presente em cabos de alimentação, equipamentos elétricos, refrigeração, entre outros. O titânio e o aço podem ser utilizados em trocadores de calor. A fibra ótica substitui em aplicações de telecomunicações e o plástico pode substituir nas tubulações de água, tubo de drenagem e instalações sanitárias.

Pelo cobre ser intensamente empregado nos setores de energia elétrica, construção civil e infraestrutura, a primeira área a ser abordada para produtos substitutos será em energia elétrica. Isso porque o cobre é extremamente dúctil, maleável e possui boa capacidade de condução elétrica. Há diversos tipos de componentes que são capazes de conduzir energia elétrica. A prata é o melhor condutor elétrico, porém, por ter um preço elevado, não é utilizada para este fim. Sobram como principais elementos para conduzir eletricidade, o cobre, segundo melhor condutor e o alumínio, que é a alternativa mais econômica.

Normalmente o alumínio é utilizado em grandes redes de transmissão, cabos de distribuição aérea e algumas instalações de potência mais elevada. Já o cobre é a opção para as instalações domésticas e urbanas. Algumas características dos metais estão apresentadas na Tabela 50:

Tabela 50 - Características do cobre e alumínio

	Cobre	Alumínio
Densidade (g/cm ³)	8,89	2,703
Resistividade (Ω.mm ² /km)	17,241	28,264
Peso (Dens. X Resist.)	153,272	76,398
Massa atômica (u.a.)	63,3	27
Preço (US\$/t)*	5.822,50	1.751,00

Legenda: * Cotação LME 25/11/16

Fonte: <https://www.impacta.com.br/blog/2015/03/29/condutor-de-cobre-ou-aluminio-saiba-quando-e-por-que-utiliza-los/> acessado em 26-11-2016.

Conforme observado, a resistividade do alumínio é maior que a do cobre, ou seja, é necessário uma seção maior do condutor de alumínio para conduzir uma mesma corrente. Ainda assim, a massa de alumínio será menor por conta de sua densidade. E o peso do condutor de alumínio teria a metade do peso do condutor de cobre.

Sobre a questão econômica, o alumínio é mais vantajoso, entretanto, os avanços tecnológicos e de segurança são mais presentes no cobre. A seguir serão enumeradas as características que mostram a justificativa de que a maioria dos cabos elétricos contém condutores de cobre:

- a) a superfície de alumínio quando exposta ao ar produz uma camada de óxido, que é altamente isolante e que dificulta o contato;
- b) o alumínio escoa com pequenas pressões, afrouxando as conexões, que podem formar óxido, que eleva a resistência elétrica da conexão e provoca seu aquecimento, que é uma causa potencial de incêndio em instalações de cabos isolados;
- c) maioria dos circuitos é constituída por condutores e conexões de cobre. Como o alumínio e o cobre estão separados eletroquimicamente por 2 V, existe uma predisposição da conexão cobre-alumínio à corrosão galvânica.

O item b mostra a preocupação em relação a instalação e manutenção de cabos de alumínio, que deve ser feita por pessoal especializado. Ademais, há restrições de locais, como por exemplo, locais com alta densidade de ocupação e condições de fuga difícil, como hospitais, não podem usar cabos com condutores de alumínio.

As vantagens do cobre envolvem a maior resistência a fatores externos como oxidação e corrosão galvânica, evitando superaquecimento das fiações. Além do cobre ser mais maleável que o alumínio, favorecendo o uso para aplicações e instalações em que fios flexíveis são necessários.

Em relação a tubulações de água, o principal substituto do cobre é o plástico. Há diversos tipos como PVC, CPV e PEX, que são mais baratos, mais eficientes em termos energéticos, não promovem corrosão e são resistentes ao cloro. A seguir é apresentado um pouco sobre cada tipo de plástico:

- a) PVC (policloreto de vinila): é o segundo termoplástico mais consumido no mundo, atrás apenas do polietileno. Possui grande resistência química a ácidos, base, óleos, entre outros, que o torna uma opção para aplicação em peças que tem contato com produtos químicos. O fator negativo é a sensibilidade térmica;
- b) CPV (Cloro de Polivinila Clorado): Apresenta resistência química, não sofre corrosão. São ideais para construções com temperatura de até 70°C;
- c) PEX (polietileno reticulado): Apresenta grande resistência térmica, até 95°C, não sofre corrosão e a principal característica é a flexibilidade, com grande capacidade de fazer curva, reduzindo assim a quantidade de conexões.

Sobre os trocadores de calor, o cobre é bastante utilizado em trocadores de calor preenchidos por água, por exemplo. Contudo há materiais alternativos tais como: aço, titânio e alumínio.

Trocadores de calor de aço inoxidável: operam em temperaturas mais elevadas e mais resistentes que o cobre, por isso são ideais para o aquecimento e resfriamento de fluidos corrosivos em processos químicos, farmacêuticos, etc.

Trocadores de calor de titânio: toleram altas temperaturas e pressões e alta resistência a corrosão. São muito mais leves que o aço, contudo são bem mais caros. Em geral são utilizados em aplicações marinhas.

Trocadores de calor de alumínio: principalmente utilizados em temperaturas mais frias (até -270°C), com bom desempenho de transferência de calor e mais leve que outros metais.

5.2 Sustentabilidade

O tema sustentabilidade é de extrema importância para o desenvolvimento da sociedade. O termo sustentabilidade é usado para definir ações e atividades humanas que visam suprir as necessidades do presente sem comprometer o futuro das próximas gerações. Além disso, a sustentabilidade está diretamente ligada ao desenvolvimento socioeconômico e material, ou seja, para o desenvolvimento das economias e da população, deve-se usar os

recursos com a consciência de que ainda haja recursos no futuro, sem desperdício. Deste modo, a sociedade garante um desenvolvimento sustentável.

O cobre tem uma contribuição sustentável para a questão de energia. Ele tem grande valor para sistemas de energia limpa, geradores e transformadores, além de cabamentos e dispositivos de proteção. Também está presente na energia renovável e ajuda na redução das emissões de CO₂.

As fontes de energia limpa são principalmente eólica, solar e geotérmica e contribuem para elevar a capacidade de suprimento da demanda de energia, necessária para o desenvolvimento da humanidade. O cobre é um material importante para estas fontes, pois auxilia na transmissão de energia com o máximo de eficiência e mínimo impacto ambiental. Por ter uma característica de alta resistência a corrosão, é utilizado para fins especiais em usinas eólicas, sistema de energia que utiliza marés, biomassa, entre outros.

De acordo com ABCobre, 2016, ao adicionar um quilo de cobre ao sistema elétrico ou térmico, pode-se economizar entre 100 e 7.500 Kg de emissões de CO₂, além da redução entre 500 e 50.000 kWh de consumo de energia primária. Isso só é possível devido à grande capacidade de condutividade elétrica que este metal possui, o que ajuda a reduzir o consumo de energia.

