

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Engenharia e Ciências - Campus de Guaratinguetá

GUILHERME MATHEUS E CASTRO

COBRE E SUAS LIGAS:

um estudo sobre usos convencionais e perspectiva de desenvolvimento para usos futuros

Guaratinguetá

2024



GUILHERME MATHEUS E CASTRO

COBRE E SUAS LIGAS:

um estudo sobre usos convencionais e perspectiva de desenvolvimento para usos futuros

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia e Ciências,
Guaratinguetá, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador(a): Prof. Dr. Peterson Luis
Ferrandini

Guaratinguetá

2024

C355c Castro, Guilherme Matheus e
Cobre e suas ligas: um estudo sobre usos convencionais
e perspectiva de desenvolvimento para usos futuros /
Guilherme Matheus e Castro - Guaratinguetá, 2024.
28 f : il.
Bibliografia: f. 26-28

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica –
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e
Ciências de Guaratinguetá, 2024.
Orientador: Prof. Dr. Peterson Luis Ferrandini

1. Cobre. 2. Ligas de cobre. 3. Metais. I. Título.

CDU 669.3

Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

GUILHERME MATHEUS E CASTRO

COBRE E SUAS LIGAS:

um estudo sobre usos convencionais e perspectiva de desenvolvimento para usos futuros

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Guaratinguetá, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Data da defesa: 01/11/2024

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Peterson Luis Ferrandini
UNESP – Faculdade de Engenharia e Ciências - Campus de Guaratinguetá



Prof. Dr. José Vitor Candido de Souza
UNESP – Faculdade de Engenharia e Ciências - Campus de Guaratinguetá



Murilo Alves Lima
UNESP – Faculdade de Engenharia e Ciências - Campus de Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente aos meus pais Vilma e Wilson por todo o apoio durante a minha graduação e à Giovanna pela ajuda em me manter focado e pelo amparo nos momentos difíceis; agradeço também aos amigos da Masmorra por terem me acolhido nesses anos e aos professores pela transmissão de ensinamentos tanto acadêmicos quanto para levar ao dia a dia.

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o cobre, envolvendo suas propriedades físicas, químicas e mecânicas; características dos tipos de reservas e depósitos de minério de cobre e onde se encontram essas reservas, processos de mineração, de refinamento e de fundição e quais os países de maior participação de fundição no mundo; sua consequente transformação em produtos para uso industrial e/ou consumidor final e os países que têm maior relevância industrial no mundo; como é feito o reaproveitamento através da reciclagem. Também se destacam as principais ligas de cobre, o bronze e o latão, obtidas através da inserção de determinados elementos de liga e algumas de suas características físicas e mecânicas que são influenciadas pela concentração de aditivos; os principais destinos de utilização em diversas áreas da sociedade como tecnologia, arquitetura, medicina entre outras; quais pesquisas desenvolvendo meios alternativos para implementação do cobre em novas tecnologias estão sendo desenvolvidas ao redor do mundo.

PALAVRAS-CHAVE: cobre; propriedades; produção; indústria; ligas; utilizações; pesquisa; tecnologia.

ABSTRACT

This work aims to carry out a bibliographical research on copper, involving its physical, chemical and mechanical properties, characteristics of the types of copper ore reserves and deposits and where these reserves are located, mining, refining and smelting processes and which countries have the greatest share of foundry in the world; its consequent transformation into products for industrial use and/or final consumer and the countries that have the greatest industrial relevance in the world; and how it is reused through recycling. Also highlighted are the main copper alloys, bronze and brass, obtained through the insertion of certain alloying elements and some of their physical and mechanical characteristics that are influenced by the concentration of additives; the main destinations for its use in different areas of society such as technology, architecture, medicine, among others; which new researches developing alternative means for implementing copper in new technologies have been developed throughout the world.

KEYWORDS: copper; properties; production, industry, alloy, applications; research, technology.

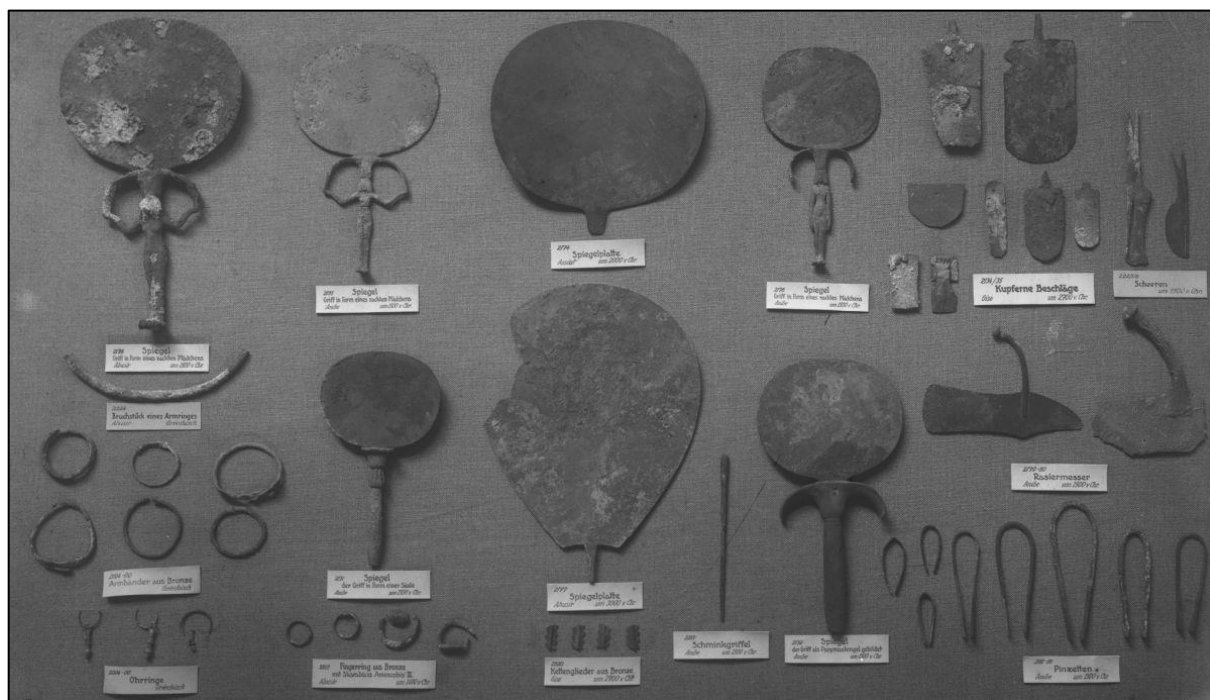
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	OBJETIVOS	8
2	O ELEMENTO COBRE E SUAS PROPRIEDADES FÍSICAS	9
2.1	PROPRIEDADES MECÂNICAS DO COBRE	11
2.2	OBTENÇÃO PRIMÁRIA E RECICLAGEM	12
2.3	UTILIZAÇÕES CONVENCIONAIS	15
2.4	LIGAS DE COBRE MAIS UTILIZADAS	19
2.5	EMPRESAS QUE UTILIZAM COBRE	21
3	PESQUISAS CIENTÍFICAS VOLTADAS PARA O COBRE	23
4	CONCLUSÕES SOBRE USO ATUAL E UTILIZAÇÕES FUTURAS	25
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

