

TÉCNICO EM MINERAÇÃO



MÓDULO I QUÍMICA APLICADA À MINERAÇÃO



2025 - INEPROTEC

Diretor Pedagógico	EDILVO DE SOUSA SANTOS
Diagramação	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Capa	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Elaboração	INEPROTEC

Direitos Autorais: É proibida a reprodução parcial ou total desta publicação, por qualquer forma ou meio, sem a prévia autorização do INEPROTEC, com exceção do teor das questões de concursos públicos que, por serem atos oficiais, não são protegidas como Direitos Autorais, na forma do Artigo 8º, IV, da Lei 9.610/1998. Referida vedação se estende às características gráficas da obra e sua editoração. A punição para a violação dos Direitos Autorais é crime previsto no Artigo 184 do Código Penal e as sanções civis às violações dos Direitos Autorais estão previstas nos Artigos 101 a 110 da Lei 9.610/1998.

Atualizações: A presente obra pode apresentar atualizações futuras. Esforçamo-nos ao máximo para entregar ao leitor uma obra com a melhor qualidade possível e sem erros técnicos ou de conteúdo. No entanto, nem sempre isso ocorre, seja por motivo de alteração de software, interpretação ou falhas de diagramação e revisão. Sendo assim, disponibilizamos em nosso site a seção mencionada (Atualizações), na qual relataremos, com a devida correção, os erros encontrados na obra e sua versão disponível. Solicitamos, outros sim, que o leitor faça a gentileza de colaborar com a perfeição da obra, comunicando eventual erro encontrado por meio de mensagem para contato@ineprotec.com.br.

VERSÃO 2.0 (01.2025)

Todos os direitos reservados à
Ineprotec - Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico Eireli
Quadra 101, Conjunto: 02, Lote: 01 - Sobreloja
Recanto das Emas - CEP: 72.600-102 - Brasília/DF
E-mail: contato@ineprotec.com.br
www.ineprotec.com.br

Sumário

ABERTURA	07
SOBRE A INSTITUIÇÃO	07
• Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente	07
• Missão	07
• Visão	07
• Valores	07
SOBRE O CURSO	07
• Perfil profissional de conclusão e suas habilidades	08
• Quesitos fundamentais para atuação	08
• Campo de atuação	09
• Sugestões para Especialização Técnica	09
• Sugestões para Cursos de Graduação	09
SOBRE O MATERIAL	10
• Divisão do Conteúdo	10
• Boxes	10
BASE TEÓRICA	12
INTRODUÇÃO	12
ÁTOMO, ELEMENTO, MISTURAS E COMPOSTOS	13
• O Átomo e os Modelos Atômicos	13
✓ Modelo de Dalton (1803)	13
✓ Modelo de Thomson (1897)	14
✓ Modelo Atômico de Rutherford (1911)	14
✓ Modelo Atômico de Bohr (1913)	15
✓ Modelo da Mecânica Quântica (1926)	17
• Definição de Elemento Químico	17
• Definição, Classificação e Métodos de Separação de Misturas	18
✓ Filtração	19
✓ Decantação	19

✓ Centrifugação	20
✓ Separação Magnética	20
✓ Flotação	20
✓ Sublimação	20
✓ Destilação	21
✓ Trituração e Moagem	21
✓ Levitação	21
• O que são Compostos?	21

PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS MINERAIS

• Composição Atômica e Estrutura dos Minerais	22
• Classificação de Minerais	23
✓ Minerais Metálicos	23
✓ Minerais Não Metálicos	23
✓ Misturas de Minerais	23
• Compostos Químicos em Minérios	24
✓ Óxidos	24
✓ Sulfetos	24
✓ Carbonatos	25
✓ Silicatos	25
• Interações Químicas em Misturas de Minerais	25
✓ Solubilidade de Minerais	25
✓ Formação de Compostos em Soluções	26