O cobre promove a sustentabilidade também por meio da reciclagem. Por ser um metal passível de ser 100% reciclado, sem perder suas características e seu desempenho, ele é um dos metais mais reciclados. A sucata de cobre pode ser originada de diversas maneiras, mas principalmente de fios e cabos provenientes de sistemas elétricos que chegaram ao fim de sua vida útil. Além dessas características, ao reciclar o cobre, é necessário apenas de 1/6 da energia necessária para produzir o cobre a partir do minério, adicionando mais um ponto positivo para o metal na questão da sustentabilidade.

Nos Estados Unidos a sucata de cobre representa em torno de 50% do cobre consumido no país. A sucata também contribui para que os Estados Unidos sejam autossuficientes em seu consumo versus produção de cobre. Segundo *Copper Development Association Inc.* – USA, nos últimos 20 anos, o consumo de sucata tem sido entre 44% e 55% do cobre total consumido nos EUA. Além disso, a sucata direciona mais de 90% do preço de cobre recém-refinado e para sucatas de classe superior, o valor do cobre reciclado em geral é de 95% do valor de cobre primário extraído de uma mina.

De acordo com *SchoolScience*, 2016, as fontes de cobre na Europa são oriundas de duas formas: minério de cobre via mineração (59%) e reciclagem (41%). Para atender a demanda de cobre global, a oferta de cobre reciclado é fundamental para a conservação de

fonte finita de minério de cobre, além de reduzir o consumo de energia e diminuição de resíduos, favorecendo a conservação do meio ambiente.

No Brasil, o cobre secundário, obtido da sucata, atingiu em 2010 uma produção de 23 mil toneladas, quase 10% da produção nacional de cobre primário, segundo o Sumário Mineral de 2010, do DNPM. De acordo com o estudo da ICSG, a taxa de reciclagem chegou a 32,3% na Ásia, 44,8% na Europa, 34,2% na América do Norte e 10,3% no restante do mundo. No Brasil, uma pesquisa da Procobre aponta para um aproveitamento de 26% da sucata de cobre.

A Paranapanema é a maior operadora de sucata de cobre no Brasil, recicla anualmente 70 mil toneladas do metal. A política de sustentabilidade da empresa é focada em diminuir a importação do concentrado de cobre. A Companhia é a única no país que consegue transformar a sucata em cobre de alta pureza (99,99%), por meio do processo de eletrólise.

Os gargalos apresentados no mercado brasileiro envolvem a informalidade dos sucateiros que impede inclusive que o mercado absorva uma quantidade maior de material para reciclagem, além de afetar a competitividade dos preços para a indústria. Também são limitadores de expansão desse mercado a pouca atuação do governo em priorizar a reciclagem desse tipo de material. De acordo com o Sindicel ABC, na regulamentação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, um dos pontos principais é a implantação de uma logística reversa¹⁰, contudo, o governo escolheu produtos que agridem mais o meio ambiente, deixando o cobre de fora.

Diante das informações apresentadas, o cobre é considerado um material verde, pode ser reciclado continuamente em cobre e produtos de cobre e atualmente cerca de 80% todo o cobre já produzido no mundo continua em uso devido a reciclagem.

¹⁰ Uma vez que o produto é descartado, fica sob a responsabilidade dos fabricantes, que devem criar um sistema para reciclar o produto.

5.3 Inovação

Ainda hoje a mineração é considerada uma indústria com baixas oportunidades para a inovação e reduzida intensidade tecnológica. Entretanto, a indústria brasileira tem conseguido desenvolver capacidades tecnológicas nas diversas áreas de atuação.

No mundo, até a década de 80, as atividades eram realizadas apenas dentro das empresas de mineração. A partir da década de 90, passaram a ser feitas por fornecedores independentes, especializados e com aplicações tecnológicas diferenciadas. Em diversos países há políticas de estímulo ao desenvolvimento de fornecedores denominados como *Knowledge-Intensive Mining Services* (KIMS), que atuam em todas as etapas da mineração. Essas políticas promovem o acúmulo de capacidades tecnológicas na cadeia de valor, ampliam a aprendizagem e favorecem a competitividade na mineração.

De acordo com Brasil Mineral, 2017, a indústria mineral precisa inovar e chegar a um novo patamar tecnológico. Os investimentos devem inclusive ser direcionados para a fase de exploração, com o desenvolvimento de processo de separação a seco, combinando métodos inovadores de cominuição e separação sem a utilização de água. Também deve haver investimentos para a disposição de rejeitos a seco, além de automação e robótica para esse tipo de indústria.

Segundo a empresa Finlandesa Outotec (2015) que fornece tecnologia e serviço para a indústria de mineração, ao empregar novas tecnologias, a indústria consegue reduzir custos. Dentre as novas tecnologias apresentadas podem-se destacar:

- a) Moagem automática;
- b) Equipamentos avançados para flotação;
- c) Tecnologia para filtração e espessamento;
- d) Medição química on-line;
- e) Tecnologia de automação de alto-nível.

Para a mineração específica do cobre, a BHP Billiton mostra que descobertas *greenfields* principalmente nas Américas e Austrália são em função de melhorias em geociências e tecnologia, inclusive, vem aumentando a eficiência em perfuração. Além de parcerias com as *Juniors Companies* para a realização de projetos de riscos e parcerias com universidades para o desenvolvimento de técnicas utilizadas em petróleo para identificações de depósitos de cobre hospedados em bacias sedimentares. Tem sido também empregadas novas tecnologias de perfuração para à exploração do cobre, com análises mais rápidas de

solo e o uso de sensores em drones para cobrir grandes distâncias e melhorar a segurança (Tyler,2016).

Em relação a modelos de depósitos de cobre, o destaque para inovação vai para o depósito do tipo pórfiro, reconhecido com um dos mais bem desenvolvidos e bem sucedidos modelos e como são os depósitos mais representativos no mundo, permanecem como os maiores alvos da indústria de exploração mineral.

De acordo com Holliday, 2007, as informações geológicas, geoquímicas e os métodos geofísicos são cada vez mais importantes para a obtenção de sucesso na exploração dos depósitos do tipo pórfiro.

A utilização de sondagem para este tipo de depósito não é só empregada para a coleta de dados de exploração, mas também para indicar as informações para o vetor de perfuração que sinalizam as zonas economicamente mineralizadas. O emprego desta técnica está associado ao uso dos dados geológicos e geoquímicos que permitem subsidiar a continuidade da perfuração em determinada área.

Ainda de acordo com Holliday, 2007, mais descobertas de depósitos do tipo pórfiro foram feitas em configurações geológicas cobertas (Spence -Chile; Pebble East- EUA) do que no passado. Tais depósitos têm sido descobertos em áreas próximas a minas existentes ao invés de áreas *greenfields*. Também estão sendo descobertos depósitos em maiores profundidades utilizando as informações de vetorização obtidas pelas sondagens.