Por milhões de anos, durante a Idade da Pedra, os ancestrais da humanidade como conhecemos hoje (*Homo Habilis*, *Homo Erectus*, *Neanderthalensis*, *Homo Sapiens*, etc) confeccionavam suas ferramentas a partir de madeira, ossos de animais e pedras. Mas conforme a espécie humana evoluiu, novos conhecimentos foram sendo desenvolvidos para as necessidades na agricultura, caça, armazenamento de alimentos, e guerra, até que o *Homo Sapiens Sapiens* começou a primitivamente manusear e moldar minérios e posteriormente desenvolver técnicas de fundição, avançando a humanidade para a Idade dos Metais. No início dessa nova era foi o cobre o primeiro metal a ser desenvolvido e manipulado, dando o nome à Idade do Cobre ou Período Calcolítico; inicialmente martelado a frio, passou a ser fundido e moldado entre 6000 e 3000 a.C. a depender da região de estudo, permitindo a confecção aprimorada de utensílios caseiros, de caça e agrícolas, e armamentos, como exemplificados pela figura 1. Civilizações antigas mais avançadas, como a egípcia, utilizaram inclusive fornos para a fundição do cobre, alcançado um maior grau de pureza do metal (Bezerra, 2023; Pennsylvania State University [s/d]; KISS, 2023).

Figura 1: Artefatos egípcios de cobre da coleção do Museu Egípcio da Universidade de Leipzig



Fonte: The Archaeopress Blog (2021).

Porém, por ser um material mais maleável e conseqüentemente menos resistente, e tendo a necessidade de armas mais eficientes, experimentações com cobre e outros minérios para deixá-lo mais duro acarretaram a descoberta do bronze, que levou a humanidade mais um passo adiante na sua evolução tecnológica (Cartwright, 2017).

Atualmente, o cobre e suas principais ligas são extremamente importantes devido às suas características químicas, físicas e mecânicas, e são amplamente utilizados em objetos e componentes do cotidiano como fios de transmissão de energia, tubulações de água e gases, aparelhos eletrônicos em geral, entre outros. E ainda pesquisas e estudos são realizados para aprimorar os usos convencionais e criar e desenvolver novas áreas e conceitos que utilizem esses metais de formas novas e mais eficientes (ICSG, 2023).

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo bibliográfico visando demonstrar as propriedades químicas, físicas e mecânicas do cobre metálico, maneiras de extração, fabricação e reciclagem, usos convencionais, suas principais ligas e as indústrias que mais as utilizam, e apresentar uma perspectiva de uso futuro envolvendo estudos sobre tecnologias novas e usos avançados do cobre.

2 O ELEMENTO COBRE E SUAS PROPRIEDADES FÍSICAS

O cobre é um metal de transição maleável e dúctil, pertencente ao grupo 11 da tabela periódica e possui como propriedades químicas: massa atômica de 63.546u, número atômico 29, pontos de fusão 1357.77K e ebulição 2835K, densidade 8.96g/cm³ (a 293K), e arranjo cristalino cúbico de face centrada. É um dos únicos metais, junto ao ouro, que não possui a coloração prateada característica sendo laranja-avermelhado, e em condições ambiente é sólido. Ocorre de forma nativa na natureza em depósitos de sulfureto, carbonato e silicato, com formas minerais mais comuns sendo a calcopirita (CuFeS₂), calcocita (CuS) e malaquita (Cu₂CO₃(OH)₂, sendo os isótopos Cu-63 e Cu-65 estáveis na natureza. O estado de oxidação mais comum é Cu +2 e os sais de cobre II são solúveis, paramagnéticos e coloridos, o estado Cu+1 é estável e seus sais de cobre I são brancos, diamagnéticos e pouco solúveis; o estado de oxidação Cu+3 é raramente encontrado em agentes oxidantes, como em minerais K₃CuF₆. Em seres vivos de sangue verde/azulado, o cobre atua no transporte de oxigênio através do sague, com papel similar ao ferro nos seres humanos; já para os seres humanos, apesar de encontrado em baixa concentração, tem importante atuação na prevenção de doenças como anemia e ósseas, sendo o terceiro metal mais requisitado atrás de Fe e Zn. O cobre também possui uma característica antibacteriana interessante, sendo utilizado em utensílios domésticos e hospitalares por conta disso. (Araújo, [s/d]; Magalhães, [s/d]). Os quadros 1 e 2 apresentam, respectivamente, as características químicas e físicas de algumas ligas de cobre comuns.

Para materiais sólidos, a capacidade de transferir calor por condução é medida pela condutividade térmica desse material; para o cobre, esse valor é de 401 W/mK a 300K. A condutividade elétrica é uma propriedade muito importante para quantificar como um material conduz corrente elétrica através do mesmo; por ter um elevado valor de condutividade elétrica, o cobre é o material com valor padrão de condutividade por ser um dos maiores e utilizado em maior abundância, possuindo uma condutividade elétrica de 61,7 S/m (ou ainda 61,7 Ω⁻¹m⁻¹) (Material Properties, [s/d]).

Quadro 1: Composição química das ligas de cobre

Denominação	Ligas ASTM / UNS	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	P (%)	Sn (%)	Fe (%)	Si (%)	Ni (%)	Mn (%)	Outros (%)
Cobre Eletrolítico	C11000	99,90 (mín.)									
Cobre Fosforoso (DLP)	C12000	99,90 (mín.)			0,004 0,012						
Cobre Fosforoso (DHP)	C12200	99,90 (mín.)			0,015 0,040						
Cobre Cromo	C18400	99,80 (mín.)	0,70		0,05		0,15	0,10			Cr=0,40 1,20
Cuproníquel 90/10	C70600	restante	1,00	0,05			1,00 1,80		9,00 11,00	1,00	
Cuproníquel 70/30	C71500	restante	1,00	0,05			0,40 1,00		29,00 33,00	1,00	
Cobre Elox	C10200	99,95 (mín.)									

Fonte: Shockmetais (2024).