TABELA PERIÓDICA

• Propriedades periódicas	28
✓ Eletronegatividade	29
✓ Raio Atômico	30
✓ Energia de Ionização	31
✓ Afinidade Eletrônica	32
✓ Caráter Metálico	32
• Elementos Metálicos e Não Metálicos na Mineração	33

✓ Metais de Transição	33
✓ Gases Diatômicos	34
• Comportamento Químico dos Elementos Usados na Mineração	34
✓ Metais Alcalinos	34
✓ Metais Alcalino-Terrosos	35
✓ Elementos de Terras Raras	35
LIGAÇÕES QUÍMICAS	35
• Ligações em Minerais	36
✓ Ligações Iônicas	36
✓ Ligações Covalentes	37
✓ Impacto nas Propriedades Físico-Químicas	37
• Forças Intermoleculares	37
✓ Pontes de Hidrogênio	38
✓ Forças de Van der Waals	38
• Química das Superfícies Minerais	39
✓ Adsorção	39
✓ Interações Químicas entre Partículas Minerais e Reagentes	39
• Química da Corrosão	40
✓ Reações de Corrosão	40
COMPOSTOS QUÍMICOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS	41
• Química dos Reagentes Utilizados na Mineração	41
• Explosivos e Reatividade Química	42
• Química da Água em Processos de Mineração	42
ANÁLISE QUÍMICA	42
• Métodos Modernos de Análise	42
• Controle de Qualidade e Ensaio de Lixiviação	43
QUÍMICA E MEIO AMBIENTE	43
• Impactos de Rejeitos e Drenagem Ácida de Minas	43
• Tratamento de Efluentes e Biorremediação	44
• Sustentabilidade Química na Mineração	44
SESSÕES ESPECIAIS	48

MAPA DE ESTUDO	48
SÍNTESE DIRETA	48
MOMENTO QUIZ	50
GABARITO DO QUIZ	52
REFERÊNCIAS	52

MÓDULO I

**QUÍMICA APLICADA
À MINERAÇÃO**

Abertura

SOBRE A INSTITUIÇÃO

Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente

O Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico (INEPROTEC) é uma instituição de ensino que valoriza o poder da educação e seu potencial de transformação.

Nascemos da missão de levar educação de qualidade para realmente impactar a vida dos nossos alunos. Acreditamos muito que a educação é a chave para a mudança.

Nosso propósito parte do princípio de que a educação transforma vidas. Por isso, nossa base é a inovação que, aliada à educação, resulta na formação de alunos de grande expressividade e impacto para a sociedade. Aqui no INEPROTEC, o casamento entre tecnologia, didática e interatividade é realmente levado a sério e todos os dias otimizado para constante e contínua evolução.

Missão

A nossa missão é ser símbolo de qualidade, ser referência na área educacional presencial e a distância, oferecendo e proporcionando o acesso e permanência a cursos técnicos, desenvolvendo e potencializando o talento dos estudantes, tornando-os, assim, profissionais de sucesso e cidadãos responsáveis e capazes de atuar como agentes de mudança na sociedade.

Visão

O INEPROTEC visa ser um instituto de ensino profissionalizante e técnico com reconhecimento nacional, comprometido com a qualidade e excelência de seus cursos, traçando pontes para oportunidades de sucesso, tornando-se, assim, objeto de desejo para os estudantes.

Valores

Ciente das qualificações exigidas pelo mercado de trabalho, o INEPROTEC tem uma visão que prioriza a valorização de cursos essenciais e pouco ofertados para profissionais que buscam sempre a atualização e especialização em sua área de atuação.

SOBRE O CURSO

O curso TÉCNICO EM MINERAÇÃO pertence ao Eixo Tecnológico de RECURSOS NATURAIS. Vejamos algumas informações importantes sobre o curso TÉCNICO EM MINERAÇÃO relacionadas ao **perfil profissional de conclusão e suas habilidades**,

quesitos fundamentais para atuação, campo de atuação e, também, algumas sugestões interessantes para continuação dos estudos optando por **Especializações Técnicas** e/ou **Cursos de Graduação**.

