

**Edson Barros de Araujo Junior**

**O MERCADO DE COBRE  
(TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2014



UFRJ

**Edson Barros de Araujo Junior**

## **O MERCADO DE COBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

José Mário Coelho

Edson Barros de Araujo Junior

## **O MERCADO DE COBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

José Mário Coelho

Aprovada em:

Por:

---

Orientador: Prof. Dr. José Mário Coelho (UFRJ)

---

Prof. Dr. Gilberto Dias Calaes (UFRJ)

---

Prof. MSc. Marcelo Klujsza (UFRJ)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de realização deste trabalho. Agradeço a Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo excelente aprendizado em geologia. Agradeço aos meus professores principalmente ao meu orientador José Mario Coelho por toda transferência de conhecimento; por toda gentileza e disponibilidade a mim concedida. Gostaria também de agradecer ao professor Aristóteles de Moraes Rios Netto por todo apoio e incentivo recebido na fase final de minha vida acadêmica. Agradeço também aos meus amigos do curso de Geologia, em especial ao Rodrigo Vinagre. Sou eternamente grato aos meus Pais (Edson e Ianete) e esposa (Patrícia Turle) por todo o apoio, sem o qual não seria possível a realização desse trabalho. A minha prima (Flávia) pelo incentivo e por disponibilizar sua casa e seus recursos de informática sem os quais esta tarefa seria dificultada. E por fim a minha filha (Liz) pela superação e alegria diárias, que renovam as minhas forças a cada manhã.

## RESUMO

JUNIOR, EDSON BARROS DE ARAUJO. **MERCADO DE COBRE**. 2014. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O cobre se mostrou fundamental para a humanidade no início das civilizações. Atualmente o cobre também tem grande importância. O seu emprego é imprescindível para diversas indústrias como a automobilística, construção civil, transmissão de energia, etc. A obtenção deste metal se dá através da mineração em minas a céu aberto e/ou subterrâneas. As tecnologias empregadas no seu beneficiamento e metalurgia vêm mostrando avanços consideráveis. O presente trabalho fornece condições de se entender a situação desta commodity em relação ao aumento da descoberta de reservas nos últimos anos e sua estagnação; o aumento contínuo de sua produção, tanto a nível mundial quanto no Brasil. E ainda, mostra a tendência, num futuro próximo de diminuição da oferta de cobre. Seja por insuficiência de novos projetos ou por diminuição dos teores das minas. Este fato aliado ao crescimento contínuo da demanda por cobre provocará inevitavelmente aumento do preço deste metal. Aumentando assim a capacidade de investimentos em sua exploração, exploração e refino tanto no Brasil quanto no mundo.

Palavras-chave: Cobre, Mercado, Aplicações de Cobre

## ABSTRACT

JUNIOR, EDSON BARROS DE ARAUJO. **MARKET OF COPPER**. 2014. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Copper has been proved fundamental to humanity since the beginning of civilization. Currently, it still holds great importance. Its appliance is vital to several industries like automotive, construction, power transmission, etc. This metal is obtained through mining from surface and/or underground deposits. The technology used in its processing and metallurgy has shown considerable progress. This paper aims to understand the situation of this commodity in relation to increased discovery of reserves in recent years as well as its stagnation and the continuous increase of its production, both globally and in Brazil. It also depicts a trend of decrease in supply of copper in near future, whether by lack of new projects or by decreasing levels of the mineral. This fact, coupled with the continued growth in demand for copper, shall lead to an inevitable increase in the price of this metal, thus increasing the investments in exploration, exploitation and refining in Brazil and in the world.

Key-Words Copper; Market; Copper Applications:

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Curva de teor de corte .....	12
Figura 2- Média dos teores de cobre das minas em operação. ....	13
Figura 3- Proposta para Atualização dos Conceitos de Recursos e Reservas Minerais. ....	20
Figura 4- Fluxograma de reciclagem do cobre .....	24
Figura 5- Reciclagem de cobre para os bens de consumo .....	25
Figura 6- Distribuição do Consumo por Setores .....	26
Figura 7- PIB per capita (em US\$ mil, PPA 2005) e consumo per capita de cobre (kg) em 2011. ....	28
Figura 8- Evolução do preço do cobre.....	29
Figura 9- Médias mundiais dos custos de mineração de cobre, excluindo receita com subprodutos (em US\$/t).....	30
Figura 10- Comparação entre custos médios operacionais líquidos de minas a céu aberto e subterrâneas (em US\$/t).. ....	31
Figura 11- Custos médios operacionais líquidos de mineração por região do mundo em US\$/ton.....	32
Figura 12- Curva de Custos da produção mundial de cobre em 2011.....	33
Figura 13- Elevação do custo da energia elétrica chilena.....	33
Figura 14- Índices de produtividade e remunerações da mineração do cobre no Chile .....	34
Figura 15- Evolução recente dos custos operacionais médios da mineração de cobre no Brasil, no Chile e na China (em US\$/t).....	35
Figura 16- Número de minas que deverão permanecer em atividade até 2022 .....	36
Figura 17- Tendência da produção mundial de minas a céu aberto e subterrâneas até 2025..	37
Figura 18- Consumo efetivo e esperado de cobre refinado por região em mil toneladas. ....	38
Figura 19- Produção mineral e demanda efetiva e esperada (em milhões de toneladas de cobre contido).....	38
Figura 20- Importação e exportação de concentrado de cobre no Brasil em milhares de toneladas.. ....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Principais minerais de cobre .....	5
Tabela 2 Tipos de depósitos de cobre brasileiros .....	10
Tabela 3 Reservas mundiais de cobre em milhões de toneladas .....	21
Tabela 4 Distribuição das reservas Brasileiras de Cobre.....	22
Tabela 5 Produção (10 <sup>3</sup> t) de Cobre, 2004 a 2012.....	23
Tabela 6 Produção brasileira de cobre (10 <sup>3</sup> t).....	23
Tabela 7 Consumo de cobre por países - 2001 a 2011 .....	27

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>ix</b>
<b>1-INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1-Objetivos .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2-Metodologia.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3-O elemento cobre .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4-A importância do cobre na história da humanidade .....</b>	<b>2</b>
<b>2-GEOLOGIA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1-Minerais de cobre .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2-Tipos de jazimento de cobre.....</b>	<b>6</b>
2.2.1-Depósitos de cobre pórfiro .....	6
2.2.2-Depósitos de séries sedimentares .....	6
2.2.3-Depósitos de segregação magmática .....	7
2.2.4-Depósitos vulcanogênicos exalativos.....	7
2.2.5-Depósitos de escarnitos .....	8
2.2.6-Depósitos de veio .....	9
2.2.7-Depósitos de cobre nativo .....	9
2.2.8- Depósitos brasileiros .....	9
<b>3-LAVRA.....</b>	<b>11</b>
<b>4-BENEFICIAMENTO E PROCESSAMENTO.....</b>	<b>15</b>



<b>4.1-Processos de concentração</b> .....	<b>15</b>
<b>4.2-Pirometalurgia</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3-Hidrometalurgia</b> .....	<b>17</b>
<b>4.4-Biopurificação</b> .....	<b>19</b>
<b>4.5-Produtos comercializáveis oriundos do beneficiamento e metalurgia do cobre</b> .....	<b>19</b>
<b>5-MERCADO DE COBRE</b> .....	<b>20</b>
<b>5.1-Reservas</b> .....	<b>20</b>
<b>5.2-Produção</b> .....	<b>22</b>
5.2.1-Reciclagem do cobre .....	24
<b>5.3-A demanda por cobre no mundo e no Brasil</b> .....	<b>25</b>
<b>5.4-Preço</b> .....	<b>28</b>
<b>5.5-Custos</b> .....	<b>29</b>
<b>6-PERSPECTIVAS DO MERCADO DE COBRE</b> .....	<b>36</b>
<b>6.1-Oferta</b> .....	<b>36</b>
<b>6.2-Demanda</b> .....	<b>37</b>
<b>6.3-Preço</b> .....	<b>39</b>
<b>6.4-Brasil</b> .....	<b>39</b>
<b>7-CONCLUSÃO</b> .....	<b>42</b>
<b>8-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>44</b>

## 1-INTRODUÇÃO

O cobre tem importância marcante ao longo da história da humanidade. O cobre nativo, que pode ter sido o primeiro metal usado pelo homem, já era conhecido por algumas das mais antigas civilizações da história da humanidade.

Apesar de haver controvérsias sobre qual foi o primeiro metal utilizado pelo homem, um fato não se pode negar: a importância da idade do bronze (liga de cobre e estanho) na história antiga.

A partir do meio do século XIX aos dias de hoje o cobre retomou seu grau de importância devido principalmente ao seu uso na indústria elétrico-eletrônica.

Hoje o cobre é um elemento fundamental na indústria, nas artes, na alimentação, na arquitetura, na habitação e em praticamente em todos os ramos das atividades humanas que encontram neste metal um aliado importante para sua manutenção e desenvolvimento, a favor de uma melhor qualidade de vida (Procobre, 2013).

Isso faz com que a demanda de cobre venha aumentando significativamente através das décadas, sendo necessário o aumento da oferta para que possa haver um equilíbrio entre a oferta, demanda e o preço deste metal.

Essa condição de importância faz com que as pesquisas sobre este elemento químico, os minerais que o contém, sua cadeia produtiva e toda a economia que o envolve se tornem imprescindíveis para a continuidade do seu uso pela humanidade.

### 1.1-Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é o estudo do mercado de cobre, a relação das reservas, produção, oferta e demanda desta *commodity*, no mundo e no Brasil, além de perspectivas futuras.

### 1.2-Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica em livros, artigos e informações extraídas de sites relacionados a órgãos governamentais e não governamentais.

Tal pesquisa foi caracterizada em quatro etapas: o cobre e sua importância na história da humanidade, a geologia e a gênese dos depósitos de cobre, o avanço da tecnologia e as técnicas aplicadas na extração, beneficiamento e metalurgia, e por fim a evolução da oferta e demanda desta commodity no mercado mundial e nacional.

### 1.3-O elemento cobre

O cobre é um metal de cor avermelhada, maleável e calcófilo, tem brilho metálico, sendo um ótimo condutor de calor e eletricidade. Este elemento possui número e peso atômico 29 e 63,54, respectivamente, dureza variando de 2,5 a 3 e ponto de fusão no entorno de 1023°C. Apresenta elevada resistência à tensão física e a corrosão, não possuindo propriedade magnética (Ribeiro 2001). Como os demais metais básicos, oxida-se na presença do ar (Rocio et. al., 2011).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece a seguinte classificação de tipos de cobre e ligas associadas: considera-se como cobre o metal com teor igual ou maior que 99,85% do elemento, ou o material com no mínimo 97,5% em massa deste elemento.

O cobre em estado puro, isto é, nativo, é raro na natureza. Normalmente está associado a outros elementos químicos em várias formas estruturais, proporções estequiométricas e combinações químicas, formando diversos minerais (Ribeiro 2001).

### 1.4-A importância do cobre na história da humanidade

O nome cobre deriva da palavra *cuprum*, que deu origem ao símbolo Cu. O termo latino *cuprum* teve sua origem na palavra latina *cyprium* que era o nome dado pelos romanos a ilha de Chipre (Cyprus).

O minério de cobre vindo de Chipre era comercializado no Egito, em Roma e nações próximas, sendo tão importante que foi batizado pelos romanos como “*aes cyprium*”, minério de Chipre.

A História mostra que o cobre foi um dos primeiros metais a serem usados pela humanidade, tendo sido fundamental para o aparecimento e desenvolvimento das primeiras civilizações. Este metal substituiu rochas e carapaças de animais, que foram empregados

como ferramentas de trabalho ou armas durante milhares de anos. Artefatos de cobre de cerca de 10.000 anos atrás foram descobertos na Ásia oriental (Silva, 2011).

Na Europa, em 1991, foi encontrado um cadáver mumificado com aproximadamente 5.300 anos de idade, que carregava dentre outras coisas um machado feito de cobre com cabo de teixo, uma espécie arbórea natural da Europa.

O cobre foi tão importante que um período da história da humanidade foi denominado de “idade do bronze”, que varia de época dependendo da localização geográfica.

Há controvérsias na Arqueologia sobre o início da Era dos Metais. Ainda que vestígios arqueológicos evidenciem o uso do cobre há 10.000 anos, persistem dúvidas sobre qual metal teria sido de fato precursor desse evento. Alguns pesquisadores mais conservadores sustentam a possibilidade do uso anterior do ouro e ferro (meteorito e forjado a frio) e posteriormente, em torno de 7000 anos a.c. o uso do cobre nativo (Rodrigues et al., 2009).

Na história do mundo antigo podemos ver que o cobre contribuiu de forma importante no desenvolvimento da civilização e da cultura: templos e elementos arquitetônicos, artefatos como agulhas, sinos, caldeirões, estátuas clássicas do mundo helênico, facas, ornamentos e artigos de várias categorias (Procobre, 2013).

O domínio de posse e tecnologia do cobre representava nos povos da antiguidade a riqueza e o poder (Ribeiro, 2001).

Os índios brasileiros também já conheciam o metal antes da chegada dos colonizadores, como relatado por Alvar Nuñez Cabeza de vaca em 1542 (Ferran, 2007).

Com o aumento de todos os ramos da atividade humana após a Revolução Industrial, foram descobertos novos e importantes usos para o cobre. As melhorias conquistadas na metalurgia permitiram a produção de várias novas ligas deste metal, ampliando seus campos de aplicação.

O Cobre alcançou sua real dimensão de metal imprescindível para o desenvolvimento industrial do mundo em 1831, quando Faraday descobriu o gerador elétrico. E desde esse momento a demanda por ele cresceu de forma notável.

Durante grande parte do século XIX, a Grã Bretanha foi o maior produtor de cobre do mundo. Mas a importância que este metal adquiriu motivou a abertura de novas minas em outros países, como Estados Unidos, Chile e países africanos, superando em 1911 um milhão de toneladas de cobre refinado.

Atualmente, mais de 400 ligas de cobre são utilizadas no mundo. Essa facilidade com que o cobre se liga a outros metais foi de suma importância para o crescimento da utilização desse metal no século XX (Procobre, 2013).

## 2-GEOLOGIA

Neste item são descritos os minerais que contém cobre, os minérios mais utilizados, bem como os tipos de jazimentos que servem como modelos para o estudo e caracterização dos depósitos que contem este elemento.

A concentração média deste metal na crosta terrestre é da ordem de cinquenta (50) partes por milhão (ppm).

O cobre se combina com diversos elementos e já foram identificados mais de 150 minerais portadores do metal (Rocio et. al., op.cit.).