Quadro 2: Propriedades físicas das ligas de cobre

Denominação	Ligas ASTM/UNS	Densidade a 20 °C p=peso específico (g/cm ³)	Ponto de Fusão (°C)	Condutibilidade Térmica a 20 °C (cal/cm/cm ² / seg °C)	Calor Específico a 20 °C (cal/g °C)	Resistividade Elétrica a 20 °C (material recozido) (μΩ cm)	Condutibilidade Elétrica a 20 °C (material recozido) (%IACS)	Coeficiente de		Módulo de Rigidez a 20 °C (kg/mm ²)
								Expansão Térmica 20 a 300 °C (10-6 °C)	Módulo de Elasticidade a 20 °C (kg/mm ²)	
Cobre Elox	C10200	8,90	1.083	0,94	0,092	1,710	101	17,7	12.000	4.500
Cobre Eletrolítico	C11000	8,90	1.083	0,94	0,092	1,710	101	17,7	12.000	4.500
Cobre Fosforoso (DLP)	C12000	8,94	1.083	0,91	0,092	1,760	98	17,7	12.000	4.500
Cobre Fosforoso (DHP)	C12200	8,94	1.083	0,81	0,092	2,030	85	17,7	12.000	4.500
Cobre Cromo	C18400	8,89	1.080	0,75	0,092	2,100	82	18,0	16.000	5.900
Cuproníquel 90/10	C70600	8,94	1.150	0,11	0,090	19,100	9	17,1	12.700	4.800
Cuproníquel 70/30	C71500	8,94	1.240	0,07	0,090	37,500	5	16,2	15.500	5.800

Fonte: Shockmetais (2024).

2.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO COBRE

Na mecânica de materiais, uma das principais propriedades é a resistência do material, que é a capacidade de um material suportar uma carga passando pelo regime elástico (onde o material mantém a forma original caso deixe de sofrer carga), regime plástico (no qual o material fica deformado permanentemente) e finalmente a falha do material, ocorrendo a ruptura; para determinar os valores dessas regiões, utiliza-se a relação entre as cargas externas que o material sofre e as deformações em decorrência de tais cargas (Callister, 2018). O quadro 3 apresenta algumas propriedades mecânicas de ligas comuns de cobre

Quadro 3: Propriedades mecânicas das ligas de cobre

Denominação	Liga ASTM/UNS	Formato	Têmpera	Limite de Resistência à Tração (kgf/mm ²)	Limite de Escoamento (kgf/mm ²)	Alongamento Mínimo "50,80 mm" (%)	Dureza Brinell (HB)
Cobre Elox	C10200	Tiras	Mole	22	5	48	45
			1/2 Duro	32	27	12	90
Cobre Eletrolítico	C11000	Bobinas, chapas, tiras, barras retangulares	Mole	22	5	48	45
			1/2 Duro	32	27	12	90
Cobre Eletrolítico	C11000	Vergalhões	1/2 Duro	28	19	20	75
Cobre Eletrolítico	C11000	Tubos	1/2 Duro	32	27	15	90
Cobre Fosforoso (DLP)	C12000	Bobinas, chapas, tiras	Mole	22	5	48	45
			1/2 Duro	32	27	12	90
Cobre Fosforoso (DHP)	C12200	Tubos	Mole	24	6	45	45
			1/2 Duro	35	30	8	100
			Duro	38	35	6	105
Cobre Cromo	C18400	Vergalhões (trefilados)	Duro	52	52	15	137
Cuproníquel 90/10	C70600	Tubos	Mole	31	11	42	60
Cuproníquel 70/30	C71500	Tubos	Mole	42	18	45	74

Fonte: Shockmetais (2024).

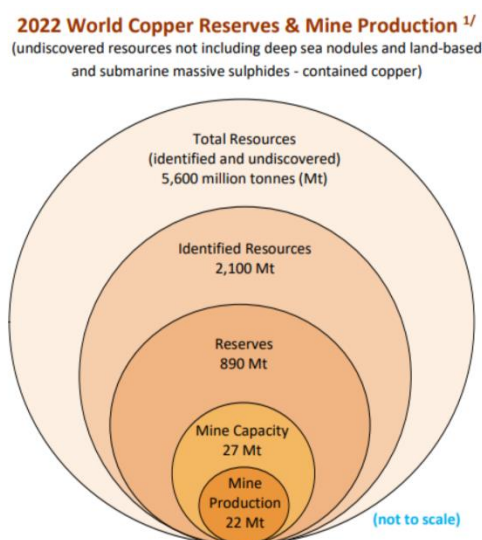
A tensão de escoamento (ponto de transição entre regime elástico e plástico) do cobre é de 33 MPa e o módulo de Young é de 120GPa (medida que demonstra a capacidade de deformação do material em regime elástico), e a resistência à tração (ponto de ruptura do material) do cobre é de 210 MPa. A dureza de um material é, para a ciência dos materiais, a capacidade de suportar uma deformação plástica superficial localizada; o teste Brinell é um dos

testes de dureza por endentação, e utiliza um aplicador de ponta esférica dura com carga pré-determinada. A dureza Brinell do cobre varia, dependendo da têmpera e dos elementos adicionados, entre 35 e 140 HB (Callister, 2018; Material Properties, [s/d]).

2.2 OBTENÇÃO PRIMÁRIA E RECICLAGEM

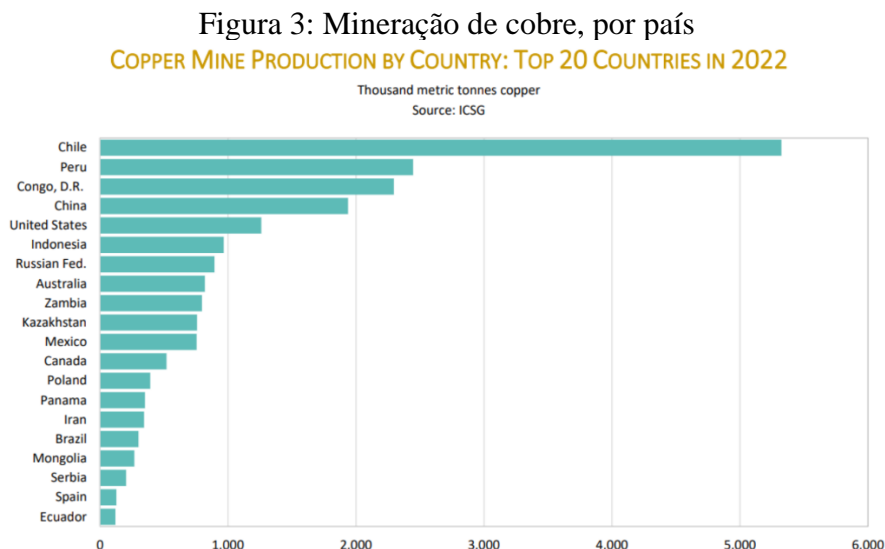
A disponibilidade do cobre é baseada em dois conceitos: reservas e recursos. Reservas são depósitos que já foram descobertos, avaliados e determinados como economicamente rentáveis para serem minerados; recursos são depósitos em maior escala e incluem reservas, depósitos descobertos, e não descobertos que se supõem existir com base em análises geológicas. A disposi o de depósitos se d  majoritariamente em dois tipos: pórfiros, que são depósitos de rochas ígneas formados onde os minérios de cobre ficam distribuídos em intrusões, e em camadas de rochas sedimentares. De acordo com a United States Geological Survey (2022 *apud* ICSG, 2023), as reservas mundiais somam aproximadamente 870 milhões de toneladas de cobre, e estima-se que os depósitos descobertos e não explorados e os não descobertos somam aproximadamente 2100 e 3500 milhões de toneladas, respectivamente; dos 3500 milhões de toneladas não descobertos, aproximadamente 3100 são de depósitos do tipo pórfiro e 400 são do tipo sedimentar; esses dados são melhor ilustrados na figura 2 adiante (ICSG, 2023).