O uso de diversos métodos geofísicos auxiliam na descoberta de depósitos do tipo pórfiro em províncias cobertas e em áreas de afloramentos abundantes. Ademais, a aquisição e uso imediato de geofísica regional de semidetalhe, principalmente aeromagnetismo e radiometria, com a interpretação geológica, poderá resultar em rápidas taxas de descoberta para este tipo de depósito.

De acordo com SBGF, 2009, os métodos geofísicos mais adequados para o reconhecimento regional em área de cobertura vegetal e manto de intemperismo são os métodos magnetométricos e gamaespectométrico. Ainda com base na informação da empresa australiana CORE Exploration LTD, 2017, para o Projeto Yorke Peninsula no Sul da Austrália, a geofísica foi empregada para a descoberta de depósito do tipo IOCGU com a utilização de aeromagnetismo, onde foram identificadas anomalias magnéticas por magnetita e hematita em brechas associada a mineralização de cobre.

As inovações relacionadas aos setores de atuação do cobre nas diversas áreas tecnológicas são exemplificados a seguir.

Transmissão de dados e sinais

Os últimos anos vêm exigindo a necessidade de maior capacidade da largura de banda para consumo de computação e instalações industriais e comerciais. A fibra ótica é um dos substitutos do cobre, entretanto, exige outros dispositivos de acoplamento, que eleva o custo da fibra ótica. No entanto, os custos de instalação de fibra ótica continuam a reduzir e a indústria do cobre tem se reinventado para se manter competitiva.

Os cabos feitos com cobre, de maior largura de banda, menor consumo de energia e que tenham fácil instalação e conexão promovem uma posição competitiva no setor. Além disso, de acordo com, Copper Alliance, 2012, mais de 80% das interconexões dos equipamentos de transferência de sinal em centros de dados usam cabos e conectores de cobre. Entre as principais características do cobre estão a capacidade de fornecer energia e dados ao mesmo tempo e a capacidade de fornecer uma fonte confiável de energia.

Também existem as aplicações emergentes, onde são realizados estudos voltados para áreas que não aplicam o cobre, mas demandam o desenvolvimento de tecnologia para o uso do cobre. De acordo com o *Copper Alliance*, 2012, alguns exemplos são (a) dissipação de energia sísmica; e (b) Componentes ultracondutores de cobre.

Dissipação de energia sísmica

Em áreas de atividade sísmica existe a necessidade de utilizar dispositivos de dissipação de energia (EDDs) nas construções. Algumas edificações utilizam os dispositivos feitos a partir de aço e cimento, contudo após uma atividade sísmica, os dispositivos não voltam a sua posição inicial por conta da elasticidade.

As pesquisas do cobre são então solicitadas para oferecer uma alternativa de material com estruturas flexíveis. Os EDDs fabricados a partir de ligas de cobre, tais como cobre-manganês-alumínio, com 80% Cu, pode ter um alongamento de 8 a 10%, *Copper Alliance*, 2012, é uma material super-elástico e aumenta a resistência de uma construção após um evento sísmico, onde o dispositivo retorna a sua posição inicial.

Componentes ultracondutores de cobre

As pesquisas estão sendo realizadas para métodos de incorporação de carbono ao cobre, com o objetivo de aumentar a condutividade elétrica do cobre em temperatura ambiente em 30% ou mais. Com a evolução das pesquisas, será possível melhorar a eficiência na transmissão de energia elétrica e redes de distribuição, diminuir a geração de calor em sistemas eletrônicos e produzir motores e geradores elétricos extremamente compactos e de baixa perda.

5.4 Tendências e desafios

De acordo com o *Copper Alliance*, 2012, as tendências de mercado, inovações e regras influenciam o uso do cobre. A seguir são apresentados alguns critérios que são importantes para a indústria do cobre:

- a) Redução do custo de processamento: Como em qualquer setor, para sustentar a competitividade, a indústria do cobre necessita reduzir custo de produção, sem alterar a qualidade de seu produto. Em geral o processamento do cobre é realizado por meio de produção comum, entretanto, há novas técnicas que podem ser exploradas tal como o processamento *near net shape*¹¹;
- b) Maximizar a utilização de valor agregado do cobre: Ao utilizar uma menor quantidade de material, mantendo ou melhorando o desempenho do produto;
- c) Elevação do uso de materiais complementares fabricados: Materiais que podem aprimorar o desempenho do cobre quando incorporados ou adicionados ao processo de produção de determinado produto;
- d) Aumento da pressão competitiva a partir da entrada de outros materiais concorrentes: diversos mercados tradicionais de cobre foram desafiados por outros metais, compósitos, polímero, etc. Entretanto o cobre, por mais que pareça ter custos elevados, muitas das vezes é o material compatível para determinada aplicação e mais rentável a longo prazo.

¹¹ Pode ser por diversos processos de fabricação, tais como microfusão, forjamento, extrusão, compactação a frio e a quente e por metalurgia do pó. A escolha do processo para a fabricação de um determinado componente depende fundamentalmente dos custos associados e das propriedades mecânicas e metalúrgicas finais desejadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor mineral brasileiro tem um grande papel na economia brasileira e é responsável por 4% do PIB. A produção mineral gera trabalho, fonte de renda e contribui para o crescimento do país.

A produção de concentrado de cobre alcançou mais de 300 mil toneladas em 2014, com destaque para a produção da Vale, Salobo Metais, Mineração Maracás e Mineração Caraíba. Já em relação a produção de metal primário junto com a produção secundária, houve queda em 2014 ante a 2013. A Paranapanema é a maior produtora de catodo no Brasil e um dos motivos para a queda na produção é a situação macroeconômica atual do país.

O mundo continuará a demandar por cobre e para que a produção continue a se elevar será necessária a expansão de suas reservas. Entretanto são necessários em torno de duas décadas entre a descoberta e a produção, que mostra a necessidade da exploração geológica contínua.

No mundo os principais produtores são do Chile, que apresenta depósitos do tipo pórfiro e distintos dos que ocorrem no Brasil. Os depósitos mais semelhantes aos do Brasil são encontrados na Austrália, com predomínio de *IOCG*, e Canadá, com depósitos do tipo vulcanogênicos e por segregação magmática.

No Brasil, os principais depósitos estão na Província Mineral de Carajás e a sua maioria é composta por depósitos do tipo *IOCG* (*Iron Oxide Copper Gold*). São destaque os depósitos de Salobo e Sossego que atualmente são explotados pela Vale S.A., além de Cristalino e Alemão também pertencentes a Vale. Para este tipo de depósito ainda não há um consenso para o modelo genético, por ter diversos processos geológicos envolvidos que poderiam ser responsáveis pela gênese do depósito, mas com predomínio de um sistema hidrotermal.