### 2.1-Minerais de cobre

Os minerais de cobre podem ser divididos em diversas classes: minerais sulfetados primários, sulfetos secundários, óxidos, silicatos, carbonatos, entre outros.

A Tabela1 apresenta os principais tipos de minerais que contem cobre na sua composição.

**Tabela 1**  
**Principais minerais de cobre**

<b>Tipos</b>	<b>Nome</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>%</b>
Sulfetos primários	Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$	34,6
	Bornita	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	63,3
Sulfetos secundários	Calcocita	$\text{Cu}_2\text{S}$	79,9
	Covelita	$\text{CuS}$	66,5
	Enargita	$\text{Cu}_3\text{AsS}_4$	48,4
Óxidos	Cuprita	$\text{Cu}_2\text{O}$	88,8
	Tenorita	$\text{CuO}$	79,9
Carbonatos	Malaquita	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57,5
	Azurita	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55,3
Hidróxi-silicato	Crisocola	$\text{CuO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	36,2
Hidróxi-cloreto	Atacamita	$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	59,5
Sulfatos	Antlerita	$\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$	53,7
	Brochantita	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	56,2

Fonte: Dana, 1970.

## 2.2-Tipos de jazimento de cobre

Os estudos detalhados das ocorrências de cobre, independente dos teores, apontam sete principais tipos de jazimentos, usados como modelos, em função de suas diferentes gêneses. A seguir são descritos esses jazimentos.

### 2.2.1-Depósitos de cobre pórfiro

Os depósitos de cobre-pórfiro representam os mais importantes depósitos conhecidos e resultam da concentração de sulfetos a partir de soluções hidrotermais normalmente associadas à atividade vulcânica (Evans, 1993).

Estão associados a intrusões ígneas félsicas em zonas de subducção em faixas de colisão de placas tectônicas, como na Cordilheira Canadense, na Cordilheira dos Andes e ao redor da margem ocidental da bacia do Pacífico (Filipinas, Indonésia e Papua-Nova Guiné). A mineralização consiste de intrusões de veios de quartzo e brechas contendo sulfetos de cobre associados a ouro e/ou molibdênio.

São depósitos com baixa concentração, porém caracterizados por suas grandes extensões. Compreendem importantes reservas, como no distrito de Escondida (Chile) que abriga dois dos maiores sistemas de depósitos de cobre-pórfiro do mundo, Escondida e Escondida Norte (RIO TINTO, 2011).

Esse tipo de mineralização pode ocupar vários quilômetros cúbicos e os depósitos podem conter entre dezenas de milhões a bilhões de toneladas de minério. Estes depósitos são responsáveis por cerca de 55% do suprimento mundial do metal (Rocio et. al., op. cit.).

### 2.2.2-Depósitos de séries sedimentares

Depósitos desta categoria respondem cerca de 20% da produção mundial, sendo assim a segunda mais importante fonte de cobre do mundo (Rocio, op. cit.).

São depósitos detríticos relacionados com espessas sequências de conglomerados e arenitos arcoseanos produzidos em ambientes continentais ou transicionais - tipo *red bed* - e folhelhos de ambientes lagunares e marinhos – tipo *Kupferschiefer* (Ribeiro, op. cit.).

Esses depósitos consistem em finas camadas alternadas de carbonatos, argilas e matéria orgânica, com cores caracteristicamente escuras, que recobrem sedimentos não marinhos

(arenitos arcoseanos vermelhos), por sua vez sobrepostos por calcários, todo conjunto sotoposto por evaporitos.

O minério sulfetado encontra-se na camada tipo *Kupferschiefer*, disseminados na matriz da rocha como sulfetos de granulometria muito fina (Evans, op. cit.).

Como exemplos desse tipo de depósito, pode-se citar o de Lubin, na Polônia, que contém 2,6 bilhões de toneladas de minério a um teor de cobre superior a 2%, e o do Cinturão de Cobre Centro-Africano, que é a maior província mundial com depósitos sedimentares estratiformes de cobre. Esse cinturão abrange uma faixa de 600 km de extensão por 50 km de largura, que se estende pelos territórios da República Democrática do Congo e de Zâmbia (Rocio, op. cit.).

O teor médio de Cu neste tipo de depósito fica no entorno de 2 %, estando associado com chumbo, zinco, prata, urânio, níquel, cobalto, ouro, platina, paládio, vanádio, molibdênio, cádmio e selênio.

### 2.2.3-Depósitos de segregação magmática

Estes depósitos se formam através da segregação provocada pela imiscibilidade de material sulfetado na fase líquida do magma, ocorrendo em geral nos complexos básicos e ultrabásicos.

Quando há fusão de material mantélico ou crustal, o magma derivado desta fusão terá como componentes minerais, dentre outros, silicatos, óxidos e sulfetos. Se no magma houver saturação de óxidos e sulfetos, estes minerais formarão aglomerados mais densos que precipitarão, acumulando-se na base dos corpos magmáticos.

Esses depósitos formam lentes irregulares ou camadas concordantes com os níveis constituídos por minerais silicáticos.

Essas jazidas constituem algumas das maiores reservas mundiais de cobre, tais como Sudbury no Canadá e Norilsk na Sibéria (Ribeiro, op. cit.).

### 2.2.4-Depósitos vulcanogênicos exalativos

Estes depósitos são formados pela precipitação química dos elementos que compõem os fluidos hidrotermais convectivos de fundo oceânico ricos em Zn, Cu, Pb, Ag, Au, e significativas fontes de Co, Sn, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga e Ge.



Economicamente, são explorados principalmente para cobre, chumbo e zinco, tendo como subproduto o ouro e a prata.

A ocorrência deste tipo de jazida não se confina a um tipo particular de ambiente geotectônico e nem a um tipo de vulcanismo específico. Porém existem algumas classificações destes depósitos que variam dependendo do tipo da rocha encaixante do minério, que pode ter origem sedimentar e/ou vulcânica.

Os depósitos do tipo VMS (*vulcanic massive sulfide*) são mais importantes do que os depósitos associados a rochas sedimentares, tipo SEDEX, onde o Cu é subproduto em relação ao Pb e Zn (Evans, op. cit.).

Os depósitos classificados como VMS podem ser subdivididos em três tipos: Chipre, Besshi, Kuroko (Ribeiro, op. cit.).

- Tipo Chipre

São depósitos associados a rochas ofiolíticas ocorrentes em centros transtrativos da crosta oceânica e em bacias de retro-arco.

Estes depósitos são compostos, dentre outros minerais, por pirita acumulada em camadas ou lentes, sobrepostas por lentes ricas calcopirita, cortadas por veios anastomosados de quartzo e outros sulfetos.

- Tipo Besshi

Este tipo de depósito ocorre em ambientes mistos com sedimentos e vulcanismo basáltico a dacítico. Normalmente estes ambientes, estruturalmente complexos, estão relacionados ao estágio inicial de magmatismo cálcio-alcálico de arcos de ilha.

As zonas de mineralização, pouco espessas e lateralmente extensivas, são comumente ricas em pirita e pirrotita, ocorrendo também calcopirita (Evans, op. cit.).

- Tipo Kuroko

Depósito associado com vulcanismo mais félsico (dacítico a riolítico) relacionado ao estágio final extensional evolutivo de arcos de ilha (bacias de retro-arco) (Evans, op. cit.).

#### 2.2.5-Depósitos de escarnitos

Esse tipo de depósito se forma no contato entre corpos magmáticos e suas encaixantes quando constituídas por rochas carbonáticas, caracterizando um metamorfismo de contato.

Os escarnitos são rochas formadas durante três estágios: inicialmente um metamorfismo isoquímico, seguido por eventos metassomáticos e alterações metamórficas retrógradadas.

Estes tipos de depósitos são geralmente menores que os depósitos de cobre porfirítico, porém estão muitas vezes associados a estes, como por exemplo, Buttes e Bingham Canyon (EUA).

Alguns depósitos de escarnitos, além de cobre podem ter ouro e prata aumentando a sua viabilidade econômica. A maioria destes depósitos está associada a granitoides calcialcalinos a monzogranitos encaixados em arcos de margens continentais (Evans, op. cit.).

#### 2.2.6-Depósitos de veio

Estes depósitos são, em geral, pequenos e consistem de filões de quartzo contendo enargita, calcosina, calcopirita e bornita, além de siderita ou outros carbonatos. A esta categoria pertencem os grandes depósitos do Estado de Montana, EUA. Depósitos desta categoria participam com 3% das reservas mundiais (Ribeiro, op. cit.).

#### 2.2.7-Depósitos de cobre nativo

Estes depósitos ocorrem associados às lavas básicas do tipo “basaltos de platô”, distribuídos em várias regiões do mundo.

São depósitos que raramente tem importância econômica, como o depósito no distrito do Lago Superior, em Michigan, Estados Unidos. Além deste, outras ocorrências de depósitos desse tipo estão principalmente no Canadá, Brasil, Colômbia, Noruega, Alemanha, região da antiga Iugoslávia, Polônia e Austrália (Ribeiro, 2001).

#### 2.2.8- Depósitos brasileiros

No Brasil, as reservas de cobre são constituídas, em sua expressiva maioria, por minerais sulfetados, com ouro e prata associados.

Quanto à metalogenia, predominam os seguintes tipos de depósitos apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2**  
**Tipos de depósitos de cobre brasileiros**

Vulcanogênicos	Província Mineral de Carajás- Salobo, Pojuca e Igarapé Bahia.
	Goiás- Palmeirópolis, Bom Jardim e Chapada.
Vulcanossedimentares	Província Mineral de Carajás- Sossego, Gameleira, Antas Sul/Rio verde, Alvo 118.
Segregação magmática	Goiás- Distrito cuprífero-niquelífero de Americano do Brasil.
	Bahia- Distrito cuprífero do Vale do Curaçá (Caraíba e Baraúna, Surubim e Angico).
	Alagoas (Arapiraca)- Serrote da Laje.
	Minas Gerais- Fortaleza de Minas.
	Sergipe- Complexo de Canindé (Poço Redondo e Porto da Folha).
Sedimentares	Rio Grande do Sul- Distrito cuprífero de Camaquã.

Fonte: Rocio et. al., 2011.

### 3-LAVRA

Comumente a lavra é designada como sendo a técnica ou o conjunto de técnicas aplicadas à extração do minério de uma jazida, visando sempre ao aproveitamento mais completo, econômico, mais seguro e mais rápido do minério ou massa mineral.

A seleção do método de lavra é um dos principais elementos na análise técnico-econômica de uma mina e sua escolha permite o desenvolvimento da operação. Numa etapa de maior detalhe, pode constituir-se como fator preponderante para uma resposta positiva do projeto. A seleção imprópria tem efeitos negativos na viabilidade da mina, podendo até comprometer o aproveitamento da jazida.

O teor de corte é o teor de metal ou mineral contido em um minério, abaixo do qual sua exploração se torna antieconômica.

O teor de corte é um valor que depende de fatores econômicos e tecnológicos.

Como variáveis econômicas podem ser citadas: valor de venda do produto no mercado, valor das matérias primas utilizadas em sua extração ou beneficiamento, custo da energia e valor gasto com mão de obra.

Como os valores mudam com o tempo e com a situação econômica, um jazimento que em uma época não tem valor por apresentar teor de cobre muito baixo, pode se tornar economicamente interessante com as mudanças históricas.

As variáveis tecnológicas dizem respeito aos processos que são utilizados para o desenvolvimento da extração do minério e de seu beneficiamento. Qualquer mudança tecnológica que venha a baratear o custo da energia usada no processo poderá ter um forte impacto sobre o teor de corte.

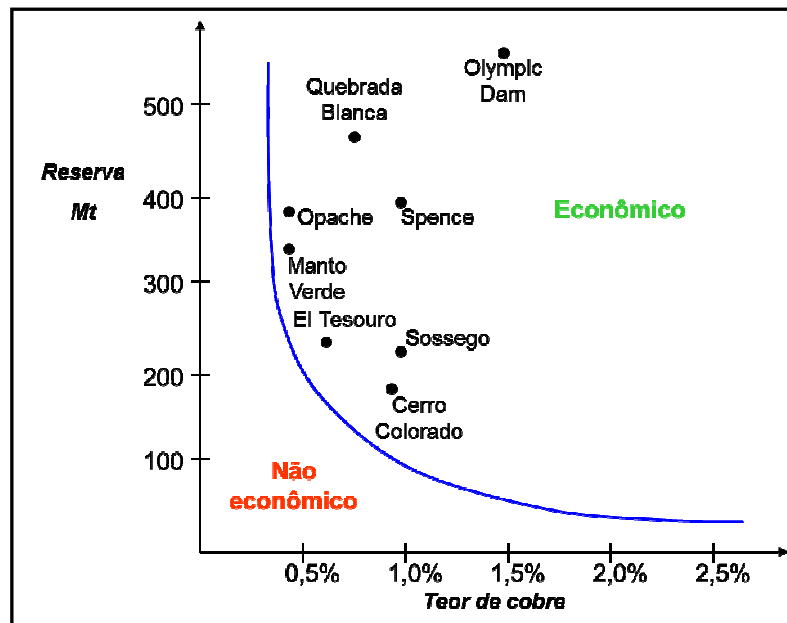
As jazidas de cobre são, em sua maioria, de grandes dimensões e baixos teores. Para possuir viabilidade econômica, os depósitos de grande porte que precisam de lavra subterrânea, necessitam de um teor de corte igual ou superior a 1% de cobre. Já nos depósitos de pequeno porte que serão lavrados subterraneamente, esse teor não deverá ficar abaixo de 3%.

Nos depósitos onde a lavra será executada a céu aberto, o teor mínimo desse metal nas rochas hospedeiras, deverá ser igual ou superior 0.5%, em função do menor custo operacional.

Os teores de elementos deletérios também são levados em consideração quando se faz uma avaliação de jazida. Segundo Ribeiro, 2001, os teores máximos de elementos deletérios devem ser: para o bismuto 0,5%; arsênio 2%; antimônio 1%; zinco 10% e níquel 0,25%.

Segundo ROCIO, et. al., 2011 as reservas mundiais com alto teor de Cu, com cerca de 4%, já se encontram totalmente exauridas.

A Figura 1 é um gráfico que relaciona os teores e o volume de reservas de diversos depósitos no mundo, e demonstra uma curva de teor mínimo para jazidas de cobre, para que um empreendimento mineral seja economicamente viável.



**Figura 1- Curva de teor de corte**

Fonte: Notas de aula de Economia Mineral, 2011.