Figura 2: Reservas mundiais de cobre e minera o



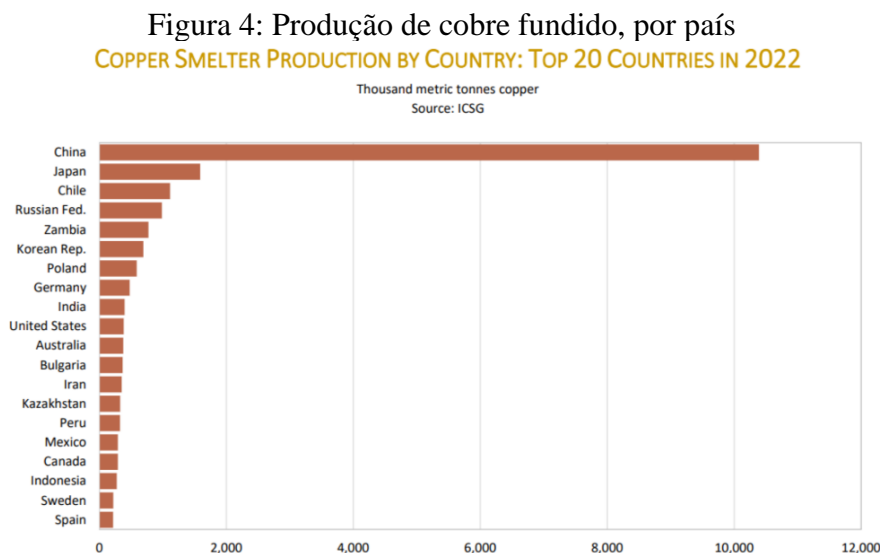
Fonte: Copper Factbook (2023).

O cobre é bem distribuído pelo planeta, porém os maiores depósitos descobertos se encontram no Chile, Peru e China; em 2022, o Chile foi o maior produtor mundial de cobre minerado (5,3 milhões de toneladas de um total de 22 milhões) conforme demonstra a figura 3.



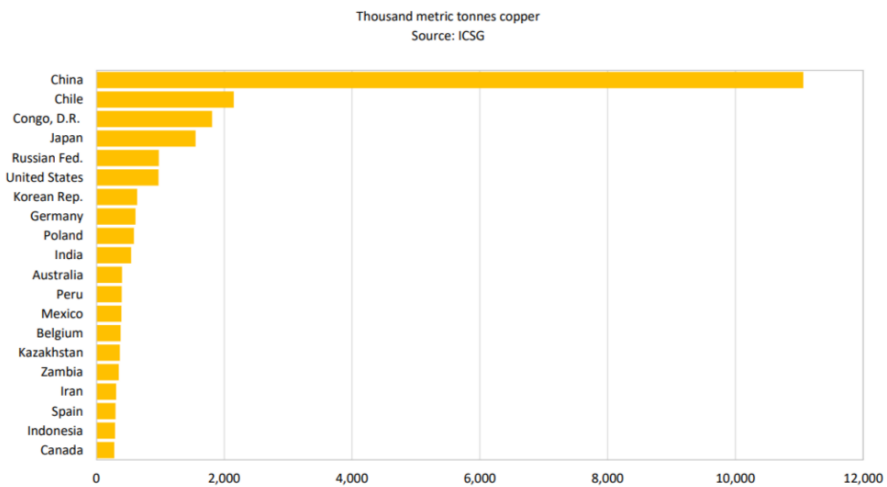
Fonte: Copper Factbook (2023).

China foi a maior produtora de cobre fundido e refinado como é apontado pelas figuras 4 e 5, e China foi também o país com maior consumo de cobre refinado (14.7 milhões de toneladas de um total de 26.1).



Fonte: Copper Factbook (2023).

Figura 5: Produção de cobre refinado, por país
REFINED COPPER PRODUCTION BY COUNTRY: TOP 20 COUNTRIES IN 2022

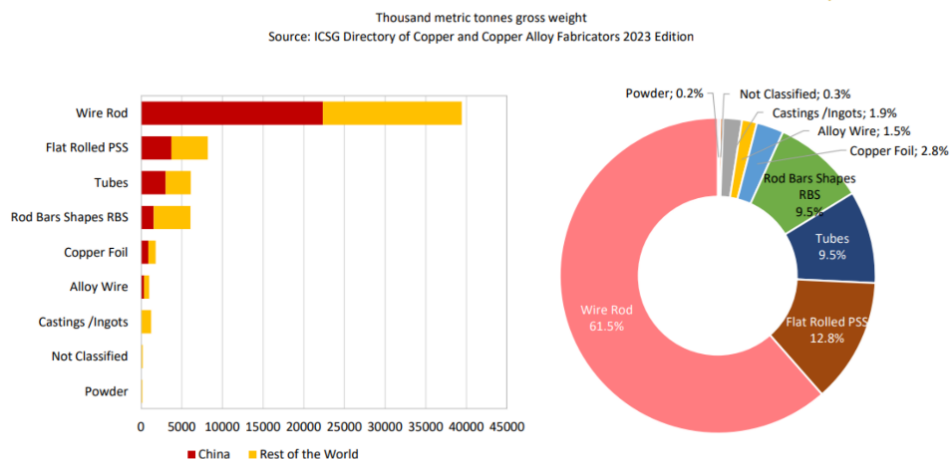


Fonte: Copper Factbook (2023).

A quantidade de cobre fundido produzido mundialmente em 2022 foi de 21.5 milhões de toneladas, e cobre refinado foi de um total de 25.7 milhões de toneladas, incluindo aproximadamente 4.2 milhões provenientes de refinamento secundário (que utiliza principalmente sucata como material de fundição). A figura 6 ilustra a capacidade produtiva mundial em comparação à China e qual a relevância de cada tipo de semiprodutos, com destaque para hastes de fiação que representam mais de 60% dos tipos de semiprodutos fabricados.

Figura 6: Capacidade produtiva por região e produto

COPPER & COPPER-ALLOY SEMIS: PRODUCTION CAPACITY BY REGION & PRODUCT, 2022



Fonte: Copper Factbook (2023).