Os depósitos do tipo *IOCG* por serem de grande importância nacional, devem continuar a ser o maior alvo de exploração no Brasil. Também devem ser considerados nas avaliações exploratórias os depósitos do tipo pórfiro. Contudo, para que o país se desenvolva no setor de cobre, é necessário expandir suas reservas a partir do desenvolvimento de novas províncias metalogenéticas e a criação de novos modelos. Ademais, existe a necessidade de maior investimento em levantamento geológico com a preocupação em analisar as zonas de alteração hidrotermal, o solo e os sistemas minerais já identificados.

O tempo médio entre a descoberta e a efetiva entrada em operação de uma mina é de aproximadamente 20 anos. Este longo prazo de maturação mostra a necessidade contínua de investimentos em exploração geológica e o Brasil por mais que tenha dimensões continentais e potencial geológico, não tem uma atividade exploratória satisfatória, inclusive porque faltam investimentos em levantamentos geológicos básicos. Esses fatores reduzem e inibem o interesse das empresas em investir no país.

O investimento em exploração mineral no Brasil tem pouco destaque mundial. Os principais países que investem em exploração mineral são Canadá e Austrália. Esse baixo investimento reflete na dificuldade em identificar novos depósitos minerais. Em geral, na realização da exploração mineral há forte atuação das empresas *juniors* nas etapas pioneiras de prospecção. Entretanto, nos últimos anos, com as incertezas do Marco Regulatório da Mineração, diversas empresas *juniors* sentiram-se desmotivadas em atuar no país, reduzindo os seus investimentos.

As diversas mudanças abordadas no Novo Marco Regulatório, entre elas novas regras de arrecadação, novas alíquotas CFEM e a utilização de novo regime de aproveitamento mineral por meio de concessão precedida de licitação ou chamada pública trouxeram instabilidade legal e afastaram os investimentos no setor. Assim, para restabelecer a credibilidade no setor e atrair investimentos, o Governo elaborou propostas denominadas "Diretrizes e Ações para o Setor Mineral Brasileiro" das quais podem ser destacadas: (i) Retirada da tramitação do PL 5.807/2013, (ii) A extinção da Reserva Nacional de Cobre e seus associados (RENCA), (iii) Flexibilização da Lei da Faixa de Fronteira (FF), entre outros.

Em relação a investimentos em pesquisa mineral para cobre, o Brasil tem participação de mais de 6,5% do total investido em 20 anos, e ocupa a 5ª posição, PNM 2030. Nos investimentos em mineração de modo geral, excluindo infraestrutura e logística, os valores a serem investidos são de US\$ 5.880 milhões, o que mostra que o Brasil mantém interesse em desenvolver a mineração de cobre.

Os teores encontrados durante as pesquisas minerais também são importantes fatores para decidir sobre a continuidade das pesquisas. Neste trabalho foram analisados dados do Brasil e no Chile e foi constatado para os períodos percentuais estáveis. No Brasil a média se manteve em 0,8% de cobre e no Chile 0,74%. No entanto, após uma análise mais recente sobre o assunto, foi constatado que as minas em operação têm sofrido com a redução dos teores, além das pesquisas localizarem depósitos com teores mais baixos e em maior profundidade que podem prejudicar no futuro a produção de cobre, com o aumento dos custos e elevação do preço da *commodity*.

Conforme observado, a mineração é uma atividade intensiva em capital e de retorno de longo prazo e por isso é considerada uma atividade de alto risco, que envolve desde a localização do depósito, a geologia e os riscos de mercado. Contudo, os riscos são maiores até a definição dos alvos a serem explorados, ainda na etapa de exploração geológica.

O Chile é o detentor de mais de 30% do total das reservas mundiais de cobre, seguido por Austrália e Peru. Conforme já abordado, os depósitos são em sua maioria do tipo pórfiro. O país também se destaca na produção das minas de cobre, com produção de mais de 5 Mt de cobre contido em concentrado em 2015, seguida por China e Peru. Além disso, possui as maiores minas em termos de capacidade de produção. Entre as dez maiores do mundo, 5 são chilenas, sendo a Mina de Escondida a maior em capacidade, 1.200 mil t em 2015. Para completar a Empresa Codelco também chilena, foi a responsável pela maior produção de cobre no mundo com mais de 1.840 mil toneladas em 2014.

Em relação a produção de cobre refinado, a China está em primeiro lugar com aproximadamente 8 Mt em 2015, seguido do Chile e Japão. A justificativa para tal fato está ligada a questão de industrialização chinesa que requer quantidades vultuosas de metal para o seu desenvolvimento.

No quesito demanda mundial de cobre refinado, o principal destino é a indústria elétrica-eletrônica, que responde por 31% do consumo, seguido da construção civil. Os principais consumidores atuais são os países asiáticos, em especial a China, que consumiram cerca de 16 milhões de toneladas em 2015.

O comércio internacional de cobre em concentrado e em metal também é pujante, com fluxos comerciais principalmente voltados para a Ásia, principal demandante de cobre na atualidade. Dados de 2010 mostraram que os maiores exportadores foram Chile, Peru e Indonésia. Já em relação as importações, China, Japão e Índia foram os principais países importadores. Para o cobre refinado, Chile, Zâmbia e Japão foram os maiores exportadores e China, Alemanha e Estados Unidos os maiores importadores.

As reservas brasileiras de cobre não estão entre as maiores do mundo, mas tem se mantido estáveis nos últimos anos. O estado do Pará é o destaque com cerca de 82% das reservas lavráveis e conta com as minas de Salobo e Sossego, maiores representantes hoje na produção de concentrado de cobre no Brasil. Os estados de Goiás e Bahia também possuem participação relevante nas reservas.

Sobre a produção brasileira de cobre, ela tem se mostrado mais expressiva nos últimos anos. Tanto a produção bruta quanto a produção beneficiada tiveram crescimento em mais 10% nos últimos anos. O crescimento se deu por conta da entrada em operação do Projeto

Salobo, que elevou a capacidade de produção de cobre no Brasil. Todavia, a produção de cobre refinado sofreu redução ocasionado pelo cenário econômico adverso. Os principais produtores de cobre refinado são a Paranapanema com mais de 90% do mercado e a Mineração Caraíba.

A demanda nacional de cobre é composta principalmente para o setor de metalurgia e a maior quantidade de consumo de concentrado de cobre é o mercado externo. Porém no Brasil, o estado da Bahia é o maior consumidor, por estar localizado o *smelter* de fundição, que hoje pertence a Paranapanema e absorve cerca de 21% do concentrado de cobre para ser transformado em produto. O consumo de cobre refinado no Brasil ainda é baixo quando comparado a países em desenvolvimento, por conta de níveis de investimento em infraestrutura e construção civil serem ainda reduzidos. Ao analisar o segmento industrial, o maior consumo brasileiro é para condutores elétricos que representaram 59% em 2013.