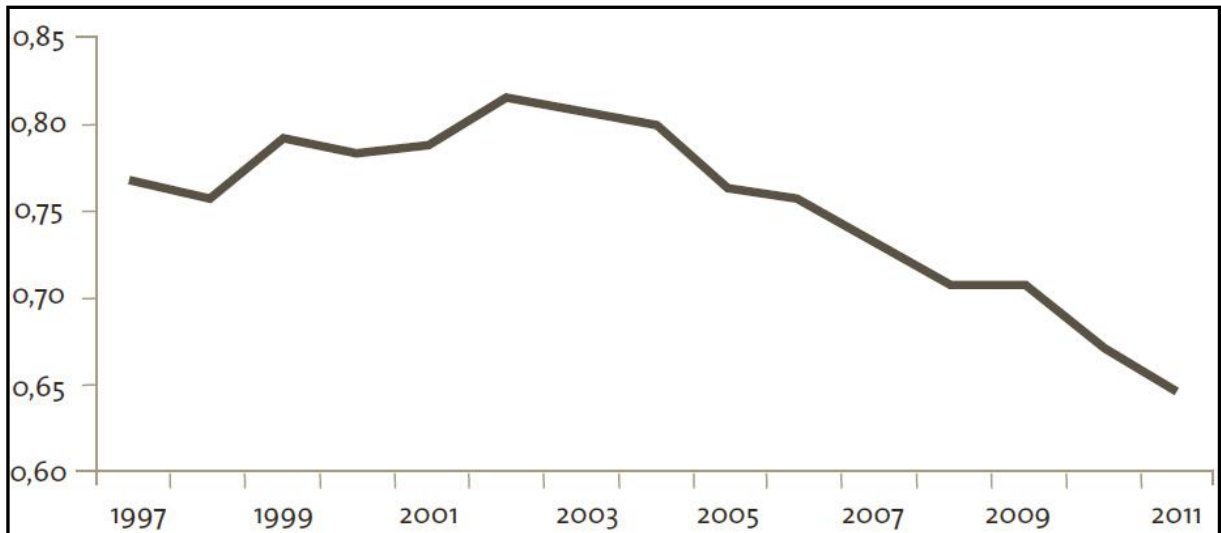
Ribeiro, op. cit., estima que aproximadamente 80% das reservas mundiais são de minério sulfetado, sendo que mais de 50% deste minério é do tipo cobre pórfiro, como as da mina de Escondida no Chile que chega até 1,5%.

Teores de Cu acima de 1,5%, já representam valores acima da média nacional chilena, que se encontra no entorno de 1% e vem decrescendo ao passar do tempo, porém, pelo grande volume de minério e por ser lavrada a céu aberto, esta mina tem grande significado econômico (The Economist, 2013).

Segundo a empresa BHP Billiton o minério chileno chegará a teores de 0,7% em 2025 e continuará sendo um dos melhores do mundo. Porém, as minas do resto do mundo seguem a

mesma tendência, decrescem cerca de 2,8% ao ano nos últimos dez anos.(The Wall Street Journal, 2013).

A Figura 2 apresenta a média dos teores de cobre das minas em operação (% de cobre/run-of-mine) no período de 1997 a 2011.



**Figura 2- Média dos teores de cobre das minas em operação.**

Fonte: Rocio et. al., 2011.

A extração também pode ser executada de forma subterrânea, exclusivamente, ou de forma combinada, onde uma parte da lavra acontece a céu aberto e a outra em mina subterrânea, como aconteceu em 1986 na Mina Caraíba, no Vale do Curaçá, município de Jaguari, BA (Mineração Caraíba, 2013).

Vale salientar a diferença de complexidade entre as duas práticas, pois na mina subterrânea a engenharia envolvida nas perfurações, detonações para desmonte e manutenção do ambiente de trabalho, que diz respeito ao fornecimento de energia elétrica e qualidade do ar e da água, são muito mais complexas que na mina a céu aberto.

Mas com a queda dos teores das minas, com aumento de técnicas e tecnologias mais caras empregadas para melhor aproveitamento no beneficiamento do minério de baixo teor, aliados ao grande volume de estéreis que tem que ser produzidos para se alcançar corpos de minérios cada vez mais profundos e às legislações ambientais que estão cada vez mais complexas, o custo da mineração a céu aberto tem se aproximado, e em alguns casos até superado, o custo da mineração subterrânea.

Para decidir qual tipo de mineração será empregada são considerados diversos fatores como condições topográficas do terreno, qualidade de acesso, profundidade dos corpos a

serem explorados, condições ambientais, situação dos aquíferos, legislação local, dentre outros. Porém, duas características são de suma importância: o teor de Cu, que para lavra subterrânea será necessariamente mais elevado, e as implicações financeiras relacionadas a remoção do volume de estéril produzido (Jarroud, 2013).

## 4-BENEFICIAMENTO E PROCESSAMENTO

Raramente o Cu apresenta-se na natureza na forma em que será consumido pela indústria (nativo), seja por sua granulometria ou por estar associado a outros minerais e/ou elementos, que não são interessantes ou são até mesmo indesejáveis para o processo do beneficiamento do cobre. É exatamente para a adequação da substância aos processos industriais que se utiliza o beneficiamento do minério.

A rota de processamento do minério e os tipos e quantidades de reagentes químicos a serem usados dependerão do tipo de minério a ser tratado. Serão descritos os processos de concentração do minério, depois os de obtenção do metal, através dos processos de pirometalurgia e posteriormente o de hidrometalurgia.

Será feita uma abordagem um tanto quanto simplificada, pois cada jazida necessita de análises minuciosas das características de seus minérios para que seja dado o tratamento adequado para a extração do metal. Não podemos ignorar o fato do avanço em pesquisas sobre as técnicas de hidrometalurgia, como resposta a necessidade de otimização no beneficiamento do Cu.

Esse avanço viabilizará no futuro a utilização desta técnica em minérios que ainda são beneficiados através das antigas plantas de flotação.

Os estudos de caracterização de minérios são importantes para a metalurgia extrativa, pois fornecem subsídios para definição do processo que será empregado no beneficiamento mineral permitindo obtenção de concentrados com a maior recuperação possível do metal do minério.

Estudos de identificação de fases, modelos de intercrescimento de fases, tamanho de partículas e a natureza de intercrescimento de partículas, são realizados frequentemente por técnicas analíticas rotineiras como microscopia ótica e difração de raios-X (DRX), além da análises química e MEV (Filho, et. al., 2009).

O acompanhamento da caracterização mineral ao longo das operações unitárias de uma usina de tratamento de minérios permite identificar aonde ocorrem problemas de processo, subsidiando um correto redimensionamento e, conseqüente melhoria do rendimento.

### 4.1-Processos de concentração



Após a lavra do minério começa o processo de concentração e beneficiamento. A massa extraída passa por processos físicos e químicos que tem como objetivo o enriquecimento do metal no minério, envolvendo etapas de britagem primária e secundária, peneiramento, moagem e flotação, sendo esta última etapa onde ocorre o enriquecimento do minério.

Ao final deste processo é obtido um concentrado com teor de 25% a 35% de cobre contido (Rodrigues et.al., 2009).

A britagem primária é a primeira etapa de cominuição. Os britadores mais usados nesta etapa são do tipo giratório e tem grande capacidade.

Esse britador reduz matacões com aproximadamente 1m a blocos de 0,2 m, para que esse material possa ser transportado por correias transportadoras para moagem SAG ou para moagem em rolos compressores, este por sua vez passou a ser usado em minério de cobre em meados dos anos 90.

A flotação é um dos principais processos de concentração, sendo empregado para diversas classes de minerais, como também para uma variedade de tamanhos de partículas. E consegue ao final do processo extrair cerca de 90% do cobre contido no minério.

Pode-se definir flotação como o processo de separação de partículas minerais realizada em meio aquoso e com presença de fase gasosa através de fluxo de ar induzido.

Diferentes tamanhos de partículas são encontrados nos atuais sistemas de flotação, que podem reduzir a seletividade do processo, devido às diferenças de comportamento (Lima & Valadão, 2008).

Para resolver tais problemas, estudos em relação à interação dos reagentes químicos com as partículas minerais e os aspectos físicos que envolvem tal etapa são minuciosamente executados e quantificados para um melhor aproveitamento.

A utilização de reagentes específicos, denominados coletores, depressores e modificadores, permite a recuperação seletiva dos minerais de interesse por adsorção em bolhas de ar.

O produto da flotação contém 75% de massa de água. Essa grande quantidade de água tem que ser removida para que o concentrado possa ser transportado e fundido.

Essa separação inicia-se com a inclusão de agentes precipitadores, que fazem com que as partículas se depositem no fundo pela ação da gravidade e a partir daí são removidos com 30% a 40% de água.

Através de filtros rotativos à vácuo essa massa alcança cerca 15% de água contida e posteriormente, através de filtros cerâmicos de pressão, alcança-se cerca de 8% de água

contida. Essa quantidade de água permanece durante o transporte aumentando o custo, porém, ela é de extrema necessidade, pois evita a perda de material na forma de poeira ao longo do caminho.

#### 4.2-Pirometalurgia

As plantas pirometalúrgicas também conhecidas como smelters, produzem cobre metálico através de várias etapas com transformações químicas.

A primeira etapa é chamada de redução e tem por objetivo oxidar o enxofre e o ferro presentes no concentrado para formar uma fase fundida rica em cobre, chamada mate, com teor variando entre 45% e 75% de Cu e outra fase fundida, pobre em cobre, chamada de escória. Consequentemente há formação de SO<sub>2</sub>, aproveitado na maioria das vezes para produção de ácido sulfúrico. A redução é realizada em fornos específicos com injeção de ar enriquecido com oxigênio.

O mate segue para a etapa de conversão e a escória é tratada para a recuperação de cobre, sendo depois reaproveitada ou descartada.

A conversão é feita em um vaso específico com adição de oxigênio e SiO<sub>2</sub> (fundente) para capturar o ferro. O resultado é o blister com 99% de Cu. A escória resultante contém 4-8% de cobre que é recuperado por sedimentação (na fase fundida). Pode também ser solidificada e a recuperação do cobre ser feita através da flotação.

O blister (cobre metálico) segue então para a etapa de refino a fogo e posteriormente para o refino eletrolítico, chegando a 99,9% de cobre. Em seguida o cobre segue para as etapas de conformação para produção dos semiacabados (Devenport et. al., 2002).

#### 4.3-Hidrometalurgia

Usualmente o cobre dos minérios oxidados, os calcocíticos e os rejeitos podem ser obtidos pela via hidrometalúrgica, isto é usando a lixiviação através de uma solução de ácido diluída, produzindo um sulfato de cobre fácil de dissolver.

Nos processos hidrometalúrgicos, o minério, o concentrado, ou resíduos são tratados em solução aquosa por um agente químico (lixiviação). O metal e os subprodutos são recuperados da solução por processo químico ou eletrolítico.

A ênfase dada ultimamente às técnicas de lixiviação proporcionou o desenvolvimento do processo de lixiviação por oxigênio e amônia. O processamento hidrometalúrgico pode ser classificado como: (1) extração ácida do cobre de minérios oxidados; (2) oxidação e solubilização de sulfetos dos resíduos da mineração, do rejeito do concentrador ou de minérios no local (in situ); (3) dissolução do minério de cobre concentrado para evitar a redução convencional; (4) extração do cobre de nódulos de Mn de águas profundas (Devenport et. al., 2002).

A hidrometalurgia é apropriada, principalmente, para a extração de cobre de minérios oxidados de baixo teor. Como acontece hoje em dia na Mina Caraíba que produz 5.000 toneladas de catodo por ano do rejeito produzido desde início da mineração a céu aberto em 1979. Vale salientar que o teor de cobre da pilha de rejeito é de 0,59% (Mineração Caraíba, 2013).

A utilização deste processo para minérios sulfetados implica em uma etapa anterior de beneficiamento do minério para obtenção do concentrado sulfetado, o qual deve sofrer processo de ustulação para transformação em produto intermediário oxidado.

Este processo, na metalurgia extrativa do cobre, consiste no aumento de temperatura do mineral e a injeção de oxigênio no sistema.

A temperatura, geralmente fica entre 1000°C e 500°C . Nesse intervalo busca-se um ponto de maior velocidade de reação sem que haja fusão do material (Heck, 2013).

O processo SX-EW, ao contrário do processo pirometalúrgico que é utilizado a cerca de 6000 anos, foi desenvolvido há menos de meio século.

Neste período, sua utilização vem crescendo largamente devido às facilidades de aproveitamento de depósitos oxidados de baixo teor, partindo-se diretamente do minério e obtendo-se o catodo com teor 99,9% de cobre, sem necessitar de fundição e refinaria.

Uma das vantagens deste processo é 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.

Outra vantagem do processo SX-EW é o reaproveitamento de minérios de baixo teor não aproveitados pelos processos tradicionais de concentração.

O investimento no processo SX-EW é cerca de 30% superior ao processo tradicional, porém a maior desvantagem refere-se à dificuldade do aproveitamento de subprodutos como ouro e prata, que também se apresentam em menores teores nos minérios oxidados.

Neste caso, são necessárias instalações adicionais de neutralização e cianetação, que geralmente não apresentam viabilidade econômica, enquanto no processo tradicional estes subprodutos são obtidos diretamente na lama anódica, na etapa de refino eletrolítico do cobre.

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 atualmente utilizada é de 200.000 t/ano (Davenport et.al., 2002).

#### 4.4-Biopurificação

A Biopurificação ou Biolavagem (bioleaching) é um processo de beneficiamento biológico que utiliza bactérias para a purificação do metal.

Transforma elementos tóxicos em substâncias inofensivas, tornando possível a exploração de reservas de cobre contendo arsênico e enxofre.

Posteriormente, o cobre é refinado por processo de eletrólise, resultando nos catodos de alta pureza.

É um sistema simples e de baixo custo, que opera em menor escala, propiciando o aproveitamento de pequenos depósitos (Ribeiro, op. cit.).

#### 4.5-Produtos comercializáveis oriundos do beneficiamento e metalurgia do cobre

Os produtos de cobre comercializados são o concentrado, os catodos e anodos de cobre, remetidos a usinas e fundições, onde se produzem fios-máquina, tarugos, ou lingotes.

Esses produtos semiacabados de Mineração de cobre e de ligas de cobre destinam-se à distribuição ou à elaboração de produtos finais.

Entre os produtos finais podem ser citados: vergalhões, barras retangulares, fitas, chapas, tiras, discos, cabos, fios, tubos, perfis retangulares e tubulares (Rocio, et. al., 2011).