O principal processo de produção de cobre tem início na extração de minérios de cobre; há três maneiras de se extrair cobre, a céu aberto, mineração subterrânea, e de lixiviação, sendo a céu aberto o método predominante. Após minerado o minério é então esmagado e moído e passa por um processo de flotação, gerando concentrados de cobre com pureza de 30%; no processo de fundição os concentrados são transformados em um mate de pureza entre 50-70%, que é processado em um conversor resultando em um blister de cobre, de concentração de 98.5 a 99.5% de cobre; esse blister pode ser refinado a fogo, porém para chegar a uma concentração ainda maior, os blisters são fundidos novamente e moldados em ânodos que passam por refinamento elétrico, resultando em cátodos de concentração de 99.99% de cobre. Há também um processo alternativo por hidrometalurgia; nesse método, o cobre é obtido de minérios através de extração por solventes e eletrolítica (processo SX-EW) e tem o mesmo grau de pureza do método por refinamento elétrico; em 2022, a produção de cobre refinado utilizando essa via alternativa representou aproximadamente 19.6% do total produzido. A produção de cobre refinado proveniente de mineração (seja por processos metalúrgicos ou pelo processo SX-EW) é chamada de produção primária, porém a produção secundária também exerce grande importância na produção mundial, que provém de materiais reciclados, tanto de sucatas de produção quanto de materiais sucateados devido ao uso (ICSG, 2023).

A reciclagem do cobre tem início na separação de materiais descartados que são posteriormente selecionados e separados de outros materiais, e então o cobre é fundido e pode ser utilizado novamente; esse processo conserva recursos naturais além de ter um custo energético menor e emitir menos gases. Estima-se que em 2022 aproximadamente 32% do cobre utilizado proveio de fontes recicladas, mas ainda se mostra insuficiente para suprir a necessidade do mercado (CopperMetal, [s/d]; Cobresul, 2022).

2.3 UTILIZAÇÕES CONVENCIONAIS

Tradicionalmente, o cobre e suas ligas são utilizados em diversas áreas da indústria moderna. O cobre é usado principalmente em sua forma de metal puro, mas em aplicações que requerem uma maior resistência mecânica, utilizam-se as ligas de bronze e latão.

Por ser o melhor metal não-precioso utilizado como condutor elétrico devido à baixa resistência elétrica que possui, é aplicado como padrão de comparação com outros metais condutores; além da baixa resistência, também é o preferido devido à grande resistência à corrosão, além de ter boa resistência mecânica, o que o torna seguro para instalações comerciais e residenciais. Por conta de sua condutividade é amplamente utilizado em sistemas de geração

de energia renovável e geradores ou motores que necessitam de alta eficiência energética (ICSG, 2023).

Na área da informação e tecnologia, o cobre e suas ligas são utilizados para cabos de transmissão de dados de alta velocidade como linhas de internet e telefonia; em aparelhos celulares e computadores também são utilizados nos chips de silicone, conferindo uma capacidade de operação elevada aos processadores ao mesmo tempo que reduz o uso de energia, e também como dissipadores de calor acoplados aos mesmos processadores ou placas gráficas como é visto na figura 7, auxiliando a mantê-los operando com máxima eficácia; também pode ser utilizado em diversos componentes como cabos, conectores e transformadores (ICSG, 2023).

Figura 7: Microscopia de interconectores de um processador



Fonte: Copper interconnectors | IBM (2024).

Na área da construção civil, cobre e suas ligas, principalmente latão e bronze estrutural, são empregados em diversas aplicações, tanto para fins estéticos como fachadas, molduras de janelas e portas, e marquises, quanto para fins funcionais; em termos de funcionalidade, são empregados em tubulações pois não seriam suscetíveis a derretimento ou liberação de gases tóxicos em caso de incêndio, também utilizados em maçanetas para prevenir transmissão de bactérias e doenças. Ainda, são aplicados em coberturas de prédios e construções, pois além de ter um aspecto visual agradável quando esverdeado pela ação do tempo, confere boa proteção a intempéries; a figura 8 mostra um exemplo dessa aplicação arquitetônica (ICSG, 2023).

Figura 8: Catedral da Sé, São Paulo



Fonte: Wikipédia (2024).

Para maquinários e seus equipamentos, devido a suas grandes durabilidade, usinabilidade e maleabilidade com precisão, as ligas de cobre são ideais para confecção de engrenagens, rolamentos e pás de turbinas; são também empregados em trocadores de calor e vasos de pressão por conta da alta condução de calor e resistência a condições extremas, como demonstra a figura 9; e por fim, a capacidade de resistir a corrosão do cobre e suas ligas (latão, bronze e cuproníquel) é desejável para aplicações marítimas e ambientes corrosivos, como tubulações submersas, hélices de embarcações, estações de extração de petróleo e de produção de energia (ICSG, 2023).

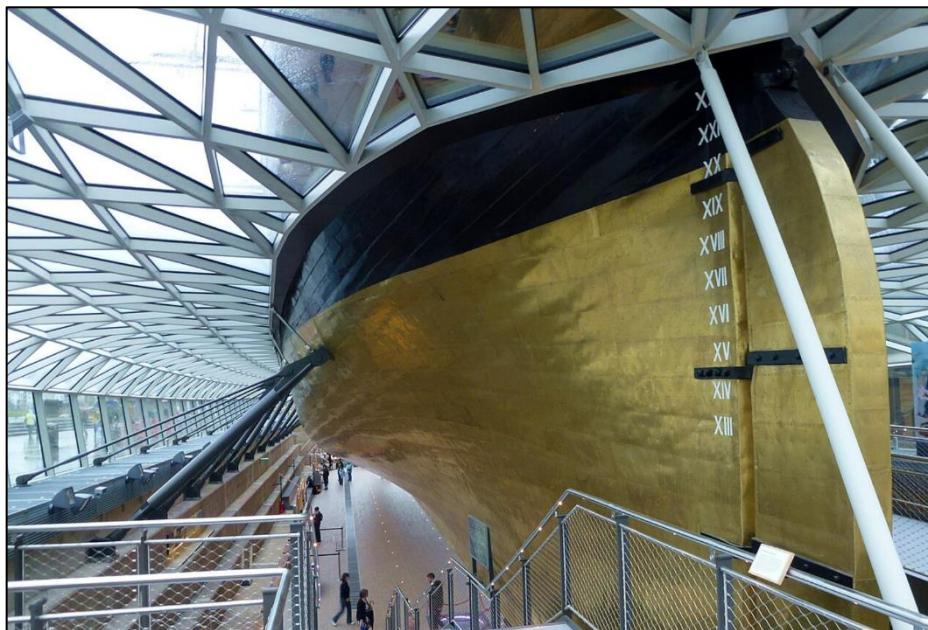
Figura 9: Trocador de Calor Casco Tubo



Fonte: Termo-tek (2024).

No transporte o cobre também desempenha papel importante. Para embarcações marítimas ligas de cuproníquel são utilizadas como revestimento para o casco como apresentado pela figura 10 adiante, a fim de diminuir a incidência de crustáceos que aumentam o arrasto na água e o consumo de combustível, conseqüentemente; também é utilizado para hélices de propulsores e outros componentes. Na automobilística o cobre é utilizado na confecção de motores (um motor a combustão possui, em média, 22kg de cobre), radiadores, conectores, fios e rolamentos; no caso de carros elétricos o cobre e suas ligas são ainda mais requisitados pois são importantes nos carregadores e baterias, e com o aumento da demanda de carros elétricos no futuro, a quantidade de cobre necessária aumentará. Trens e aviões também utilizam cobre em seus equipamentos e peças, principalmente os modelos mais modernos e trens de alta velocidade que necessitam de alta condutividade elétrica (ICSG, 2023).