No Brasil, as importações de cobre (metal contido, metal primário e secundário) são maiores que as exportações, o que mostra a dependência do país por metal estrangeiro para suprir as suas necessidades. Contudo, quando se verifica somente o concentrado de cobre, a situação se inverte, com exportações superando com vantagem as importações. Tal fato é melhor percebido a partir de 2011 e 2012, quando o Projeto Salobo da Vale entrou em operação e acrescentou grande capacidade de produção de concentrado. As maiores exportações brasileiras de concentrado nos últimos anos foram para Alemanha, China e Índia, que são países detentores de *smelters* e que utilizam a sucata para produzir o cobre refinado, promovendo inclusive uma redução de energia. Em relação as importações, os países da América do Sul, como Chile e Peru são os principais fornecedores de concentrado para o Brasil, por estarem próximos.

Em relação às *commodities* originadas da mineração, estes possuem um mercado cíclico e variam de acordo com a oferta e demanda. O último ciclo de elevação de preços se deu a partir de 2003 com a economia mundial bastante favorável, principalmente pela expansão econômica da China. Os preços de cobre acompanharam esse crescimento e somente a partir de 2012, foi observada uma queda, principalmente pela redução do consumo chinês e custos mais baixos de produção. Esse cenário de preços menores é refletido nos preços de diversos metais e mostra que atualmente o comportamento da economia chinesa é quem determina os mercados de metais.

No futuro, a tendência de preço tanto para o concentrado de cobre quanto para o cobre refinado vai depender da oferta e demanda de cobre no mundo. Entretanto, há indícios de que haverá redução de oferta em um futuro próximo por conta de poucos investimentos em

projetos de mineração, além de aumento de Capex provenientes da época de expansão e dos preços baixos de cobre. Somado a isso, espera-se o crescimento da demanda por cobre refinado e caso os estoques tenham redução, haverá elevação dos preços.

Para a análise de economicidade de uma jazida de cobre, o custo de produção sempre deve ser considerado. No Brasil a maioria das companhias só produzem o concentrado e um dos motivos é o custo elevado de energia, além de alguns depósitos de cobre possuírem elementos contaminantes que obrigam adaptações nos *smelters* para o beneficiamento do concentrado. Somado a isso, ainda existe a insegurança em relação ao suprimento de concentrado.

Os dados dos custos operacionais (inclui mão de obra, energia, combustíveis, consumíveis, etc.) e custos totais (além dos custos operacionais, custos de manutenção da capacidade produtiva e capital de giro) mostraram que tem havido elevação dos custos, puxados principalmente pela redução das performances das minas, qualidade e concentração do minério e a dificuldade de mineração.

Uma comparação dos custos operacionais mundiais mostrou que os continentes da África e da América do Sul apresentam os menores custos, principalmente pelo custo de mão de obra ser mais baixo nestas regiões, diferentemente da Europa e Australásia que este componente é o mais dispendioso. Os maiores custos operacionais são os da China, principalmente por ter minas de pequeno porte que não permitem redução dos custos através do aproveitamento de escala.

Ao avaliar os custos operacionais de Brasil e Chile até a etapa de concentração de cobre, observou-se que o Brasil é mais competitivo, que pode ser explicado pelo número reduzido de minas em operação e do país estar a menos tempo na produção de cobre. Ademais, o Chile tem sofrido com custos elevados de energia, que ameaça sua competitividade, além dos baixos teores encontrados nas minas chilenas mais antigas.

Cabe ainda mencionar que o setor de cobre no país pode ser promissor. Para que isso aconteça, é necessário que haja investimentos maciços em exploração mineral com diferentes tecnologias, que possibilitem a aquisição de dados básicos geológicos para atrair empresas de mineração interessadas em investir em cobre no Brasil. Ressalta-se também a necessidade de desenvolvimento de técnicas exploratórias para terrenos cobertos por espessos mantos de intemperismo e/ou material transportado. Atuando dessa forma, o país terá maiores subsídios para expandir suas reservas a partir do desenvolvimento de depósitos conhecidos e de novas descobertas, contribuindo assim com o aumento da sua participação no mercado mundial.

Por fim, vale destacar que a elevação da competitividade brasileira em cobre também poderá vir da contribuição da mineração de pequeno porte, promovendo o desenvolvimento da exploração de pequenos depósitos de cobre que não são economicamente viáveis para as grandes empresas. Para que isso aconteça, é necessário que haja o incentivo por parte do governo brasileiro através de políticas que auxiliem o desenvolvimento sustentável das pequenas mineradoras, considerando as diferenças de escalas em relação aos projetos das mineradoras de grande porte.

REFERÊNCIAS

- ABAL** - Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em < <http://www.abal.org.br/>>. Acesso em 12-10-2016
- ABCobre -Associação Brasileira do Cobre e SINDICEL -Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais não ferrosos do Estado de São Paulo. **Anuário Estatístico, 2014**. Disponível em <<http://www.sindicelabc.org.br/anuario/2014/anuario2014.pdf>>. Acesso em 10-12-2015
- ABCobre - Associação Brasileira do Cobre**. Disponível em <<http://www.abcobre.org.br/conteudos/publicacoes.html>>. Acesso em 15-11-2016
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B. de, Fuck, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Sci. Rev.**, 17:1-21. 1981.
- Andrade, M. L et.al. **BNDES - Indústria do Cobre**, 1997
- Andrade, M. L.;Cunha, L. M.; Gandra, G.. BNDES Setorial 13- **Cobre brasileiro em ascensão no cenário mundial**, 2001, p. 65-94.
- ARAÚJO, S.M.; FAWCETT, J.; SCOTT, S.D. Metamorphism of hydrothermally altered rocks in a volcanogenic massive sulfide deposit: the Palmeirópolis, Brazil, example. **Revista Brasileira de Geologia**, v. 25, n. 3, p. 173-184, 1995.
- Australian Bureau of Statistics**. Disponível em <<http://www.abs.gov.au/browse?opendocument&ref=topBar>>. Acesso em 28-01-2017
- Avanco Resources**. Disponível em < <http://www.avancoresources.com/content/>>. Acesso em 12-03-2017.
- Bedran F.O. **Características epigenéticas do depósito de Cu-Au Chapada**. 2010. 113p.Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2010.
- Blog Impacta**. Disponível em <<https://www.impacta.com.br/blog/2015/03/29/conductor-de-cobre-ou-aluminio-saiba-quando-e-por-que-utiliza-los/>>. Acesso em 26-11-2016
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Brasília: MME, 2011. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/plano-nacional-de-mineracao-2030/pnm-2030>>. Acesso em 10-12-2015
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 2015**. Disponível em < <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>>. Acesso em 12-10-2016
- Brasil Mineral. "Simplesmente aumentar a escala não resolve". Disponível em < <http://www.brasilmineral.com.br/noticias/%E2%80%9Csimplesmente-aumentar-escala-nao-resolve%E2%80%9D>>. Acesso em 18-03-2017
- Brenner T.L. **The Fortaleza de Minas Nickel, Copper and Platinoides Deposits: Oretypes, Tectonics and Vulcanological aspects**. 2007. 102 pgs.Tese de doutorado. UNESP, Rio Claro, 2007

British Geological Survey, **copper- MineralsUK, junho 2007**. Disponível em < <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/aboutus.html>>. Acesso em 04-09-2015

Brito, R. S. C. de. **Modelos de depósitos de cobre do Brasil e sua resposta ao Intemperismo** / editores Reinaldo Santana Correia de Brito, Maria da Glória da Silva [e] Raul Minas Kuyumjian. – Brasília : CPRM. 190 p. : il. ; 30 cm. , 2010.