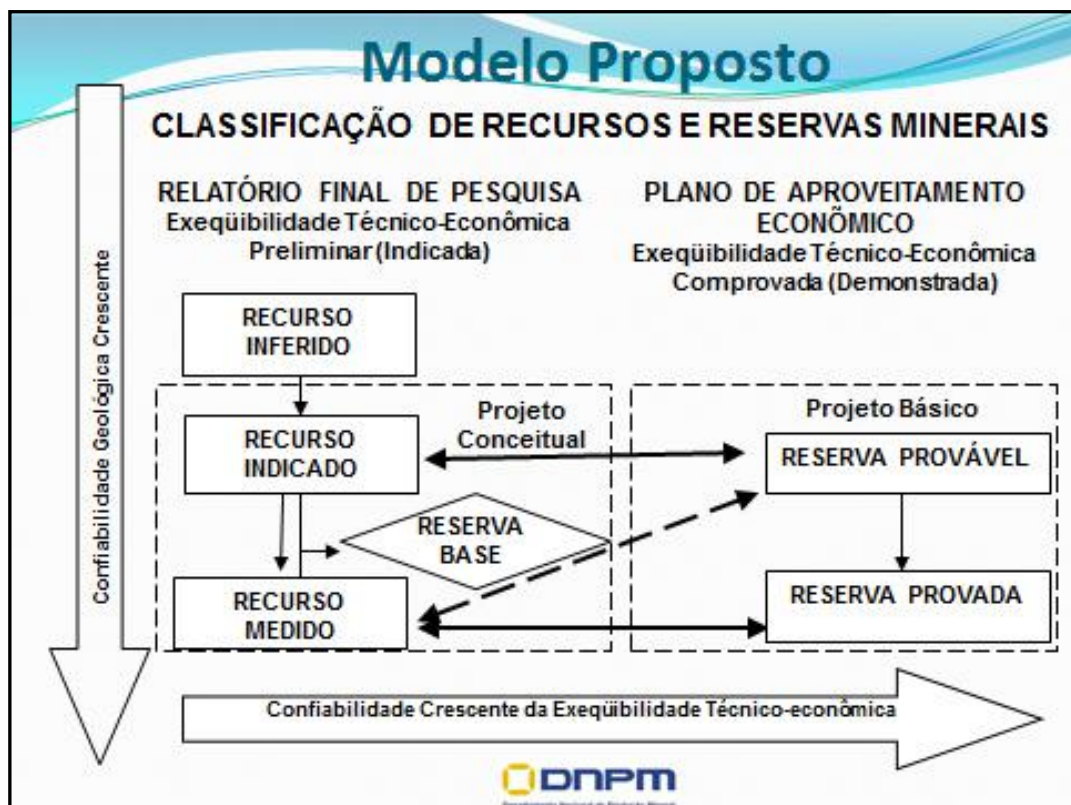
## 5-MERCADO DE COBRE

### 5.1-Reservas

O termo reserva mineral é complexo, pois depende de diversos fatores para sua classificação. De forma simplificada pode-se dizer que a reserva mineral é um recurso mineral que mediante aspectos mercadológicos lhe é conferido um valor financeiro.

Vários aspectos são considerados para que um recurso mineral se torne uma reserva, tais como: condições de mineração, metalurgia, economia de mercado, legislação, dentre outros.

Na Figura 3 estão relacionados recursos minerais e reservas minerais com o nível de conhecimento geológico sobre o depósito mineral (eixo vertical) e o nível de possibilidade de mercado (eixo horizontal).



**Figura 3- Proposta para Atualização dos Conceitos de Recursos e Reservas Minerais.**  
Fonte: AGP, 2011.

A Tabela 3 foi elaborada com os dados do United States Geological Survey (USGS) denominados como “reserve” que corresponde ao conceito de reserva lavrável do apêndice do Sumário Mineral, 2010. As reservas lavráveis são aquelas que se encontram viáveis economicamente na data em que foram catalogadas.

Observa-se que em 2012 o total das reservas mundiais alcançou 680 milhões de toneladas, excluídas as setecentas milhões de toneladas em nódulos submarinos. Apresentou um crescimento de 2004 a 2012 de cerca de 50%, devido nitidamente ao incremento nas reservas da Austrália e do Peru.

**Tabela 3**  
**Reservas mundiais de cobre em milhões de toneladas**

Países	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	%*
Chile	140	140	150	150	160	160	150	190	190	27,9
Austrália	24	24	24	24	24	24	80	86	86	12,6
Peru	30	30	30	30	60	63	90	90	76	11,2
EUA	35	35	35	35	35	35	35	35	39	5,7
México	27	27	30	30	38	38	38	38	38	5,6
China	26	26	26	26	30	30	30	30	30	4,4
Rússia	20	20	20	20	20	20	30	30	30	4,4
Indonésia	35	35	35	35	36	31	30	28	28	4,1
Polônia	30	30	30	30	30	26	26	26	26	3,8
Zâmbia	19	19	19	19	19	19	20	20	20	2,9
Canadá	7	7	9	9	10	8	8	7	10	1,5
Cazaquistão	14	14	14	14	18	18	18	7	7	1,0
Brasil	14,5	14,4	14,2	14,3	10	9,9	9,8	11	11,4	1,7
Outros	45,5	45,6	45,8	50,7	60	60,1	70,2	89	88,6	13,0
Total	467	467	482	487	550	542	635	687	680	100,0

Fonte:USGS, 2005-2013; Sumário Mineral, 2005-2013.

*\*O percentual de cada país em relação ao total para o ano de 2012.*

A Tabela 3 mostra o Chile como detentor das maiores reservas mundiais, seguido da Austrália e Peru. Esses três países juntos somam cerca de 50% das reservas lavráveis mundiais

As reservas brasileiras de Cobre são de 11,4 milhões de toneladas, cerca de 1,7% das reservas mundiais, distribuídas por 8 estados brasileiros como mostra a Tabela 4 (IBRAM, 2012).

Nota-se que o cobre contido nas reservas lavráveis brasileiras vem diminuindo ao longo dos anos. Em 2004 apresentava 14,5 milhões de toneladas de cobre contido e em 2012 chegou a 11,4 milhões de toneladas.

**Tabela 4**  
**Distribuição das reservas Brasileiras de Cobre**

Alagoas	2,95%
Bahia	3,79%
Goiás	7,92%
Minas Gerais	0,02%
Mato Grosso	0,05%
Pará	84,99%
Rio Grande do Sul	0,19%
São Paulo	0,10%

Fonte: IBRAM, 2012.

## 5.2-Produção

A produção mundial de cobre atingiu em 2012 cerca de 16,6 milhões de toneladas de metal contido em concentrado de cobre. Comparando a produção de 2012 com a de 2004, que chegou a cerca de 14.5 milhões de toneladas de cobre, observa-se que houve um aumento de cerca de 14.5% no período.

O Chile continua a ser o maior produtor mundial de cobre. Tendo no período de 2004 a 2012 o ápice de sua produção em 2010 com cerca de 5.4 milhões de toneladas de cobre. Isso significa que sozinho o Chile produziu nesse ano 34% da produção mundial do metal.

A Tabela 5 demonstra a produção de cobre por país de 2004 a 2012.

**Tabela 5**  
**Produção (10<sup>3</sup>t) de Cobre, 2004 a 2012.**

Países	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Chile	5.410	5.320	5.360	5.360	5.330	5.390	5.420	5.260	5.370
China	620	755	890	890	950	995	1.190	1.310	1.500
Peru	1.040	1.010	1.049	1.049	1.270	1.275	1.250	1.240	1.240
EUA	1.160	1.140	1.200	1.200	1.310	1.180	1.110	1.110	1.150
Austrália	854	927	859	859	886	854	870	958	970
Rússia	675	700	725	725	750	725	703	713	720
Zâmbia	427	436	476	476	546	697	690	668	675
Canadá	564	567	607	607	607	491	525	566	530
México	406	429	338	338	247	238	260	443	500
Indonésia	840	1.070	816	816	651	996	872	543	430
Polônia	531	523	512	512	430	439	425	427	430
Cazaquistão	461	402	457	457	420	390	380	417	420
Outros	1.610	1.720	1.835	1.835	2.030	2.190	2.243	2.490	2.680
Total	14.598	14.999	15.124	15.124	15.427	15.860	15.938	16.145	16.615

Fonte: USGS, 2013.

O Brasil, apesar de ter uma tímida participação no cenário mundial, neste período teve um bom incremento na sua produção. Partindo em 2003 com a produção de 26 mil toneladas e chegando em 2012 a cerca de 223 mil toneladas de cobre contido, como mostra a tabela 6.

**Tabela 6**  
**Produção brasileira de cobre (10<sup>3</sup> t)**

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Brasil	26	103	133	147,8	205,7	218,3	211,7	214	213,8	223,1

Fonte: Sumário Mineral, 2004 a 2013

A participação brasileira em 2012 foi da ordem de 1,3% do total mundial, ocupando a décima quinta posição na produção mundial de cobre em mina.

A partir de 1990, a produção do cobre em mina descasou-se geograficamente da produção em smelters, até então altamente associadas.



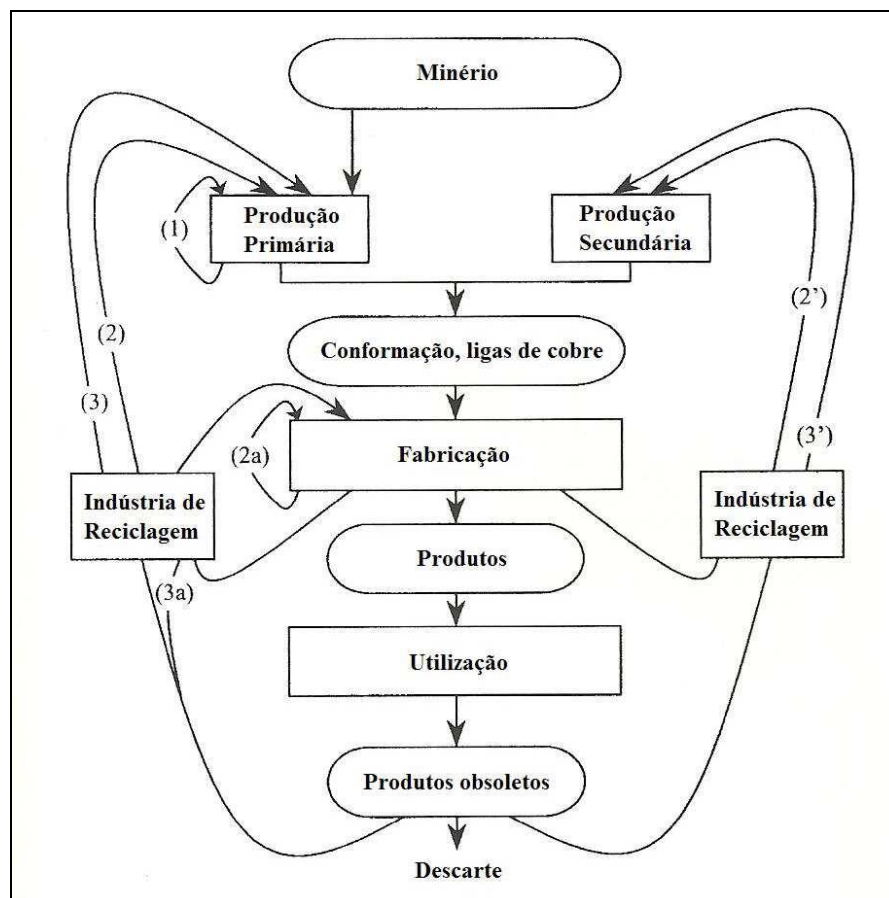
Essa separação foi estimulada pela ampla utilização da tecnologia hidrometalúrgica, fazendo com que aumentasse o comércio mundial de concentrado de cobre, assim como matte ou blister para serem processados nos países importadores (Rocio, et. al., 2011).

Este é o motivo da China ter produzido 28,6% de cobre refinado em 2012 e o Chile, que é o maior produtor de cobre mundial, ter produzido apenas 14,4%, seguido do Japão e EUA, com 7,5% e 5% respectivamente (Sumário Mineral, 2013).

### 5.2.1-Reciclagem do cobre

A produção primária de cobre é feita através da lavra, beneficiamento seguido de processamento metalúrgico. A produção de cobre secundária é proveniente da reciclagem da sucata de cobre. Cerca de 35% da oferta mundial de cobre em é oriunda da reciclagem, conferindo a essa modalidade um grau de importância cada vez maior (Vasques, 2009).

A Figura 4 mostra um fluxograma demonstrando as rotas possíveis desses materiais à reciclagem.

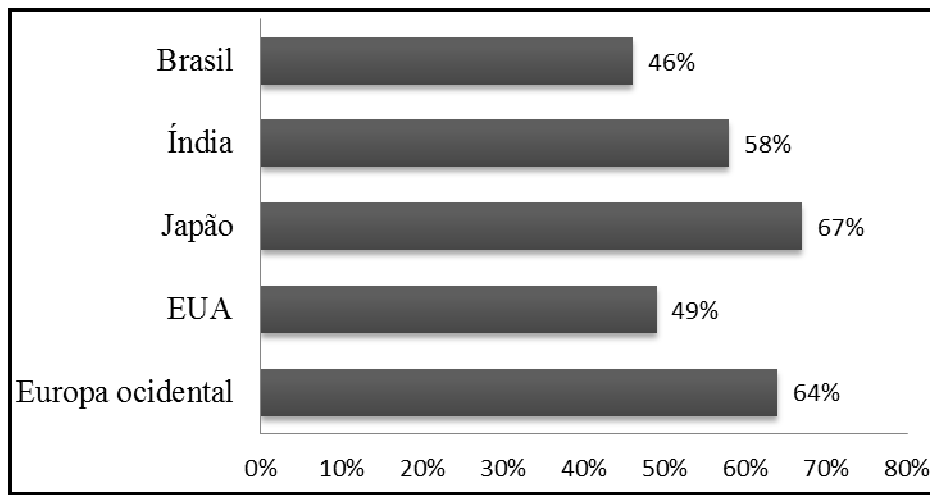


**Figura 4- Fluxograma de reciclagem do cobre**

Fonte: Davenport, 2002.

O tipo de recuperação que será empregada dependerá da qualidade da sucata, que varia com o tipo e teor de cobre apresentado. Poderão ser usados processos físicos para separar o cobre de outros metais e materiais, como por exemplo, a separação magnética para a retirada de metais ferrosos e a diferença de densidade para a separação de plásticos (Davenport, 2002).

Na Figura 5 são apresentados os níveis de reciclagem de cobre em alguns países. Vale destacar o ótimo desempenho do Japão e o baixo nível de reciclagem dos EUA.