Figura 10: Revestimento do navio Cutty Sark



Fonte: Wikipedia (2024).

Em áreas menos tradicionais o cobre também vem sendo utilizado com maior frequência: na medicina e em estruturas de grande utilização do público está sendo utilizado para substituir tampos de macas e bancadas e corrimões devido às suas características antimicrobianas, como demonstra a; aquaculturas marítimas de rede e cercados utilizam cobre como alternativa para a piscicultura perto das costas; o uso de dispositivos baseados em cobre pode ser utilizado para controlar dano a prédios e estruturas afetados por abalos sísmicos (ICSG, 2023).

Figura 11: Corrimão e guichês revestidos em cobre no Aeroporto de Congonhas



Fonte: ABCobre (2024).

2.4 LIGAS DE COBRE MAIS UTILIZADAS

As ligas de cobre mais comuns são os latões, que possuem o zinco como principal elemento de liga, com alguns exemplos destacados no quadro 4; pelo diagrama de fases cobre-zinco é possível observar que a fase α é a mais estável, com até 35% de zinco, que tem estrutura cristalina no formato cúbico de face centrada e é relativamente mais macio, dúctil e facilmente trabalhada a frio, e latões com maior teor de zinco possuem tanto fase α quanto fase β , que possui estrutura no formato cúbico de corpo centrado e é mais dura e resistente que a fase α , portanto essas ligas são mais trabalhadas a quente. Dos latões, dois dos mais utilizados são: latão para cartuchos C26000, com 30% de concentração de zinco e podendo ser recozida ou trabalhada a frio, utilizada para radiadores automotivos, cartuchos de munição, placas e bocais de luminárias; e latão amarelo com chumbo C85400, com 29% de zinco, 3% de chumbo e 1% de estanho e condição de trabalho bruta de fundição, utilizada para peças de mobília, conexões de radiadores e grampos de baterias (Callister, 2018).

Quadro 4: Produtos comuns de latão (editada)

Denominação	Liga ASTM/UNS	Formato	Características	Aplicações
Latão Tomback 90/10	C22000	Bobinas Chapas Tiras	Excelente conformabilidade a frio e boa conformabilidade a quente. Excelente soldabilidade e brasagem.	Bijuterias em geral, decoração ornamental, artigos esmaltados, cartuchos para munição.
Latão Cartucho 70/30	C26000	Bobinas Chapas Tiras Tubos	Excelente conformabilidade a frio e razoável conformabilidade a quente. Excelente soldabilidade e brasagem.	Tubos para radiadores, instrumentos musicais, rebites, parafusos, refletores, soquetes, botões de pressão, zippers, dobradiças, cartuchos para munição, metais sanitários.
Latão Fio Máquina 67/33	C26800	Bobinas Chapas Tiras Barras Retangulares	Excelente conformabilidade a frio e razoável conformabilidade a quente. Excelente soldabilidade e brasagem.	Refletores, soquetes para lâmpadas, ilhoses, dobradiças, fechaduras, componentes obtidos por embutimento profundo e repuxo, aletas, rebites, pinos, parafusos, molas
Latão Almirantado (Fosforoso)	C44500	Tubos	Boa conformabilidade a frio e razoável conformabilidade a quente. Excelente soldabilidade e brasagem.	Condensadores, evaporadores, trocadores de calor, tubos para água salgada.
Latão Naval	C46500	Laminados	Ruim conformabilidade a frio e excelente conformabilidade a quente. Excelente soldabilidade e boa brasagem.	Componentes para equipamentos marítimos, hélices, espelhos para condensadores e trocadores de calor.

Fonte: Gilena Aços e Metais (2023).

Há também grande utilização de bronzes, ligas de cobre com outros elementos de liga que incluem estanho, alumínio, níquel; o quadro 5 destaca alguns exemplos. São mais resistentes à tração e mantêm a resistência à corrosão característica. Ligas comumente utilizadas de bronze são: bronze fosforoso C51000, com 5% de estanho e 0.2% de fósforo e pode ser obtida por recozimento ou trabalhada a frio, utilizada para discos de embreagens, molas, eletrodos de solda, grampos de fusíveis; bronze ao estanho C90500, com 10% de estanho e 2% de zinco, obtida diretamente de fundição e usada para aplicações como mancais, anéis de pistão, conexões a vapor; e bronze ao alumínio, com 11% de alumínio e 4% de ferro, bruto de fundição e empregada em mancais, engrenagens, roscas, buchas (Callister, 2018).

Quadro 5: Produtos comuns de bronze (editada)

Denominação	Liga ASTM/UNS	Formato	Características	Aplicações
Bronze Fosforoso	C51000	Bobinas Chapas Tiras	Excelente conformabilidade a frio e limitada conformabilidade a quente. Excelente soldabilidade e brasagem.	Hélices de agitadores, foles, discos de fricção, chavetas, diafragmas, porcas e rebites, arruelas de pressão, componentes para indústrias Químicas, Têxtil e de Papel. Molas, contatos, peças para interruptores, porta-fusíveis.
Bronze Fosforoso	C51100	Bobinas Chapas Tiras	Excelente conformabilidade a frio e ruim conformabilidade a quente. Excelente soldabilidade e brasagem.	Sinos, discos de embreagem, chavetas, conectores, diafragmas, tirantes, molas, partes de interruptores, terminais.
Bronze Fosforoso	C52100	Bobinas Chapas Tiras	Boa conformabilidade a frio e ruim conformabilidade a quente. Excelente soldabilidade e brasagem.	Hélices de agitadores, foles, discos de fricção, chavetas, diafragmas, porcas e rebites, arruelas de pressão, componentes para indústrias Químicas, Têxtil e de Papel. Molas, contatos, peças para interruptores, porta-fusíveis.
Bronze SAE 65 Bronze Bz 12 Bronze Bz 14 CuSn	C90700 C90800 C91000	Buchas Tarugos Barras Retangulares	Dureza tenaz com boa resistência ao desgaste, à corrosão e à fadiga superficial. Permite trabalhar com cargas específicas elevadas. Importante estarem bem lubrificadas.	Engrenagens, buchas, mancais, coroas, guias deslizantes, anéis de pistão.
Bronze SAE 68-A Bronze SAE 68-B Bronze SAE CA-624 Bronze SAE CA-630 Bronze SAE CA-954 Bronze SAE CA-955 CuAl	C95200 C95300 C62400 C63000 C95400 C95500	Buchas Tarugos Barras Retangulares	Excelentes propriedades mecânicas. Resistente à vibrações, desgaste, corrosão e cavitação. Tratáveis termicamente, exigem boa lubrificação.	Mancais deslizantes com cargas e choques extremamente altos, coroas altamente solicitadas, buchas, engrenagens, assento e sede de válvulas, guias, pinhões, anéis, sapatas, peças para agitadores e ferramentas anti-faiscantes.
Bronze SAE 430-A Bronze SAE 430-B Bronze SAE 43 CuZnAlMn	C86200 C86300 C86500	Buchas Tarugos Barras Retangulares	Excelente Resistência à Corrosão e excelentes propriedades de suportar cargas estáticas extremamente altas e em baixas velocidades.	Indicadas para mancais e coroas muito solicitadas e componentes internos de válvulas de alta pressão, buchas, porcas para prensas, peças para cilindros hidráulicos, componentes de pontes rolantes, suportes de alta resistência.