Carvalho, P. S. L de; Mesquita, P. P. M.; Oganda, L. D.. BNDES Setorial 43- **Desenvolvimento e inovação em mineração e metais**. 2016, p. 325-361

CCBDA- Canadian Copper & Brass Development Association. **Copper: The Green Choice**. Disponível em <<http://en.coppercanada.ca/applications/architecture/interiors/greenchoice.html>>. Acesso em 17-07-2016

Cochilco.Ministério de Minería, Chile. **Proyectos de inversión minera de cobre y oro en los principales países productores mineros – 2014**. Disponível em < <https://www.cochilco.cl>>. Acesso em 08-12-2016

Cochilco.Ministério de Minería, Chile. **Competitividad de la minería chilena del cobre - 2015**. Disponível em < <https://www.cochilco.cl>>. Acesso em 08-12-2016

Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores Pro EXPLOR, "La exploración credora de valor" - Capítulo 2 - Modelos de Yacimientos Jorge Acosta, Mayo, 2013.

Copper Alliance - International Copper Association. **Aplicações de cobre Manual de tecnologia Outubro de 2012, v. 3.0**. Disponível em < http://procobre.org/media-center/es-es/component/jdownloads/send/2-publicacoes/90-aplicacoes-do-cobre-manual-de-tecnologia.html?option=com_jdownloads>. Acesso em 10-12-2015

Copper Development Association Inc. **Trends in U.S. Copper and Scrap and Effects of Product Shifts**. Disponível em <<http://www.copper.org/environment/lifecycle/trends/>>. Acesso em 17-07-2016

CORE Exploration LTD. Disponível em< http://coreexploration.com.au/projects/view/yorke_peninsula>. Acesso em 09-04-2017.

COX, D.P. et al. Sediment-hosted copper deposits of the world: deposit models and database. **USGS Open-File Report 03-107**. Disponível em: < <https://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-107/of03-107.pdf>>.2007.

CRU group. Copper quarterly industry and market outlook, 2011.

_____. Copper quarterly industry and market outlook, 2012b.

CRU Group. Copper Market Outlook October, 2016 .

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Site institucional. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/>. Acessadas as edições do **Anuário Mineral Brasileiro de 2009, 2010 e 2016**.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Site institucional. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/>. Acessadas as edições do **Sumário Mineral Brasileiro de 2008 a 2015**.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Site institucional. **Balanco Mineral Brasileiro**. Brasília. 2001. Disponível em < <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/balanco-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em 10-12-2015.

EXAME. Disponível em <exame.abril.com.br/>. Acesso em 08-01-2017

Farias N.F. & Saueressig R. Pesquisa geológica na Jazida de Cobre Salobo 3A, In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, I, Belém, **Anais**, Vol. II. 2, pp. 39-45. 1982

GARCIA, P.M.P. **Metalogênese dos depósitos cupríferos de Caraíba, Surubim, Vermelho e Sussuarana, Vale do Curaçá, Bahia, Brasil.** Dissertação de Mestrado, UFBA, 2013.

Geoscience Australia. **Mineral Resources-Copper.**2013. Disponível em <<http://www.ga.gov.au/scientific-topics/minerals/mineral-resources/copper#heading-1>>. Acesso em 05-12-2016

Guimarães S.B. **Petrologia e metalogenia do depósito de cobre Bom Jardim de Goiás (GO).** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 108p. 2007.

HITZMAN, M.W.; SELLEY, D.; BULL S. Formation of sedimentary rock-hosted stratiform copper deposits through Earth history. **Economic Geology**, v.105, p. 627-639, 2010.

Holliday, J. R.; Cooke D.R. Advances in Geological Models and Exploration Methods for Copper ± Gold Porphyry Deposits. **Ore Deposits and Exploration Technology**, Paper 53, 2007, pp. 791-809.

HUHN, S.R.B. et al. Descoberta do depósito Cu–(Au) Cristalino: Geologia e mineralização associada região da Serra do Rabo – Carajás – PA. In: Simpósio de Geologia da Amazônica, 6, SBG–NN, **Anais**, Belém, 1999. p. 140-143.

IBRAM. **Informações sobre a Economia Mineral Brasileira 2015.** Disponível em <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>>. Acesso em 23-10-2016

IBRAM. **Informações e Análise da Economia Mineral Brasileira.** 7ª edição. 68 p. Disponível em <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>>. Acesso em 23-10-2016

ICSG – International Copper Study Group. **ICSG Copper bulletin - march 2012.** Disponível em:<<http://www.icgs.org/>>. Acesso em 10-12-2015.

ICSG – International Copper Study Group. **Directory of Copper Mines and Plants – July 2015.** Disponível em:<<http://www.icgs.org/>>. Acesso em 11-12-2015.

ICSG – International Copper Study Group. The World Copper Factbook 2015 and 2016. Disponível em:<<http://www.icgs.org/>>. Acessos em 11-12-2015 e 09-01-2017.

J. Mendo Consultoria, 2009 - **Perfil da Mineração de Cobre - Plano Nacional da Mineração 2030 - MME** - Agosto 2009 - José Osaël Gonçalves de Farias

Juliani C.; Monteiro L. V.S.; FERNANDES C. M. D. Potencial mineral: cobre. In: Melfi A. J.2016. **Recursos Minerais no Brasil - problemas e desafios/** organizadores Adolpho José Melfi, Aroldo Misi, Diogenes de Almeida Campos e Umberto Giuseppe Cordani - Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 420 p. 2016.

KGHM. Disponível em <(http://kghm.cn/en/news/kghm-started-copper-production-at-the-sierra-gorda-mine-in-chile/>. Acesso em 22-10-2016.

KPMG.COMMODITY Insights Bulletin - Copper Q4, 2015 - Q1, 2016. Disponível em <<https://home.kpmg.com/xx/en/home/insights/2016/05/copper-q4-2015-q1-2016.html>>. Acesso em 22-10-2016.

Kuyumjian R.M. Magmatic arc and associated gold, copper, silver and barite deposits in the State of Goiás, Central Brasil: characteristics and speculations. **Rev. Bras. Geoc.**, 30:285-288. 2000.