Perfil profissional de conclusão e suas habilidades

- Realizar atividades de prospecção, avaliação técnica e econômica, planejamento, extração e produção referentes aos recursos naturais.
- Prestar assistência técnica e assessoria ao estudo e ao desenvolvimento de projetos e pesquisas tecnológicas, ou aos trabalhos de vistoria, perícia, arbitramento e consultoria.
- Elaborar orçamentos, laudos, pareceres, relatórios e projetos, inclusive de incorporação de novas tecnologias.
- Realizar levantamento topográfico, sensoriamento remoto e geoprocessamento, conforme sua formação profissional.
- Auxiliar na caracterização de minérios sob os aspectos físico-químico, mineralógico e granulométrico.
- Executar projetos de desmonte, transporte e carregamento de minérios.
- Monitorar a estabilidade de rochas em minas subterrâneas e a céu aberto.
- Auxiliar no mapeamento geológico e amostragem em superfície e subsolo.
- Supervisionar, coordenar e operar equipamentos de fragmentação, de separação mineral, separação sólido/líquido, hidrometalúrgicos e de secagem.
- Supervisionar, coordenar e operar equipamentos de extração mineral, sondagem, perfuração, amostragem e transporte.
- Orientar e coordenar a execução de serviços de manutenção de equipamentos.
- Prestar assistência técnica na compra, venda e utilização de equipamentos especializados.

Quesitos fundamentais para atuação

- Conhecimentos e saberes relacionados aos recursos minerais e à proteção ambiental.
- Atualização em relação às inovações tecnológicas.
- Cooperação de forma construtiva e colaborativa nos trabalhos em equipe e tomada de decisões.
- Adoção de senso investigativo, visão sistêmica das atividades e processos, capacidade de comunicação e argumentação, autonomia, proatividade, liderança,

respeito às diversidades nos grupos de trabalho, resiliência frente aos problemas, organização, responsabilidade, visão crítica, humanística, ética e consciência em relação ao impacto de sua atuação profissional na sociedade e no ambiente.

Campo de atuação

- Empresas públicas e privadas que atuam no desenvolvimento de soluções tecnológicas para exploração de recursos minerais.
- Instituições de assistência técnica, pesquisa, análise e experimentação.
- Empresas de consultoria.
- Empresas de mineração e de petróleo.
- Empresas de equipamentos de mineração.
- Centros de pesquisa em mineração.

Sugestões para Especialização Técnica

- Especialização Técnica em Mineralogia e Petrografia.
- Especialização Técnica em Caracterização Mineralógica.
- Especialização Técnica em Beneficiamento de Rochas Ornamentais.
- Especialização Técnica em Gestão Operacional de Produção com Enfoque na Mineração.
- Especialização Técnica em Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais.
- Especialização Técnica em Pesquisa Mineral.
- Especialização Técnica em Topografia de Mineração.
- Especialização Técnica em Tratamento de Minérios.

Sugestões para Cursos de Graduação

- Curso Superior de Tecnologia em Agrimensura.
- Curso Superior de Tecnologia em Estradas.
- Curso Superior de Tecnologia em Beneficiamento de Minérios.
- Curso Superior de Tecnologia em Exploração de Recursos Minerais.
- Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.
- Curso Superior de Tecnologia em Mineração.
- Curso Superior de Tecnologia em Petróleo e Gás.
- Curso Superior de Tecnologia em Produção Joalheira.
- Curso Superior de Tecnologia em Rochas Ornamentais.
- Bacharelado em Agrimensura.

- Bacharelado em Engenharia de Minas.
- Bacharelado em Engenharia Geológica.
- Bacharelado em Geologia.
- Licenciatura em Química.