**Figura 5- Reciclagem de cobre para os bens de consumo**

Fonte: Vasques, 2009.

Provavelmente haverá um aumento no volume de cobre reciclado no futuro. Seja pela diminuição dos teores de cobre e de novas minas, ou pela menor quantidade de energia empregada para obtenção do cobre secundário, ou até mesmo pela dificuldade e aumento dos custos de descarte.

Qualquer que seja o motivo, a tendência é que os países em desenvolvimento aumentem o volume de cobre oriundo dessa modalidade de produção.

### 5.3-A demanda por cobre no mundo e no Brasil

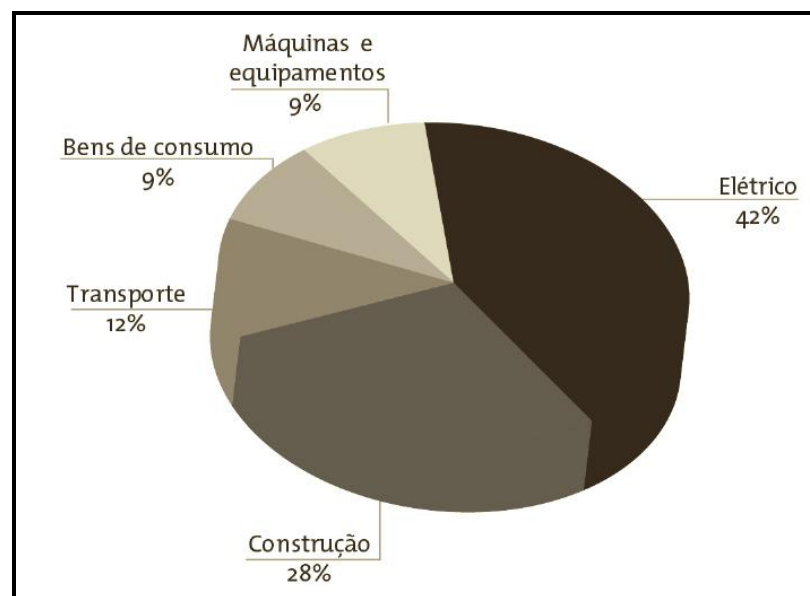
O cobre na forma pura ou combinada é utilizado para diferentes finalidades nos seguintes setores da atividade humana:

- Indústria elétrica e eletrônica: transmissão de energia, fabricação de equipamentos elétricos e eletrônicos;

- Engenharia industrial: serviços de estampagem, forjamento e usinagem de peças e componentes, produção de peças fundidas para corpos de bomba, válvulas, aparelhos para indústrias química e petroquímica, tubos e chapas para trocadores de calor, refrigeradores e condicionadores de ar;
- Construção civil: coberturas, calhas, instalações hidráulicas e metais sanitários, fechaduras, ferragens, corrimões, juntas de vedação e de dilatação, luminárias e esquadrias, portas, painéis decorativos, adornos etc.;
- Indústria automobilística – radiadores, carburadores, partes elétricas e acessórios;
- Indústria naval: hélices de propulsão, peças para comportas e ancoradouros, tubulações, tintas anticorrosivas e em diversos equipamentos, máquinas e instrumentos de navegação;
- Indústria aeronáutica: aparelhos de telecomunicações, linhas hidráulicas de pressão, mancais de trens 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.

Outros usos do cobre incluem a cunhagem de moedas, fabricação de armas e munições, indústria alimentícia, embalagens, bebidas, farmacêutica, galvanização, indústria química, cerâmica, produtos agrícolas, pesticida, fungicida, tintas e pigmentos, etc. (Ribeiro, 2001).

A Figura 6 apresenta a distribuição por setores em 2011, onde fica evidenciado que os maiores consumidores de cobre são as indústrias elétrica e de construção com 42% e 28% respectivamente.



**Figura 6- Distribuição do Consumo por Setores**

Fonte: Rocio, et. al., 2011.

A demanda por cobre na década passada foi impulsionada pela China. Na Tabela 7 pode-se ver que a China apresentou no período de 2004 a 2011 um crescimento de cerca de 26% ao ano.

O Brasil apresentou para o mesmo período uma taxa acima da média mundial. Chegou a 17,4% a.a. Esse crescimento não foi linear, apresentando certa estabilidade de 2004 a 2007. Já no período de 2008 a 2011 houve aumento da demanda, salvo em 2009, fazendo com que o consumo atingisse 462 mil toneladas em 2011.

**Tabela 7**  
**Consumo em toneladas (10<sup>3</sup>) de cobre por país- 2001 a 2011**

Países	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>China</b>	3.546	3.735	3.606	4.775	5.050	6.373	7.200	7.628
<b>EUA</b>	2.400	2.196	2.069	2.119	1.895	1.465	1.584	1.584
<b>Alemanha</b>	1.098	1.109	1.268	1.375	1.322	1.053	1.194	1.239
<b>Japão</b>	1.272	1.254	1.265	1.231	1.182	909	1.066	1.028
<b>Coreia do Sul</b>	927	771	827	802	820	881	906	861
<b>Rússia</b>	583	634	690	673	698	392	456	652
<b>Índia</b>	330	389	406	508	512	554	568	591
<b>Itália</b>	727	704	839	768	650	514	573	542
<b>Rep. da China</b>	689	638	643	608	583	496	533	501
<b>Brasil</b>	332	335	339	330	375	316	435	462
<b>Outros</b>	4.878	4.862	4.983	4.782	4.709	3.964	4.036	4.106
<b>Mundo</b>	16.782	16.627	16.935	17.971	17.796	16.917	18.551	19.194

Fonte: Rocio et. al., 2011.

O consumo global de cobre em 2012 alcançou 19,9 milhões t, com crescimento de cerca de 3% em relação a 2011, revertendo previsões otimistas dos especialistas para o ano.

Isso se deve especialmente pela queda do PIB chinês, que fez com que o consumo no país não tivesse o aumento esperado.

Mas mesmo assim o consumo chinês atingiu cerca de 41% da produção mundial (Paranapanema, 2013).

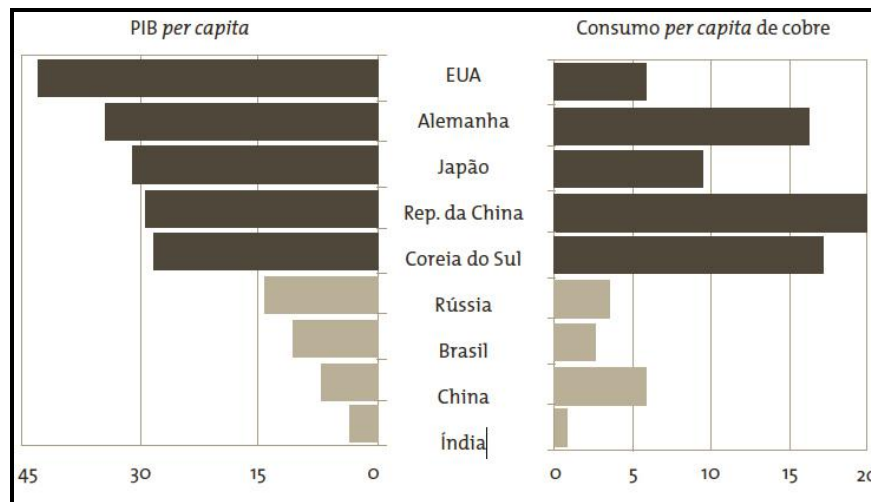
A indústria de cobre nacional em 2012 encontrou-se sustentada pela demanda dos setores de energia elétrica e telecomunicações, da automobilística e da construção civil, a despeito da crise econômica internacional (Sumário Mineral, 2013).

Já em relação ao consumo per capita, o do Brasil é baixo mesmo comparando-o a alguns países em desenvolvimento.

Dentre os países do grupo BRIC, o Brasil só supera a Índia em termos de consumo per capita.

A China, por sua vez, apresenta um consumo per capita próximo ao de países desenvolvidos. Este fato se deve a elevados investimentos em urbanização e infraestrutura e pelas indústrias automobilística e eletrônica.

A elevada demanda dessas indústrias explica o fato de a República da China e Coreia do Sul apresentarem um consumo per capita superior ao de países mais desenvolvidos como demonstrado na figura 7.



**Figura 7- PIB per capita (em US\$ mil, PPA 2005) e consumo per capita de cobre (kg) em 2011.**

Fonte: Rocio et. al., 2011.

#### 5.4-Preço

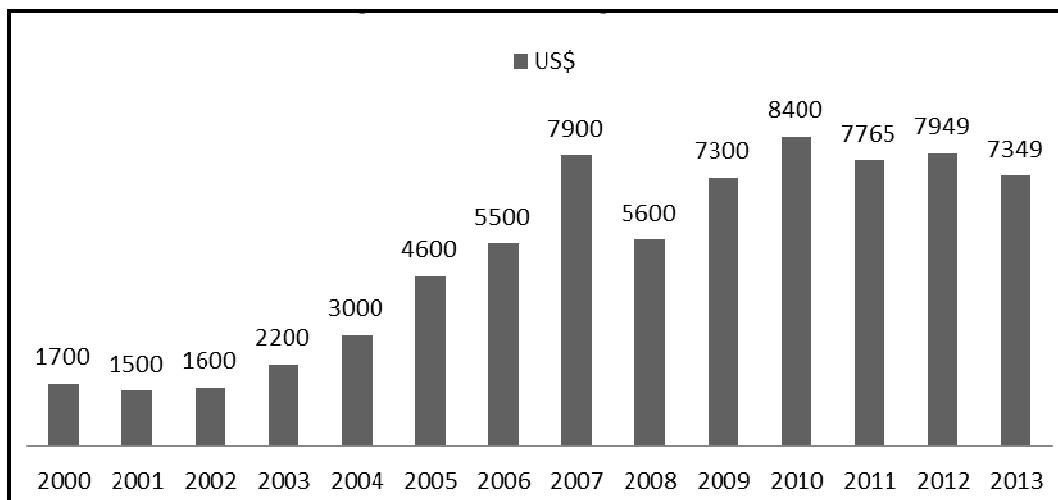
O preço do cobre, assim como o dos metais não ferrosos em geral, é determinado em função das seguintes principais variáveis: oferta, demanda e estoque.

Na LME é determinado diariamente o preço destas commodities minerais com base em suas variáveis. A negociação pode ser feita a vista, ou seja, com o preço de hoje ou com preço “fechado”, com prazos de entrega pré-definidos. Para efeito de negociação são calculados

limites (hedges) em relação à diferença do preço de hoje, para a proteção, tanto de produtores como de compradores.

Na década passada o preço do cobre sofreu algumas oscilações. Porém, de maneira geral, o preço do cobre entre os anos 2000 e 2007 subiu significativamente, cerca de 464%, tendo uma queda em 2008 de cerca 20%.

Em 2010 o preço do cobre chegou ao ápice, atingindo US\$8400 por ton. Porém, observa-se na figura 8 que em 2013 o preço sofreu uma redução em comparação com 2012, de cerca de 0.3%, atingindo o valor de US\$7349.



**Figura 8- Evolução do preço do cobre**

Fonte: IBRAM, 2011; DNPM, 2013; CREDIT SUISSE, 2014.

### 5.5-Custos

- custos operacionais: incluem royalties, com base no volume de produção, custos de mão de obra, energia, combustíveis, consumíveis (explosivos, pneus, nitrato de alumínio e ácido sulfúrico) e custos de manutenção;
- custos totais de mina: incluem, além dos operacionais descritos, os custos de manutenção da capacidade produtiva (sustaining) e custos de captação de giro;
- custos de realização: consistem na soma dos custos de tratamento e refino do cobre, custos de frete, marketing e custos de financiamento;
- custos globais: consistem na soma dos custos de realização com os custos totais de mina.

Vale ressaltar que as rochas sulfetadas, de onde provém a maior parte da produção de cobre mundial, são ricas em elementos que são aproveitados como subproduto na produção do

cobre, tais como ouro, prata, molibdênio e cobalto, agregando valor e amortizando os efeitos dos custos globais (Rocio et. al., 2011).

A localização da mina influencia muito no valor final dos custos globais, pois a falta de oferta de insumos utilizados na mineração pode fazer com que as operações de exploração ou até mesmo de beneficiamento se tornem inviáveis.

A obtenção de água e energia elétrica, por exemplo, são fatores muito importantes a serem considerados na época de planejamento da instalação das minas.

Um exemplo é a Mina de Caraíba que utilizava cerca de 1.000 m<sup>3</sup>/dia de água, na qual 400 m<sup>3</sup> são de água reaproveitada e 600 m<sup>3</sup> são de água captada no rio São Francisco.

A energia elétrica é outro insumo que encarece muito o custo de produção.

Para diminuir os custos do produto final, empresas como a Vale, têm construído usinas hidrelétricas nas proximidades de seus empreendimentos (Sampaio et. al.,2002).

Afinal, como é mostrado na Figura 9 o custo operacional é responsável por grande parte do custo total de mina. Na Figura 9 estão mostra a média mundial dos custos operacionais e os custos totais de mina, de 2005 a 2012, bem como os custos projetados de 2013 a 2016, para a mineração de cobre.



**Figura 9- Médias mundiais dos custos de mineração de cobre, excluindo receita com subprodutos (em US\$/t).**

Fonte: Rocio et.al. 2011.

Em 2011, do total dos custos operacionais, que chegaram a US\$ 2.835/t, os componentes mais representativos foram: os custos de consumíveis, 35,6%; mão de obra, 25,1%; e de energia, 14,7%.