Fonte: Gilena Aços e Metais (2023).

2.5 EMPRESAS BRASILEIRAS QUE UTILIZAM COBRE

No mercado brasileiro, o cobre é amplamente utilizado, seja para fins semimanufaturados (uso industrial) ou para consumo final. A Paranapanema e suas submarcas, Caraíba e Eluma, atuaM na fundição e refino de cobre primário e na produção de semimanufaturados; a Paranapanema produz principalmente coprodutos (ácido sulfúrico, escória granulada e oleum), Caraíba produz cátodos, vergalhões, e fios e trefilados, e a Eluma produz laminados, tubos retos e flexíveis (panquecas, bobinas e outros formatos), barras e arames, conexões e billets (Paranapanema, [s/d]).

A Termomecânica é uma importante produtora de semimanufaturados e de consumo final, possuindo uma alta diversidade de produtos; a empresa produz principalmente barras, vergalhões, perfis, laminados, fios, tubos para aplicações estruturais e térmicas, e anodos, lingotes e granalhas para serem utilizados para fins diversos (Termomecânica, [s/d]).

Cecal é uma empresa brasileira com foco em produzir componentes para o setor industrial; entre seus produtos, destacam-se peças refrigeradas para indústrias siderúrgica e de

refinamento, peças fundidas, componentes de transmissão de energia, cátodos para refinamento eletrolítico, componentes bimetálicos e peças sob desenho (Cecal, [s/d]).

Brutt Brasil é a maior fabricante de pó de cobre eletrolítico da América Latina, material de ampla utilização para compor outras ligas metálicas, além de matéria prima para discos diamantados e materiais de fricção (Brutt, [s/d]).

TermoTek é uma empresa brasileira que atua no setor de trocadores de calor, inicialmente focada em trocadores de calor para secadores; atualmente, possui em seu catálogo, além de trocadores de calor especiais, radiadores industriais, serpentinas e casco tubos (TermoTek, [s/d]).

A empresa brasileira CBC atua no ramo bélico nacional, seja defesa, segurança, esporte ou lazer, sendo a única fabricante nacional de munições e responsável por colocar o país na segunda posição de exportação de munições da América; em se tratando de cobre e suas ligas, a empresa tem como principal produto cartuchos para munições de diferentes calibres, além de outros componentes para armamentos (CBC, [s/d]).

3 PESQUISAS CIENTÍFICAS VOLTADAS PARA O COBRE

O uso de cobre não está restrito apenas aos usos convencionais já citados anteriormente; com os avanços tecnológicos dos últimos tempos cresceram também as pesquisas relacionadas a distintos usos de cobre e materiais baseados em cobre, seja na área da biomedicina, engenharia, ambiental ou outras áreas. A seguir serão destacados alguns desses estudos

De acordo com o artigo “Copper-based biomaterials for bone and cartilage tissue engineering”, o cobre possui importante papel na manutenção do volume ósseo e na taxa de regeneração desse tecido, além de afetar processos fisiológicos como reações enzimáticas, defesa antioxidante e funções da imunidade corporal. Nesse artigo, diversos biomateriais foram feitos utilizando cobre na forma de íons livres, nanopartículas, óxidos e algumas ligas com a finalidade de auxiliar a regeneração tecidual de ossos e cartilagens, e na angiogênese (formação de novos vasos sanguíneos) quando ocorre algum trauma; o cobre foi utilizado para compor esses materiais, chamados de arcabouços, por proporcionar características desejáveis aos mesmos como distribuição uniforme dos poros, melhores propriedades mecânicas ligadas à rigidez e elasticidade e aumento da taxa de biodegradação, além de ser na produção de células ósseas e cartilaginosas (Wang, Zhang, Wao, 2021).

O artigo “Micro and nanostructured copper films in mechanical engineering” trata sobre como diferentes temperaturas de tratamento térmico juntamente com métodos distintos de deposição de cobre (com e sem eletrodeposição) afetam o tamanho de grão e a condução elétrica de filmes e revestimentos de cobre e, conseqüentemente, propriedades mecânicas de tração e cisalhamento (Khazin, Apakashev, 2019).

O estudo publicado no artigo “Preparation of Superhydrophobic Copper Mesh for Highly Efficient Oil-Water Separation” teve como finalidade desenvolver métodos para criar uma malha de cobre que pudesse ser utilizada para fazer a separação de óleo contaminando amostras de água. A proposta dessa pesquisa foi desenvolver uma malha de cobre com eletrodeposição de micro e nanoestruturas hidrofóbicas que pudessem substituir os métodos utilizados atualmente, que têm um alto consumo dos produtos utilizados porém tem uma baixa taxa de reusabilidade. Uma mistura de cloreto de colina e etileno glicol adicionada a cloreto de cobre foi utilizada como eletrólito para eletrodeposição em uma malha de cobre, que conferiu à mesma uma diminuição na molhabilidade da malha diretamente proporcional à voltagem utilizada; com isso, obtiveram uma eficiência na separação de misturas de óleo-água de até 95%

e uma taxa de reusabilidade, mantendo uma eficiência superior à 90% após sucessivas reciclagens (Jie, Wenheng, Kun, 2023).

“Unlocking the potential of sub-nanometer-scale copper via confinement engineering: A remarkable approach for electrochemical nitrate-to-ammonia conversion in wastewater treatment” é um estudo que buscou desenvolver métodos para transformar o nitrato presente em água industrial em amônia através de reações de redução eletroquímica do nitrato, criando assim uma solução alternativa ao processo Haber-Bosch (síntese de amoníaco) que possui uma alta demanda energética e libera gases de efeito estufa (Liu et al, 2023).