SOBRE O MATERIAL

Os nossos materiais de estudos são elaborados pensando no perfil de nossos cursistas, contendo uma estruturação simples e clara, possibilitando uma leitura dinâmica e com volume de informações e conteúdos considerados básicos, mas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de cada disciplina. Lembrando que nossas apostilas não são os únicos meios de estudo.

Elas, juntamente com as videoaulas e outras mídias complementares, compõem os vários recursos midiáticos que são disponibilizados por nossa Instituição, a fim de proporcionar subsídios suficientes a todos no processo de ensino-aprendizagem durante o curso.

Divisão do Conteúdo

Este material está estruturado em três partes:

- 1) ABERTURA.
- 2) BASE TEÓRICA.
- 3) SESSÕES ESPECIAIS.

Parte 1 - ABERTURA

- Sobre a Instituição.
- Sobre o Curso.
- Sobre o Material.

Parte 2 – BASE TEÓRICA

- Conceitos.
- Observações.
- Exemplos.

Parte 3 – SESSÕES ESPECIAIS

- Mapa de Estudo.
- Síntese Direta.
- Momento Quiz.

Boxes

Além dessas três partes, no desenvolvimento da BASE TEÓRICA, temos alguns BOXES interessantes, com intuito de tornar a leitura mais agradável, mesclando um estudo mais profundo e teórico com pausas pontuais atrativas, deixando a leitura do todo “mais leve” e interativa.

Os BOXES são:

- VOCÊ SABIA?



São informações complementares contextualizadas com a base teórica, contendo curiosidades que despertam a imaginação e incentivam a pesquisa.

- PAUSA PARA REFLETIR...



Um momento especial para descansar a mente do estudo teórico, conduzindo o cursista a levar seus pensamentos para uma frase, mensagem ou indagação subjetiva que leve a uma reflexão pessoal e motivacional para o seu cotidiano.

- SE LIGA NA CHARADA!



Se trata de um momento descontraído da leitura, com a apresentação de enigmas e indagações divertidas que favorecem não só a interação, mas também o pensamento e raciocínio lógico, podendo ser visto como um desafio para o leitor.

Base Teórica

INTRODUÇÃO

A mineração é uma das atividades mais antigas da humanidade, sendo responsável pela extração de recursos naturais essenciais para o desenvolvimento econômico, tecnológico e social. No entanto, por trás da simples extração de minérios, há um vasto conjunto de processos químicos que tornam a mineração uma disciplina científica complexa e fascinante. A compreensão desses processos químicos é fundamental não apenas para melhorar a eficiência e a sustentabilidade das atividades mineradoras, mas também para minimizar os impactos ambientais e maximizar o uso de recursos.

Nesta apostila, iremos explorar diversos aspectos da **química aplicada à mineração**, conectando os fundamentos da Química com as práticas industriais da mineração. A **Química**, enquanto ciência central, oferece as ferramentas para entender como os elementos químicos se comportam no ambiente mineral, como interagem nas reações de extração, purificação e transformação dos minérios, e como os compostos químicos gerados durante esses processos afetam o meio ambiente e os materiais extraídos.

O estudo começa pelos conceitos básicos de **átomos, elementos, misturas e compostos**, fundamentais para entender a constituição dos minerais, os tipos de materiais extraídos e as reações que podem ocorrer durante o processamento mineral. Passaremos então a uma análise mais aprofundada sobre a **tabela periódica e as propriedades dos elementos**, com foco nas características dos elementos mais relevantes para a mineração, como os metais de transição, e suas propriedades que influenciam diretamente os processos de extração.

Outro ponto central é o estudo das **ligações químicas**, que explica como os átomos se combinam para formar compostos e minerais, e como as diferentes forças de interação podem afetar as propriedades físicas e químicas dos materiais envolvidos. Além disso, vamos abordar os **compostos químicos orgânicos e inorgânicos**, destacando sua relevância na indústria mineral, como no uso de reagentes para flotação ou no controle da corrosão de metais.