Kuyumjian R. M. et al. Depósito de Cu-Au porfirítico Chapada, G. In: Brito, Reinaldo Santana Correia de. 2010. **Modelos de depósitos de cobre do Brasil e sua resposta ao Intemperismo** / editores Reinaldo Santana Correia de Brito, Maria da Glória da Silva [e] Raul Minas Kuyumjian. –Brasília : CPRM, 190 p. 2010.

La Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO). **Boletim Chilean Copper Production**. Disponível em <<https://www.cochilco.cl/Paginas/Inicio.aspx>>. Acesso em 08-12-2016.

Lafis – Informação de Valor: **Novo Relatório Setorial Mineração, agosto/2016**. Disponível em < www.lafis.com.br>. Acesso em 02-01-2017

Lancaster J.O., et.al. 2000. **Discovery and geology of the Sossego copper-gold deposit, Carajás District, Pará State, Brazil**. In: Inter. Geol. Congr., 31, Abstracts, RJ, [CDROM]

LIMA T.M., NEVES C.A.R., MEDEIROS K.A., (Coords). **Sumário Mineral 2015**. Vol. 35. DNPM/MME, Brasília.

Lindenmayer Z.G. Geologia do depósito do Salobo 3 Alfa. Docegeo (relatório inédito). 1981.

Lindenmayer Z.G. **Salobo, Carajás, Brazil: Geology, geochemistry and metamorphism**. PhD Thesis, University of Western Ontario, London, Canada, 407p. 1990.

Lindenmayer Z.G.. O depósito de Cu-Au do Salobo, Serra de Carajás, Pará. In: , Ronchi L.H. & F.J. Althoff F.J. (Eds.) **Caracterização e Modelamento de Depósitos Minerais**, Vol. 1, Unisinos, São Leopoldo, RS. p. 63–91. 2003.

LINDENMAYER, Z.G. Depósito de Cu–Au do Salobo, Serra dos Carajás: uma revisão. In: RONCHI, L.H.; ALTHOFF, F.J. (Eds.) **Caracterização e modelamento de depósitos minerais**. Ed. Unisinos, p. 69-98. 2003.

Machado N., Lindenmayer Z., Krogh T.E., Lindenmayer D. U–Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. **Prec. Res.**, 49:1–26. 1991.

Manutenções e Suprimentos. Disponível em <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/5753-os-10-maiores-produtores-de-cobre-do-mundo/>>. Acesso em 22-10-2016

Maxiligas sucatas e ligas de metal. Disponível em <<http://www.maxiligas.com.br/cotacao-lme-london-metal-exchange#toplink>>. Acesso em 2016.

Maksaev, V. 2004. **Pórfidos cupríferos**. Disponível em <<http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/metalogenesis.html>>. Acesso em 02-12-2016

MATOS, J.H. da S.N. **Evolução metalogenética da mina de cobre de Pedra Verde (CE)**. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, 2012.

Miller, R. M. The keys to successful corporate mineral exploration. South Africa **Tydskr. Geol.**, v. 1992, n.2, p 146-154. 1989.

Corpo técnico da Mineração Caraíba S.A., as reservas de minério sulfetado no Vale do Curaçá (ano base de 2009)

Mineweb. Disponível em <<http://www.mineweb.com/news/base-metals-and-minerals/coppers-top-10-countries-and-companies/>>. Acesso em 13-01-2017

Mining Technology. Disponível em <<http://www.mining-technology.com/projects/bozshakol-copper-project/>>. Acesso em 22-10-2016

Mining.com. Disponível em <<http://www.mining.com/chilean-mining-costs-highest-in-the-world-despite-saving-plans/>>. Acesso em 15-11-2016

Mining.com. Disponível em <<http://www.mining.com/chilean-mining-costs-highest-in-the-world-despite-saving-plans/>>. Acesso em 19-11-2106

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINA DEL PERU. **Boletín Estadístico del Subsector Minero Diciembre 2015.** Disponível em <http://www.minem.gob.pe/_publicaSector.php?idSector=1>. Acesso em 03/12/2016

MMG Limited. Disponível em <<http://www.mmg.com/en/Our-Operations/Mining-operations/Las-Bambas.aspx>>. Acesso em 22-10-2016

MONTEIRO, L.V.S. et al. Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil. **Ore Geology Review**, v. 34, p. 317-336, 2008b.

MONTEIRO, L.V.S. et al. Spatial and temporal zoning of hydrothermal alteration and mineralization in the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil: paragenesis and stable isotope constraints. **Mineralium Deposita**, v. 43, p. 129-159, 2008a.

MOTA-E-SILVA, J. et al. Geology, petrology and geochemistry of the “Americano do Brasil” layered intrusion, central Brazil, and its Ni–Cu sulfide deposits. **Mineralium Deposita**, v. 46, p. 57–90, 2011.

Neto, M. T. O. C.; Rocha, A. M. R. Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração – Natal/RN: Editora do IFRN-RN. 267 p. ISBN 978-85-89571-52-4. 2010.

NRCA-Natural Resources Canada. Disponível em <<https://www.nrcan.gc.ca/>>. Acesso em 01-01-2017

OLAVARRIA, S.; ADRIASOLA, Patricio; KARZULOVIC, A. Transition from open pit to underground mining at Chuquicamata, Antofagasta, Chile. In: **Proceedings of The SAIMM International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering**. 2006. Disponível em <http://www.saimm.co.za/Conferences/RockSlopes/421-434_Olavarría.pdf>. Acesso em 19-03-2017.

Oliveira C.G., Queiroz C.L., Pimentel M.M..The Arenópolis-Mara Rosa gold-copper belt, Neoproterozoic Goiás Magmatic **Arc.Rev. Bras.Geoc.**, 30:219-221. 2000

Oliveira C.G., Pimentel M.M., Melo L.V., Fuck R.A. The Cooper-gold and gold deposits of the Neoproterozoic Mara Rosa magmatic arc, central Brazil.**Ore Geol. Ver.**, 25:285-299. 2004.

Oliveira C. G. et. al., Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras, **Capítulo Metalogênese do Arco Magmático de Goiás** - pag 455 - 466. 2014

Oliveira I.W.B. Cobre de Bom Jardim – Estado de Goiás. **Informe de Recursos Minerais**, Série Oportunidades Minerais – Exame atualizado de Projeto, nº 3, CPRM, Goiânia, 15p. 2000

Oliveira, I. W. B. Zinco, chumbo e cobre de Palmeirópolis - Estado do Tocantins. - Goiânia: CPRM 1 v. ; il - (Informe de Recursos Minerais, Série Oportunidades Minerais - Exame Atualizado de Projeto, n.º 10);

OLIVEIRA, S.M.B. **Os depósitos de níquel laterítico do Brasil**. Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo. 92 p. 1990.

Oreskes N. & Hitzman, M. A model for the origin of Olympic Dam deposits. In: Kirkham R.V., Sinclair W.D., Thorpe R.I., Duke J.M (Eds.) **Mineral Deposit Modeling**. GAC Special Paper, 40:615-633. 1993.