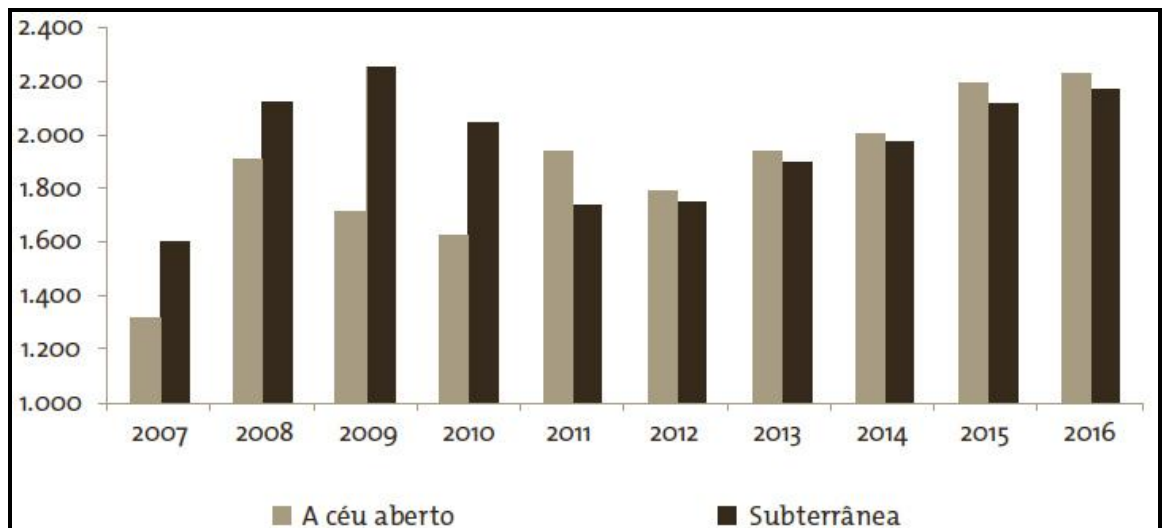
Nota-se que, em 2011, houve um aumento significativo nos custos, resultado, principalmente, da combinação da redução da produção das minas, em razão de greves e da redução do conteúdo de cobre, com do aumento dos consumíveis, dos royalties e dos combustíveis.

Os empreendimentos chineses e as que operam com base na tecnologia SX/EW, encontram-se entre as de maiores custos, para o ano de 2011 (Rocio, op.cit.).

No Brasil quase todas as minas de cobre em operação são a céu aberto agregando uma vantagem relativa aos custos.

É importante salientar que os empreendimentos que operam com processos hidrometalúrgicos, apresentam, em média, os maiores custos unitários de extração.

Então, os baixos teores de cobre associados aos altos custos dos processos de lixiviação que são usados em minérios com baixo teor, acabaram elevando o custo total das minas em operação a céu aberto no mundo, ultrapassando o custo unitário de lavra subterrâneas. A Figura 10 apresenta o custo das minas a céu e subterrâneas no mundo de 2007 a 2016.



**Figura 10- Comparação entre custos médios operacionais líquidos de minas a céu aberto e subterrâneas (em US\$/t).**

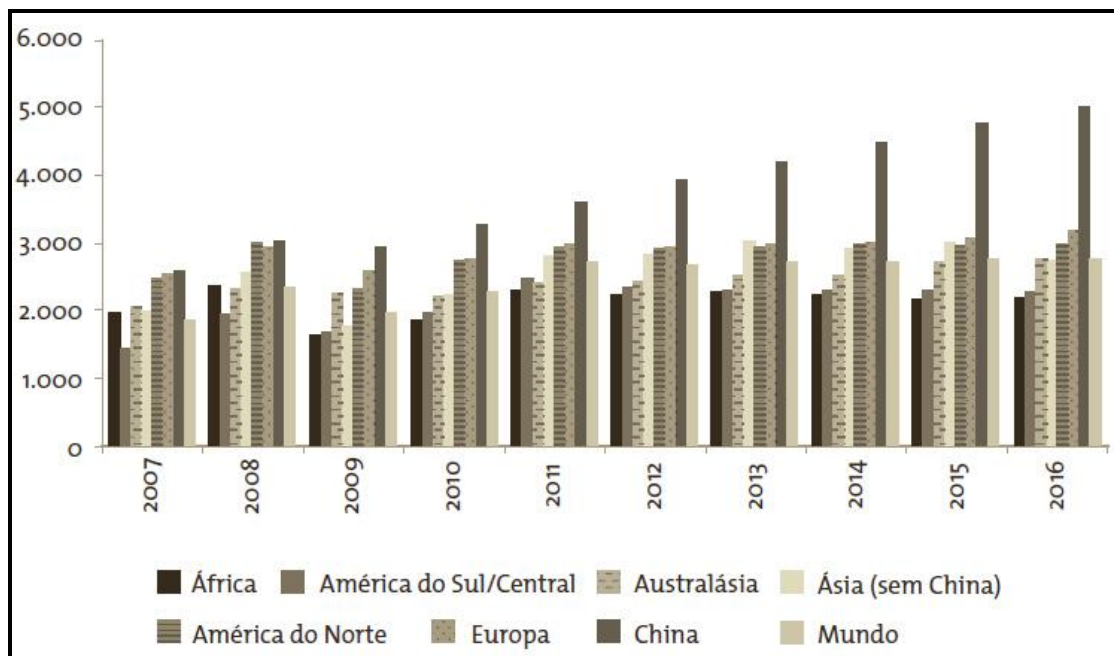
Fonte: Rocio et.al., 2011.



Na Figura 11 são apresentados os custos médios operacionais líquidos, por região do mundo (incluindo-se as vendas dos elementos secundários), de 2007 a 2011, e os custos projetados de 2012 a 2016.

Conforme se pode observar, a América do Sul/Central apresenta, juntamente com a África, os menores custos operacionais líquidos do mundo, entre 2007 e 2011, bem como nas projeções até 2016. Basicamente, essa diferença em relação às outras regiões deve-se ao baixo valor relativo da mão de obra e às economias de escala.

Já na Europa e Australásia, a mão de obra é o componente de maior relevância no total dos custos. Para a América do Norte e a China, a diferença está no custo dos consumíveis.



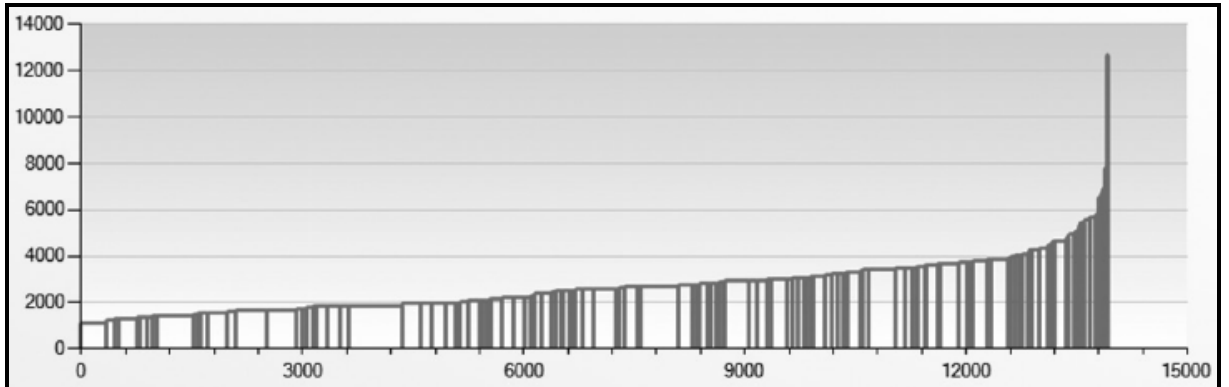
**Figura 11- Custos médios operacionais líquidos de mineração por região do mundo em US\$/ton.**

Fonte: Rocio et.al.,2011.

Apesar da Figura 11 apresentar a América do Sul e Central como o segundo mais baixo custo operacional, no Chile o aumento desses custos tem sido significativos nos últimos anos.

Das minas que têm custos menores que US\$ 2.000/t, a maioria é do Chile e do Peru, mas também se listam minas do Brasil, do Cazaquistão, da Zâmbia e do Congo.

A Figura12 apresenta a Curva de Custos da produção mundial de cobre em 2011, onde indica todos os custos diretos, expressados em centavos de dólar por tonelada.

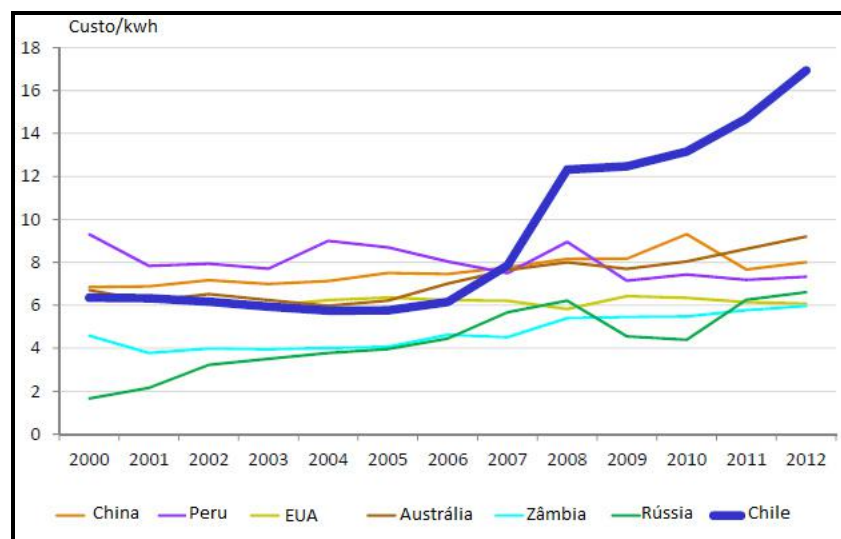


**Figura 12- Curva de Custos da produção mundial de cobre em 2011.**

Fonte: Rocio et.al., 2011.

O consumo de energia elétrica chilena teve uma participação do setor de mineração de 33%. A importação de energia, vinda da Argentina, alcançou, em abril, uma participação de 1,2% na oferta interna de eletricidade (Dassie, 2011).

Esses fatores contribuíram para que em meados da década passada houvesse um aumento significativo no custo com energia elétrica na mineração de cobre chilena. A Figura 13 mostra entre os anos de 2006 e 2008 uma forte ascensão. Esta ascensão continua em taxas mais modestas até o ano de 2012.



**Figura 13- Elevação do custo da energia elétrica chilena em pesos chilenos.**

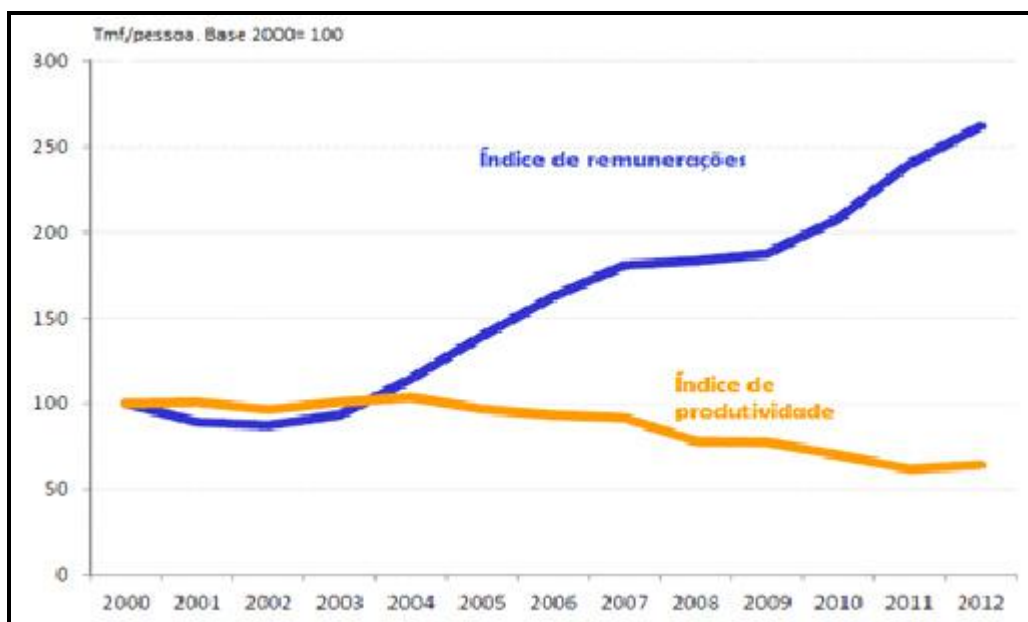
Fonte: Codelco, 2013

Este fato somado a necessidade de dessalinização da água do mar que é utilizada em minas de até 4.000 m de altitude, aumento contínuo de salários e baixa produtividade do

trabalhador chileno, se comparado com o norte americano. Isso pode fazer com que a produção de cobre chilena perca continuamente em competitividade (Clark, 2013).

O aumento do índice de remuneração do setor mineiro no Chile nos últimos doze meses foi de 3,1% (INE, 2013).

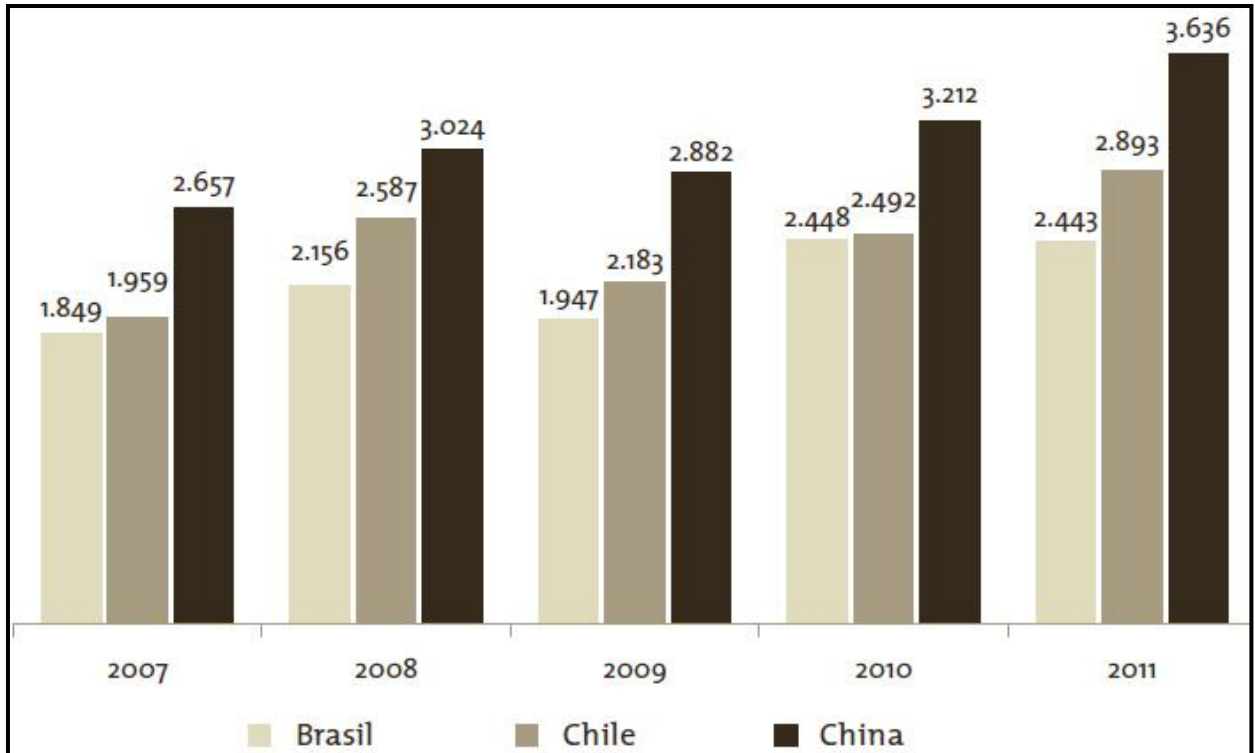
A Figura 14 apresenta a evolução dos índices de produtividade e remuneração da mineração do cobre no Chile, efetuada pela CODELCO no período de 2000 a 2012. Observa-se que a produtividade vem caindo timidamente enquanto no mesmo período as remunerações se elevam.