A análise química também desempenha um papel crucial na mineração, tanto na identificação dos minerais presentes quanto no controle da qualidade dos produtos finais. Por isso, discutiremos os principais **métodos de análise química** utilizados para monitorar e otimizar os processos de mineração.

Por fim, não podemos deixar de abordar a **química e o meio ambiente**, um tema de grande importância na mineração moderna. A crescente preocupação com a preservação ambiental exige que a mineração se torne cada vez mais sustentável. Veremos como a química pode ajudar a minimizar os impactos ambientais da mineração, como a poluição da água e do solo, e como os processos químicos podem ser aprimorados para reduzir esses danos.

Este material tem como objetivo proporcionar uma compreensão integrada e contextualizada da química, aplicada de maneira prática e eficaz à mineração. Ao longo dos tópicos, buscaremos não só apresentar os conceitos teóricos, mas também destacar sua aplicação real nos processos mineradores, fornecendo uma base sólida para que o estudante compreenda a interdependência entre a ciência e a indústria mineral.

ÁTOMO, ELEMENTO, MISTURAS E COMPOSTOS

A química é a ciência que estuda a matéria, suas transformações e as interações entre suas partes fundamentais: átomos e moléculas. Para entender o mundo químico, precisamos compreender alguns conceitos fundamentais como átomo, elemento, misturas e compostos. Esses conceitos são essenciais porque constituem a base para explicar tanto os fenômenos naturais quanto os processos tecnológicos, como aqueles aplicados na mineração.

O Átomo e os Modelos Atômicos

O átomo é a menor unidade de uma substância que ainda conserva suas propriedades, sendo composto por:

- ✓ Um **núcleo**, que contém prótons (partículas de carga positiva) e nêutrons (partículas sem carga);
- ✓ Uma **eletrosfera**, onde estão os elétrons (partículas de carga negativa) que orbitam ao redor do núcleo.

A história da química é marcada pelo desenvolvimento de modelos atômicos, que foram sendo aprimorados ao longo do tempo para explicar as propriedades e o comportamento do átomo.

Modelo de Dalton (1803)

Dalton propôs que o átomo fosse uma partícula maciça, indivisível e indestrutível, semelhante a uma pequena esfera. Esse modelo foi baseado na ideia de que átomos de

diferentes elementos têm massas distintas e podem se combinar em proporções fixas para formar compostos.



Figura 1: O modelo atômico de Dalton propunha o átomo como algo parecido com uma bola de bilhar.

Modelo de Thomson (1897)

Descobrindo o elétron, Thomson sugeriu que o átomo era uma "massa positiva" com elétrons incrustados, semelhante a um "pudim de passas". Esse modelo foi o primeiro a reconhecer a divisibilidade do átomo.

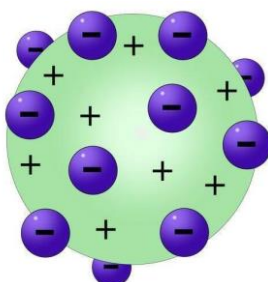


Figura 2: Modelo de Thomson.

Modelo Atômico de Rutherford (1911)

O modelo de Rutherford foi baseado em seu famoso experimento da lâmina de ouro, no qual ele bombardeou uma fina lâmina de ouro com partículas alfa (núcleos de hélio carregados positivamente). A maioria das partículas atravessou a lâmina, mas algumas foram desviadas em ângulos significativos, e algumas poucas até rebateram diretamente para trás. Essas observações levaram Rutherford a concluir que o átomo não era maciço e uniforme, como sugeria o modelo anterior de Thomson, mas possuía uma estrutura interna. Ele propôs que o átomo era composto por:

- ✓ **Núcleo:** uma pequena região central, muito densa, onde estava concentrada praticamente toda a massa do átomo, com carga positiva.
- ✓ **Região externa:** uma vasta área ao redor do núcleo, praticamente vazia, onde os elétrons, partículas leves e carregadas negativamente, se movimentavam.