Härkki K. **Mining and Metals value chain Dynamics and CAPEX drivers**. Outotec. 2015. Disponível em <

http://www.outotec.com/Global/Investors/2015/Presentations/DanskeBank_Mining_and_Metals_value-chain_KH%C3%A4rkki29082015.pdf>. Acesso em 19-03-2107.

Parapanema S.A. **Demonstrações Financeiras Completas 2014**. Disponível em <<https://ri.parapanema.com.br/ShowResultado.aspx?IdResultado=KyNVLBjZ7ixtxwq7CMV6RA==>>. Acesso em em 06-12-2016

Pimentel M.M., Jost H., Fuck R.A. O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In MantessoNeto V, Bartorelli A, Carneiro CDR, BritoNeves BB (Org.) **Geologia do Continente Sul-Americano, Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Beca, p.355 -368. 2004.

PINHO, F.E.; BARBOZA, E.S.; FERNANDES, C.J. Depósito de cobre de Cabaçal, Mato Grosso. In: BRITO R.S.C., SILVA M.G., KUYUMJIAN R.M. (Eds.) **Modelos de depósitos de cobre do Brasil e sua resposta ao intemperismo**. CPRM, p. 127-146. 2010a.

Procobre – Instituto Brasileiro do Cobre. Disponível em <<http://procobre.org/pt/>>. Acesso em 10-12-2015

Procobre Brasil| International Copper Association. Disponível em <<http://procobre.org/pt/o-cobre/historia-do-cobre/>>. Acesso em 15-11-2016

RÉQUIA, K. et al. Re–Os and Pb–Pb geochronology of the Archean Salobo iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, northern Brazil. **Mineralium Deposita**, v. 38, p. 727-738, 2003.

Ribeiro M.J. **Sulfetos em sedimentos detríticos cambrianos do Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese de Doutorado, IG/UFRGS, 2 v. 1991.

Richardson S.V., Kesler S.E., Essene E.J. Origin and geochemistry of the Chapada Cu-Au deposit, Goiás, Brazil: A metamorphosed wall-rock porphyry copper deposit. **Econ. Geol.**, 81:1884-1898. 1986.

ROCIO, M. A. R., et al. BNDES Setorial - **Perspectivas atuais da indústria de cobre no Brasil**, 2012.

SBGF- Sociedade Brasileira de Geofísica. **Estudos Geofísicos na Amazônia**. Boletim nº 5, 2009. Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.sbgf.org.br/home/images/stories/Boletim/boletim5_2009.pdf>. Acesso em 09-04-2017.

Schoolscience. Disponível em <<http://resources.schoolscience.co.uk/CDA/16plus/sustainability/index.html>>. Acesso em 17-07-2016

Seer H.J. **Geologia, deformação e mineralização de cobre no Complexo Vulcano-Sedimentar de Bom Jardim de Goiás**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 181p. 1985

Servicio Nacional de Geología y Minería. 2009. **Evolución de las reservas y recursos de cobre, molibdeno, oro, plata, nitrato y yodo en Chile, 2001-2007**. Servicio Nacional de Geología y Minería, 28 p. Disponível em <http://www.sernageomin.cl/pdf/geologia_/Reservas2009.pdf>. Acesso em 05-12-2016.

Servicio Nacional de Geología y Minería Chile. 2015. **Anuario de la Minería de Chile 2015**. Servicio Nacional de Geología y Minería Chile, 252 p. Disponível em <<http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/estadisticas/anuario/Anuario-de-la-Mineria2015.pdf>>. Acesso em 02-12-2016

SHINTAKU, I. **Aspectos Econômicos da Exploração Mineral**. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, São Paulo – SP, março 1998. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/media/isao_shintaku.pdf>. Acesso em 05-12-2016

Siqueira, J.B. & Costa, J.B.S. Evolução geológica do Duplex Salobo - Mirim. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 3, Belém, p.232-243. 1991.

SNL Metals & Mining. **World Exploration Trends - 2016**. Disponível em <<http://www.snl.com/Sectors/MetalsMining/>>.

S&P Global. **Worldwide Mining Exploration Trends - March 2017**. Disponível em <<http://marketintelligence.spglobal.com/>>.

TALLARICO, F.H.B. et al. Geology and SHRIMP U–Pb geochronology of the Igarapé Bahia deposit, Carajás copper–gold belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of iron–oxide Cu–Au–(U–REE) mineralization. **Economic Geology**, v. 100, p. 7-28, 2005

Tazava E., 1999. **Mineralização de Au-Cu-(ETR-U) associada às brechas hidrotermais do depósito de Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás, PA**. Dissertação de Mestrado, UFOP, 81p

Tyler, L. **Value creation through exploration**. bhp billiton, 2016

Teixeira G. & Gonzales M.A. Minas do Camaquã, município de Caçapava do Sul. In: C. Schobbenhaus & C.E. Silva Coelho (eds.) **Principais depósitos minerais do Brasil**. DNPM/CVRD, Rio de Janeiro, v. 3, p.:33-41. 1988.

TEIXEIRA, J.B.G. et al. Depósitos de cobre do Vale do Rio Curaçá, Bahia. In: BRITO, R.S.C.; SILVA M.G.; KUYUMJIAN, R.M. (Ed.) **Modelos de depósitos de Cobre do Brasil e sua resposta ao intemperismo**. CPRM, p. 71-96. 2010a.

USGS – United States Geological Survey. **Mineral commodity summaries**, 2013 to 2016. Disponível em <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>>. Acesso em 29-10-2016

USGS. Disponível em <<http://mrdata.usgs.gov/>>. Acesso em 04-12-2016

Vale S.A. **Relatórios 20F(2004 a 2015)**. Disponível em <<http://www.vale.com/brasil/PT/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 15-11-2016.

Vale S.A. **Vale no Mundo**. Disponível em <<http://mundo.intranetvale.com.br/PT/Unidade/Content/Brasil/PA>>. Acesso em 15-11-2016

Vale S.A. **Conheça Salobo, o maior projeto de cobre da Vale**. Disponível em <<http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/conheca-salobo-maior-projeto-cobre-vale.aspx>>. Acesso em 15-11-2016

Vianna M.T. Salobo: Investindo U\$ 1 bilhão para a produção de 200 mil t/ano de cobre cátodo (grau LME), 8 t/ano de Au, 37 t/ano de prata e 200 mil t/ ano de ácido sulfúrico, em Marabá, Pa. In: IBRAM, Cong. Brasil. Mineração, 7, Belo Horizonte, **Anais**, XII-21-XII-43. 1997.

Yumul G.P., Dimalanta C.B., Maglambayan V.B., Tamayo R.A. Mineralization Controls in Island Arc Settings: Insights from Philippine Metallic Deposits. **Gond. Res.**, 6(4):767-776.2002.