**Figura 14- Índices de produtividade e remunerações da mineração do cobre no Chile**

Fonte: Codelco, 2013.

Para uma avaliação melhor dos custos de mineração, apresenta-se, na Figura 15, a evolução recente dos custos operacionais (apenas até a etapa de concentração) do Brasil, Chile e China.



**Figura 15- Evolução recente dos custos operacionais médios da mineração de cobre no Brasil, no Chile e na China (em US\$/t).**

Fonte: Rocio et.al., 2011.

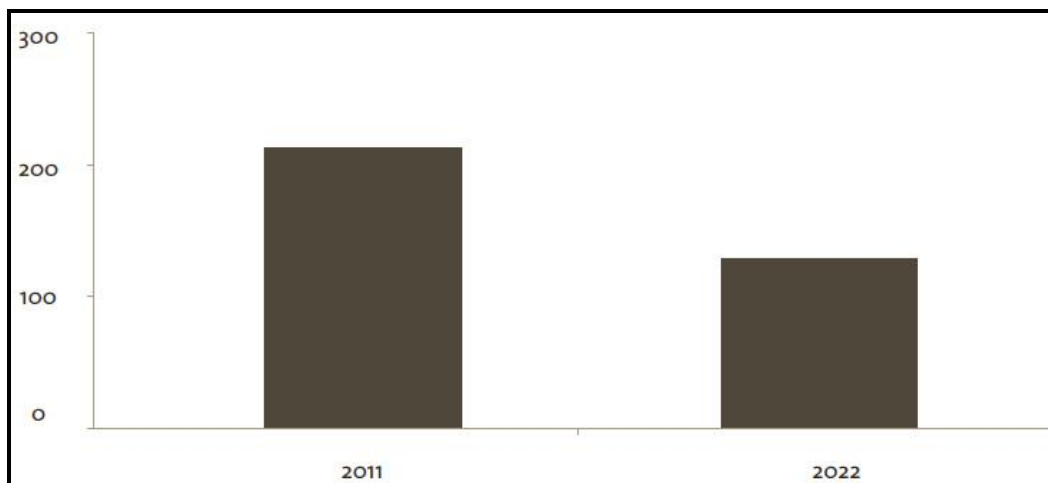
Pode-se observar que o Brasil demonstra bastante competitividade em relação aos custos operacionais de mina, até a fase de concentração, com valores médios 15,6% inferiores aos custos do Chile, e 32,8% abaixo dos custos médios da China (Rocio et. al.).

Os baixos custos de produção de concentrado no Brasil podem permitir que o país consiga implementar plantas de refino do material associadas ao parque produtor de cobre concentrado, de tal modo, que o produto final da metalurgia chegue ao mercado com preços competitivos.

## 6-PERSPECTIVAS DO MERCADO DE COBRE

### 6.1-Oferta

A tendência é que haja diminuição da oferta de cobre mundial. Observa-se na figura 16 que haverá uma queda significativa da atividade das minas até 2022 em comparação as que estão em operação em 2011.

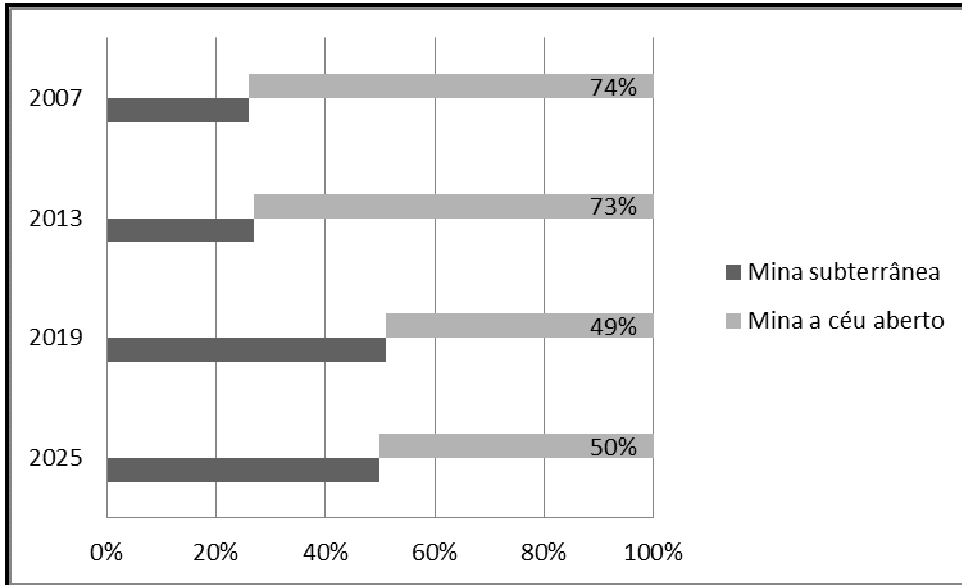


**Figura 16- Número de minas que deverão permanecer em atividade até 2022**

Fonte: Rocio et.al., 2011.

A possível diminuição do número de jazidas aflorantes e seus teores, a nível mundial, fará, provavelmente, com que se tenha o aumento da exploração de minas subterrâneas.

A participação da lavra subterrânea poderá chegar a 50% da produção mundial em 2025, como mostra a figura 17, com uma taxa de crescimento médio anual entre 2007 e 2025, de 9,6% ao ano, enquanto as das minas a céu aberto apresentariam taxas de 3,5% ao ano (Rodrigues et. al. 2009).



**Figura 17- Tendência da produção mundial de minas a céu aberto e subterrâneas até 2025.**

Fonte: Rodrigues et. al., 2009.

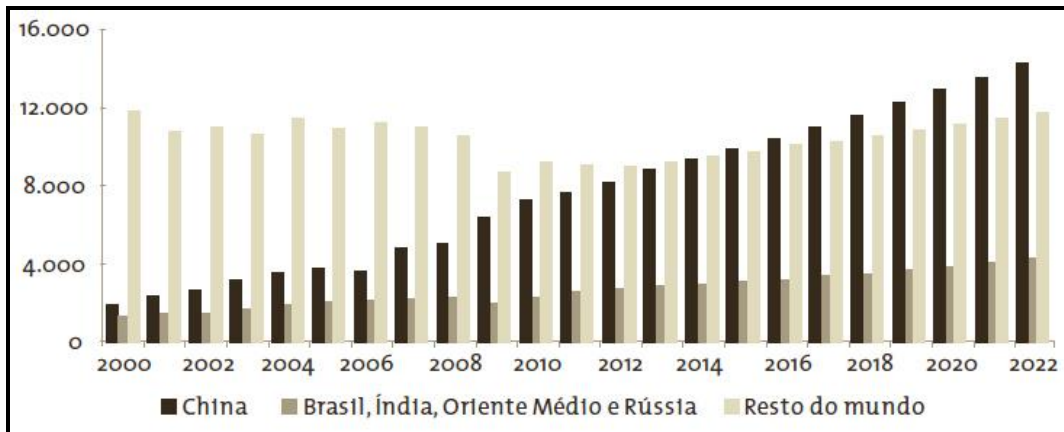
## 6.2-Demanda

Um dos fatores mais determinantes à sustentação da demanda de commodities minerais é o fato de o governo chinês manter elevado o ritmo de expansão do crédito e de investimento em infraestrutura.

De igual modo, a demanda mundial por cobre também foi influenciada na última década principalmente por esse crescimento chinês.

Nos próximos anos o crescimento chinês continuará sendo um fator determinante para o aumento da demanda por cobre a não ser que haja alguma grande modificação no mercado internacional propiciado por eventos como um rápido aumento da urbanização indiana ou a recuperação econômica de alguns países desenvolvidos (Rocio, et. al., 2011).

A Figura 18 mostra que a perspectiva de consumo de cobre refinado na China ultrapassa em 2015 o consumo do Brasil, Oriente médio, Rússia e Índia juntos.



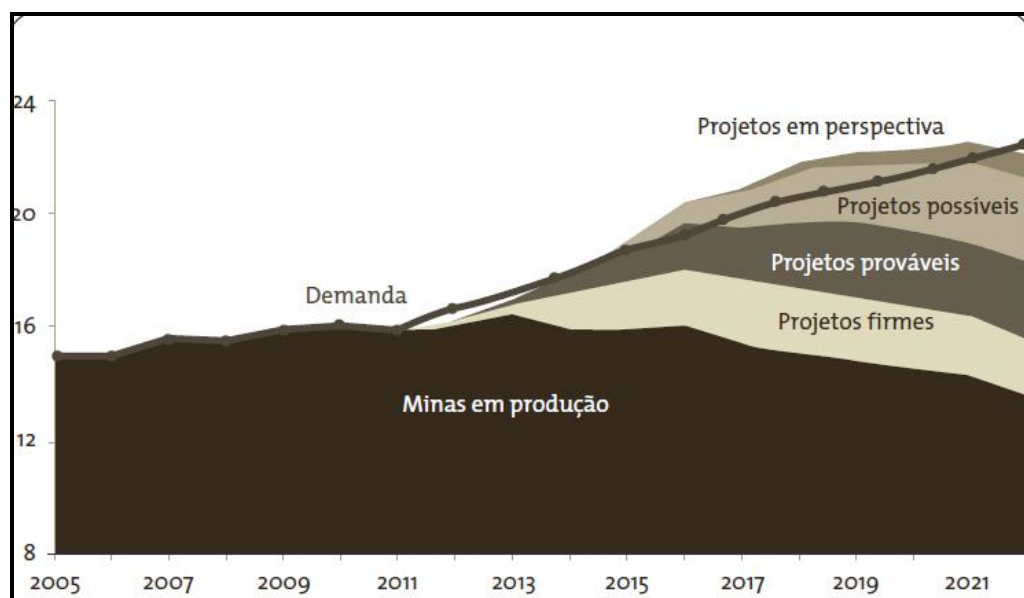
**Figura 18- Consumo efetivo e esperado de cobre refinado por região em mil toneladas.**

Fonte: Rocio, op. cit..

A possibilidade de a produção atender à demanda esperada dependerá do ritmo de desenvolvimento dos novos projetos, que vem sendo bastante lento (Rocio, op. cit.).

Para que a produção consiga atender a demanda esperada para a próxima década, será necessário que entre em operação um número significativo dos projetos possíveis, a partir de 2016, e dos projetos em perspectiva, a partir de 2020.

A Figura 19 mostra o aumento da demanda mundial por cobre, o declínio de produção das minas em operação e as projeções da produção de projetos futuros.



**Figura 19- Produção mineral e demanda efetiva e esperada (em milhões de toneladas de cobre contido).**

Fonte Rocio, op. cit..

### 6.3-Preço

Em relação ao preço do minério, observa-se na Figura 8 que houve uma pequena queda a partir de 2010.

Mas segundo Rocio et. al., a partir de 2015 há a possibilidade de alta no preço do cobre devido a fatores como a redução no número de minas em atividade, redução dos teores médios dos minérios e o descompasso no ritmo de desenvolvimento de novos projetos em relação à demanda.

Também, verifica-se em 2012 uma acentuada queda nos estoques na LME, de 20.000 ton. ao mês o que reforça uma provável tendência de alta nos preços.

### 6.4-Brasil

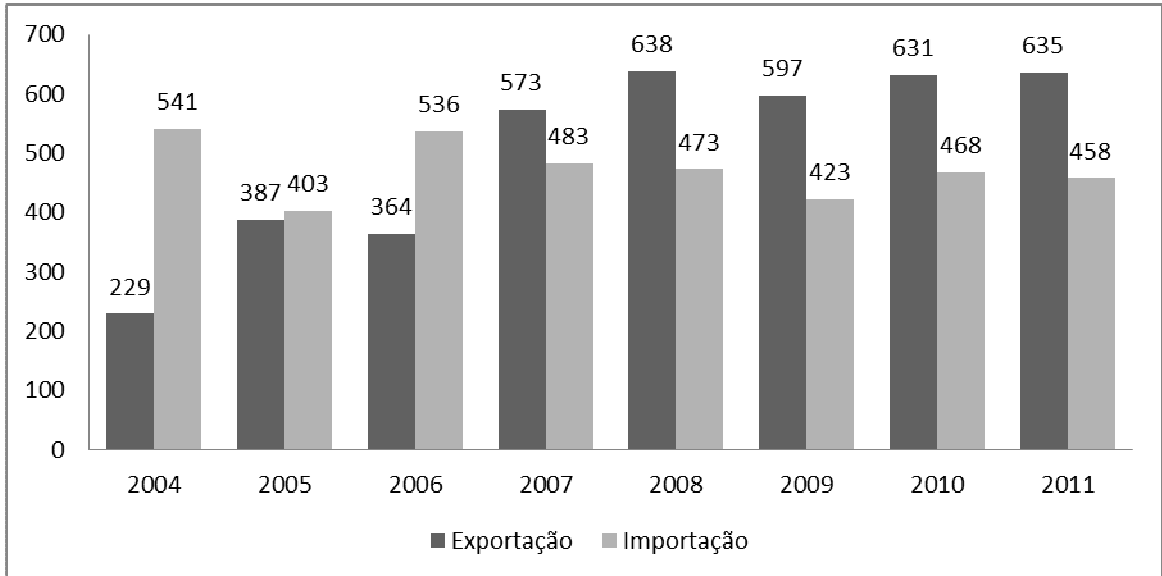
O Brasil é um dos principais exportadores de minério de ferro e exportador líquido de praticamente todos os metais não ferrosos. O cobre é uma exceção, pois ainda é importado como minério concentrado, catodo, fios e cabos.

Em relação às importações de bens minerais primários o cobre ocupa o terceiro lugar, ficando atrás apenas do carvão mineral e potássio.

Embora o setor venha intensificando investimentos na indústria do cobre a dependência brasileira ainda é muito expressiva (MME 2012).