4 CONCLUSÕES SOBRE USO ATUAL E UTILIZAÇÕES FUTURAS

Com o conhecimento adquirido ao longo do desenvolvimento desse estudo, pode-se constatar que o cobre e suas diversas ligas possuem uma ampla gama de aplicações devidas às suas diversas características químicas, físicas e mecânicas que são proveitosas para finalidades específicas, aplicações essas advindas desde a antiguidade até o último século, seja na área de engenharia, arquitetura, design ou saúde, porém com os avanços tecnológicos das últimas décadas e o aprofundamento de técnicas que permitem desenvolver pesquisas no campo micro e nano, as possibilidades de novas utilizações do cobre continuam sendo descobertas e criadas de modo a melhorar as áreas já citadas além de outras aplicações inéditas; conseqüentemente, o uso de matéria-prima tende a aumentar, e ainda que o planeta disponha de uma vasta quantidade de minérios que podem ser explorados conforme a necessidade aumentar, técnicas de reciclagem devem ser empregadas e aprimoradas e seu uso incentivado a fim de diminuir o impacto energético e ambiental que a produção de cobre possui no planeta.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COBRE. Antimicrobiano. **ACOBRE**, São Paulo, [s/d]. Disponível em: <https://abcobre.org.br/aplicacao-cobre-antimicrobiano>. Acesso em: 29 mar. 2024.

ARAÚJO, Laysa. Cobre. **Manual da química**, Goiânia, [s.d.]. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/cobre-cu.htm>. Acesso em: 02 dez. 2023.

BEZERRA, Eudes. Idade do cobre: Descoberta e impacto. **Incrível História**, [s.l.], 2023. Disponível em: <https://incrivelhistoria.com.br/idade-do-cobre-descoberta-impacto/>. Acesso em: 29 nov. 2023.

BRUTT BRASIL. Pó de cobre letrolítico: Referência na América Latina. **Brutt**, Cachoeirinha, [s/d]. Disponível em: <https://www.brutt.com.br/po-de-cobre-eletrolitico>. Acesso em: 28 mar. 2024.

CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

CARTWRIGHT, Mark. Copper in antiquity. **World history encyclopedia**, Horsham, 2017. Disponível em: <https://www.worldhistory.org/copper/>. Acesso em: 29 nov. 2023.

CATEDRAL Metropolitana de São Paulo. **Wikipédia: a enciclopédia livre**, São Francisco, [2016]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Catedral_Metropolitana_de_S%C3%A3o_Paulo#. Acesso em: 29 mar. 2024.

CBC. [s/d]. Disponível em: <https://www.cbc.com.br/>. Acesso em 28 mar. 2024.

CECAL. Produtos. **Cecal**, Lorena, [s.d.]. Disponível em: <https://www.cecalgroup.com/pt/produtos.php>. Acesso em: 28 mar. 2024

COBRESUL. **17 de maio**: Dia internacional da reciclagem, Cobresul, Joinville, 2022. Disponível em: <https://www.cobresul.com.br/blog/17-de-maio-dia-internacional-dareciclagem>. Acesso em: 30 dez. 2023.

COPPER sheathing. **Wikipédia: a enciclopédia livre**, São Francisco, [2016]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Copper_sheathing. Acesso em: 29 mar. 2024.

COPPERMETAL. **Tudo sobre a reciclagem do cobre**, Capela do Socorro, [s.d.]. Disponível em: <https://www.coppermetal.com.br/blog/reciclagem-do-cobre>. Acesso em: 30 dez. 2023.

GILENA AÇOS E METAIS. Aços e metais, **Gilena Aços e Metais**, São Paulo, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gilena.com.br/index.php>. Acesso em: 29 mar. 2024.

IBM. Copper interconnects, **IBM**, New York, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ibm.com/history/copper-interconnects>. Acesso em: 29 mar. 2024.

INTERNATIONAL COPPER STUDY GROUP. Copper Factbook. **International Copper Study Group**, Lisboa, 2023. E-book. Disponível em: <https://icsg.org/copper-factbook/>. Acesso em: 28 dez. 2023.

INVISIBLE connections of the copper from ancient Egypt and Nubia. **The archaeopress blog**, Oxford, 2021. Disponível em: <https://www.archaeopress.wordpress.com/tag/university-ofleipzig/>. Acesso em: 30 dez. 2023.

JIE, Pan; LEILEI, Yu; WENHENG, Huang; KUN, Cao. Preparation of superhydrophobic copper mesh for highly efficient oil-water separation. **International journal of electrochemical science**, Sérvia, v. 19, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.100417>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1452398123198713?via%3Dihub>. Acesso em: 23 nov. 2023.

KHAZIN, Mark L.; APAKASHEV, Rafail A. Micro and nanostructured copper films in mechanical engineering. **Materials today: proceedings**, Reino Unido, v. 19, parte 5, p. 2529-2531, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.182>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785319331712?via%3Dihub>. Acesso em 23 nov. 2023.

KISS, Teresa. Idade do cobre: Inventos, culturas, características e final. **Enciclopédia humanidades**, Buenos Aires 2023. Disponível em: <https://humanidades.com/br/idade-docobre/>. Acesso em: 29 nov. 2023.

LIU, Yuelong; CHEN, Mengshan; ZHAO, Xue; ZHANG, Haoran; ZHAO, Yan; ZHOU, Yingtang. Unlocking the potential of sub-nanometer-scale copper via confinement engineering: a remarkable approach to electrochemical nitrate-to-ammonia conversion in wastewater treatment. **Chemical engineering journal**, Lausanne, v. 475, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146176>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894723049070?via%3Dihub>. Acesso em 23 nov. 2023.

MAGALHÃES, Lana. Cobre. **Toda matéria**, [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/cobre/>. Acesso em 02 dez. 2023.

MATERIAL PROPERTIES. Cobre - propriedades - preço - aplicações – produção, **Material properties**, [s.l.], [s. d.]. Disponível em: <https://material-properties.org/pt-br/cobrepropriedades-preco-aplicacoes-producao/>. Acesso em: 28 dez. 2023.

PARANAPANEMA. Catálogos. **Paranapanema**, Santo André, [s. d.]. Disponível em: <https://www.paranapanema.com.br/catalogos/>. Acesso em: 28 mar. 2024.

REDWING, Ronald. Egyptian Copper Smelting Process. **Pennsylvania State University**, Pensilvânia, [s. d.]. Disponível em: <https://www.e-education.psu.edu/matse81/node/2126>. Acesso em: 29 nov. 2023.

TABELAS de medidas, pesos e informações técnicas. **Shockmetais**, São Paulo, [s. d.]. Disponível em: <https://www.shockmetais.com.br/tabelas/>. Acesso em: 28 nov. 2023.

TERMOMECANICA. Produtos. **Termomecanica**, São Paulo, [s. d.]. Disponível em: <https://www.termomecanica.com.br/produtos>. Acesso em: 28 mar. 2024.

TERMO-TEK. **Produtos.Termo tek**, Araçariguama, [s. d.]. Disponível em: <https://www.termotek.com.br/produtos>. Acesso em: 28 mar. 2024.

WANG, Yufeng; ZHANG, Wei; YAO, Qingqiang. Copper-based biomaterials for bone and cartilage tissue engineering. **Journal of orthopaedic translation**, Amsterdam, v. 29, p. 60-71, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jot.2021.03.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214031X2100019X?via%3Dihub>. Acesso em: 23 nov. 2023.