Em 2010, o Brasil importou 468.000 toneladas (91% do Chile) e exportou 631.000 toneladas do produto de concentrado. Em 2011 as importações do concentrado chegaram a 458.000 toneladas, como mostrado na Figura20, equivalente a 137.500 toneladas de metal contido e exportações a 144.200 toneladas de metal contido.





**Figura 20- Importação e exportação de concentrado de cobre no Brasil em milhares de toneladas.**

Fonte: IBRAM, 2012

Em 2011 o saldo de importações chegou à ordem de US\$ 1,8 bilhão, destacando-se o Chile, com participação de 57%, como maior fornecedor do Brasil (Rocio, op. cit.).

Em 2012 as importações chegaram a 76.072 de metal contido em concentrado, mostrando uma queda das importações e um aumento nas exportações de cerca de 9%, com 157.650t de metal contido no concentrado (Sumário Mineral, 2013).

A perspectiva em relação ao consumo no Brasil é que continue aumentando, devido à necessidade do setor de infraestrutura; construção civil, suprimindo o déficit habitacional; expansão da indústria automobilística; e setores o de energia e o de produtos da linha branca que devem se manter aquecidos devido a fortes investimentos previstos pelo Governo Federal. (IBRAM, 2012)

Em 2012 o consumo aparente interno de cobre atingiu 436.300 toneladas. Isso significa um acréscimo de 3% em relação a 2011.

O Brasil, conforme demonstrado na tabela 7, apresentou uma taxa de crescimento do consumo acima da média. Mesmo numa hipótese conservadora, considerando a taxa de crescimento do consumo da última década, o déficit de produção projetado, sem que haja novos investimentos, deverá ultrapassar o patamar de 80% do consumo aparente.

Sendo considerado o crescimento do consumo dos últimos três anos, que foi de cerca de 6%, fica mais evidente a futura necessidade do setor (Rocio, op. cit.).

Independentemente do cenário, as reservas brasileiras são suficientes para suportar a demanda nacional tanto no segmento da mineração quanto no do consumo do cobre primário,

bastando para tanto apenas pesquisa mineral de detalhe, objetivando incorporar às reservas medidas e indicadas boa parte das reservas inferidas já identificadas (MME, 2012).

Em relação aos custos operacionais, o Brasil mostra-se bastante competitivo na mineração do cobre, o que pode se repetir em novos projetos.

Já na fase de processamento os custos são pouco competitivos, devido, sobretudo, aos custos de energia (Rocio, op. cit.).

## 7-CONCLUSÃO

Fica evidente a importância do cobre nos investimentos em infraestrutura, construção civil e em bens de consumo que exigem transmissão de energia.

O presente trabalho também evidencia a importância que tem os estudos relacionados a este metal desde a gênese dos depósitos minerais até a recuperação através da reciclagem.

Pode-se concluir que as reservas mundiais estão cada vez mais escassas. Os teores médios das minas em operação e de projetos futuros estão cada vez menores.

Com a baixa implementação de novos projetos a oferta desse metal ficará cada vez mais escassa e a participação da reciclagem desse material, como produção secundária, será cada vez maior.

O custo da mineração de cobre tem subido lentamente na maioria dos países, mas vale destacar os aumentos de custos no Chile, também por ser o maior produtor mundial, e da China, grande detentora de reservas e maior consumidora de cobre primário do mundo.

Os custos operacionais, aqueles que incluem dentre outros itens, custos de mão de obra e energia, são responsáveis pela maior parte dos custos totais de uma mina. Esse fato explica o alto custo da produção chilena nos últimos tempos que tiveram queda na produtividade, aumento dos salários e aumento do preço da energia elétrica.

O alto preço da energia elétrica também atrapalha o Brasil, fazendo com que percamos competitividade na produção de catodos. Porém, a produção de cobre concentrado apresenta uma maior competitividade. Um dos principais fatores para que isso aconteça é o fato da quase totalidade das minas brasileiras serem a céu aberto.

Há inevitavelmente uma tendência no aumento do consumo mundial de cobre. Sendo que na atualidade, dentre todos os países, a China é o principal responsável pelo aumento da demanda, e provavelmente continuará sendo nos próximos anos.

Mesmo que haja uma forte recuperação da economia dos países desenvolvidos e a Índia venha a começar um processo de reestruturação do país investindo em infraestrutura, o crescimento chinês continuará sendo um dos grandes responsáveis pela demanda de cobre.

O preço do cobre sofreu flutuações nos recentes, mas a tendência é de alta nos próximos anos. Com o aumento do preço, devido ao aumento da demanda em relação à oferta, muitas minas que não tinham viabilidade econômica poderão entrar em operação.

No Brasil, se não houver grandes investimentos na indústria de cobre, o déficit na balança desse mercado continuará, e tende a aumentar devido ao incremento do consumo que tem sido observado nos últimos anos e projetado por especialistas para os próximos.

Cumprido ressaltar que o consumo *per capita* de cobre no Brasil ainda é muito pequeno comparado com o de países desenvolvidos. Isso nos mostra que com o desenvolvimento econômico do país a demanda por cobre aumentará. Visto que aumentará o consumo de bens elétrico-eletrônicos, automóveis e no seguimento de infraestrutura e construção civil.

Nas próximas décadas o segmento da transformação mineral do cobre no Brasil oferece à iniciativa privada oportunidades de investimentos em sua ampliação de capacidade. Visando a atender a essa crescente demanda de cobre primário pelo segmento dos condutores elétricos e pelos semimanufaturados, hoje abastecidos em grande parte pelas importações.

## 8-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUÁRIO Mineral Brasileiro, 2010. DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral Disponível em:  
[http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2010/AMB\\_2010.pdf](http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2010/AMB_2010.pdf). Acessado em: 16/10/2013
- ASSOCIAÇÃO de Geólogos de Pernambuco AGP-. **Atualização de conceitos de reservas minerais. Pernambuco**, 06/ 2011. Disponível em: [www.agp.org.br/wp-content/uploads/2011/06/acrm.ppt](http://www.agp.org.br/wp-content/uploads/2011/06/acrm.ppt). Acessado em: 22/10/2013
- CLARKE, L.; MACDONALD, A. **Minas de cobre do Chile perdem competitividade**. WSJ-The Wall street Journal, Santiago, 9 de Abril de 2013. Disponível em:  
<http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424127887324050304578411283883425860?mg=reno64-wsj&url=http%3A%2F%2Fonline.wsj.com%2Farticle%2FSB10001424127887324050304578411283883425860.html> Acessado em: 28/10/2013
- CODELCO. **Competitividad de la indústria minera**. EXPONOR, 2013. Disponível em:  
[http://www.codelco.com/cgi-bin/prontus\\_search.cgi?search\\_prontus=prontus\\_codelco&search\\_tmp=search.html&search\\_modulo=and&search\\_orden=REL&search\\_resxpag=10&search\\_maxpags=20&search\\_form=yes&search\\_texto=2013&x=0&y=0](http://www.codelco.com/cgi-bin/prontus_search.cgi?search_prontus=prontus_codelco&search_tmp=search.html&search_modulo=and&search_orden=REL&search_resxpag=10&search_maxpags=20&search_form=yes&search_texto=2013&x=0&y=0) Acessado em: 26/10/2013
- COELHO, José Mário- Notas de aula da disciplina Economia Mineral, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ, 2011.
- CREDIT Suisse. **Commodities Forecasts: Light at the End of the Tunnel**, 06 de janeiro de 2014. Securities Research& Analytics. Disponível em: <http://www.credit-suisse.com/researchandanalytics> .
- DANA, J. **Manual de Mineralogia**, 1969, Editora Universidade de São Paulo
- DASSIE, A. M.. **Projeto Provedor de Informações Econômico-Financeiro do Setor de Energia. Indicadores Latino Americanos do Setor Elétrico**. Rio de Janeiro, de Janeiro a Abril de 2011. GESEL-Grupo de estudos do setor elétrico, UFRJ. Disponível em:  
<http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/publicacoes/conjuntura/Abr2011/indlatAbr2011.pdf>  
 Acessado em: 28/10/2013
- DAVENPORT, W.G. **Extractive Metallurgy of Copper**, 4th ed., 2002, Oxford, GB, 432p.
- EVANS, M. A. . **Ore Geology and Industrial Minerals**- 3<sup>th</sup> ed. 1993, 403p.
- FERRAN, A. P. N. de; 2007 **A mineração e a flotação no Brasil. Uma perspectiva histórica**. DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em:

[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=2483](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=2483) Acessado em: 28/10/2013

FILHO, J. M. S. D; FERNANDEZ, O. J. C.; SILVA, S. F. da ; CASSEB, E. G.- **Identificação de Fases e Texturas do ROM e Produtos de Beneficiamento da Mina de Sossego, Carajás.** IMPLICAÇÕES METALÚRGICAS. IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, Belém, PA, 2009. Disponível em: [http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepi-anais/artigos/70\\_348\\_1605.pdf](http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepi-anais/artigos/70_348_1605.pdf), Acessado em: 28/10/2013

HECK N. C. -**Metalurgia Extrativa dos Metais Não-Ferrosos II-A**, DEMET / UFRGS. Notas de aula, 2013. Disponível em: <http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/ENG06632/Ustulacao.pdf> Acessado em: 12/09/2013

IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e análises da economia mineral Brasileira**, 7ª edição. 2012. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002788.pdf>. Acessado em: 20/10/2013

INSTITUTO Nacional de Estadísticas- INE. **ÍNDICE NOMINAL DE COSTO DE LA MANO DE OBRA (ICMO)**. Outubro de 2013. Disponível em: [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/mercado\\_del\\_trabajo/remuneraciones/archivos/xls/icmo\\_ciiu3\\_octubre2013.xls](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/mercado_del_trabajo/remuneraciones/archivos/xls/icmo_ciiu3_octubre2013.xls). Acessado em: 02/11/2013

INTERNATIONAL Copper Study Group - – **ICSG The World Copper Factbook 2010**, Lisbon, 2010. ICSG, The world copper factbook 2010).

JARROUD, M. **A mineração chilena volta aos túneis**. IPS- Inter Press Service. Santiago, Chile, 23/8/2013. Disponível em: <http://www.ipsnoticias.net/portuguese/2013/08/ultimas-noticias/a-mineracao-chilena-volta-aos-tuneis/> Acessado em: 29/09/2013

LIMA N. P., VALADÃO G. E. **Avaliação do efeito da granulometria no processo de flotação**. Rem: Rev. Esc. Minas vol.61 no.4 Ouro Preto Out./Dez.2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672008000400011&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672008000400011&script=sci_arttext&tlng=es) Acessado em: 05/09/2013

MINERAÇÃO Caraíba, **Site da empresa Mineração Caraíba S.A.** Disponível em: [http://www.minacaraiba.com.br/page/framework.php?mnu\\_pk=2&tipo=mnu](http://www.minacaraiba.com.br/page/framework.php?mnu_pk=2&tipo=mnu) , Acessado em: 25/08/2013.

MME- Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico: Setor Metalúrgico, 2012**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Disponível em: [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)

PARANAPANEMA. **Demonstrações financeiras 31 de dezembro de 2012 e 2011**. Disponível em: [http://www.paranapanema.com.br/arquivos/investidores/divulgacao-de-resultados/central/2012/Paranapanema\\_4T12\\_DF.pdf](http://www.paranapanema.com.br/arquivos/investidores/divulgacao-de-resultados/central/2012/Paranapanema_4T12_DF.pdf). Acessado em: 16/10/2013

PORMIM- **Portal de Apoio ao Pequeno Produtor Mineral**. Biblioteca; Arquivo; Beneficiamento de Minérios. Disponível em:

[http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/beneficiamento\\_de\\_minerio.pdf](http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/beneficiamento_de_minerio.pdf) Acessado em: 16/09/2013

PROCOBRE- **International Copper Association** Brasil, 2013. Disponível em: (<http://procobre.org/pt/cobre/>), ([procobre.org/pt/cobre/historia/](http://procobre.org/pt/cobre/historia/)) .Acessado em: 28/08/2013

RIBEIRO. J. A. S. ; 2001; DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral (Brasil).- **Balanco Mineral, 2001**  
<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/cobre.pdf> . Acessado em: 28/08/2013

RIO TINTO. **Boletim informativo- COBRE.** 2011 Disponível em: [http://www.riotinto.com/documents/corpPub\\_Copper\\_por.pdf](http://www.riotinto.com/documents/corpPub_Copper_por.pdf). Acessado em: 11/09/2013

ROCIO, M. A. R. ; Silva, M., M.; Carvalho, P., S. L., C.; Cardoso, J., G. R.; 2011. **Perspectivas atuais da indústria de cobre no Brasil;** BNDES-Banco Nacional do Desenvolvimento (Brasil), Setorial 36, p. 397-428. Disponível em [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3611.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3611.pdf) Acessado em: 30/10/2013

RODRIGUES, A. F. da S.; Heider, M.; Fonseca, D.S.; **Economia Mineral do Brasil**,2009; DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral; disponível em [https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3982](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3982) Acessado em: 16/10/2013

SAMPAIO, J. A. **COBRE – MINERAÇÃO CARAÍBA.** CETEM- Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro, dezembro de 2002. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Usina de Beneficiamento de Minérios do Brasil. CT2002-180-00. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-180-00.pdf>. Acessado em: 09/09/2013

SECRETARIA DE GEOLOGIA (SGM), **Mineração e Transformação Mineral Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia.** MME-MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/estudos\\_consolidados/P57\\_RT83\\_Reciclagem\\_de\\_Metais\\_no\\_Paxs.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/estudos_consolidados/P57_RT83_Reciclagem_de_Metais_no_Paxs.pdf).

SILVA, A. G. G. da; 2011; **Cadeia Produtiva do Cobre.** Curso de Especialização em ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS – CEERMIN; Escola de Engenharia, UFMG- Universidade Federal de Minas Gerais. Acessado em: 16/10/2013

SUMÁRIO Mineral- Ribeiro. J. A. S.; DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral (Brasil)- **Anuário Mineral, 2004-2013.** Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br> Acessado em: 03/10/2013

THE ECONOMIST. **The mining industry has enriched Chile. But its future is precarious.** ANTOFAGASTA,27 de Abril de 2013. Disponível em: <http://www.economist.com/news/business/21576714-mining-industry-has-enriched-chile-its-future-precarious-copper-solution>. Acessado em: 16/10/2013

UNITED States Geological Survey –USGS. Statistics and Information; Publications; Annual Publications; [Mineral Commodity Summaries](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/copper/); copper. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/copper/> Acessado em: 16/10/2013

VASQUES, A. C. ACV CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA. **Estudo da Reciclagem de Metais no País**, Novembro de 2009. PRODUTO 57, PROJETO ESTAL. Volumes I e II, 642p.