Essa ideia de um átomo "quase vazio" foi revolucionária, pois sugeria que a maior parte do volume do átomo era espaço vazio, com os elétrons orbitando o núcleo, mas não explicava como esses elétrons permaneciam em órbita sem perder energia e colapsar no núcleo.

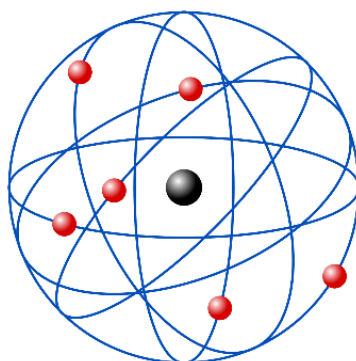


Figura 3: Modelo Atômico de Rutherford.

Modelo Atômico de Bohr (1913)

O modelo de Rutherford, embora avançado, apresentava um problema: segundo as leis do eletromagnetismo clássico, os elétrons em órbita ao redor do núcleo deveriam perder energia continuamente na forma de radiação eletromagnética e acabar colapsando no núcleo. Para resolver esse problema, Niels Bohr propôs um novo modelo, baseado em princípios da física quântica, no qual ele introduziu a ideia de níveis de energia quantizados para os elétrons.

Niels Bohr desenvolveu seu modelo atômico a partir de quatro postulados:

- 1) Os elétrons movem-se em órbitas circulares, chamadas de órbitas estacionárias, ao redor do núcleo atômico.
- 2) Cada órbita estacionária tem uma energia constante, ou seja, os elétrons não absorvem nem emitem energia ao descrevê-la.
- 3) Os elétrons só podem ocupar níveis com uma quantidade específica de energia, chamada de quantum.
- 4) Quando um elétron absorve energia, salta para uma órbita mais distante do núcleo.

Quando o elétron retorna à sua órbita original, libera a mesma quantidade de energia que absorveu. A liberação de energia é conhecida como fóton e ocorre na forma de luz visível ou de outro tipo de radiação eletromagnética.

Os níveis de energia, ou camadas eletrônicas, são designados pelas letras K, L, M, N, O, P, Q. Quanto mais longe do núcleo, maior é a energia dos elétrons localizados.

Principais características do modelo de Bohr:

- ✓ **Níveis de energia definidos:** Os elétrons só podem ocupar órbitas específicas ao redor do núcleo, chamadas de "níveis de energia". Cada nível corresponde a uma quantidade fixa de energia. Os elétrons não emitem energia enquanto permanecem em um nível.
- ✓ **Transições entre níveis:** Um elétron pode mudar de nível ao absorver ou emitir uma quantidade precisa de energia. Quando um elétron salta para um nível mais alto, ele absorve energia; ao retornar a um nível mais baixo, ele emite energia na forma de fótons (luz).
- ✓ **Estabilidade do átomo:** A introdução desses níveis de energia resolve o problema da estabilidade atômica, pois os elétrons não irradiam energia constantemente enquanto orbitam.

Embora o modelo de Bohr tenha sido uma grande melhoria, ele ainda tinha limitações, como sua incapacidade de explicar espectros mais complexos (como os de átomos com mais de um elétron). Mais tarde, a mecânica quântica trouxe modelos mais precisos, mas o modelo de Bohr ainda é útil para entender conceitos fundamentais sobre estrutura atômica e espectros de emissão de elementos.



Figura 4: Modelo Atômico de Bohr demonstrando a emissão de um fóton devido à passagem de um elétron de um orbital com maior nível energético para um orbital eletrônico de menor energia.

Modelo da Mecânica Quântica (1926)

O modelo atual, também chamado de modelo de Erwin Schrodinger, descreve o átomo como uma estrutura probabilística. Em vez de elétrons orbitarem o núcleo em trajetórias definidas, eles se encontram em "nuvens" chamadas orbitais, que representam as regiões onde há maior probabilidade de encontrar os elétrons.

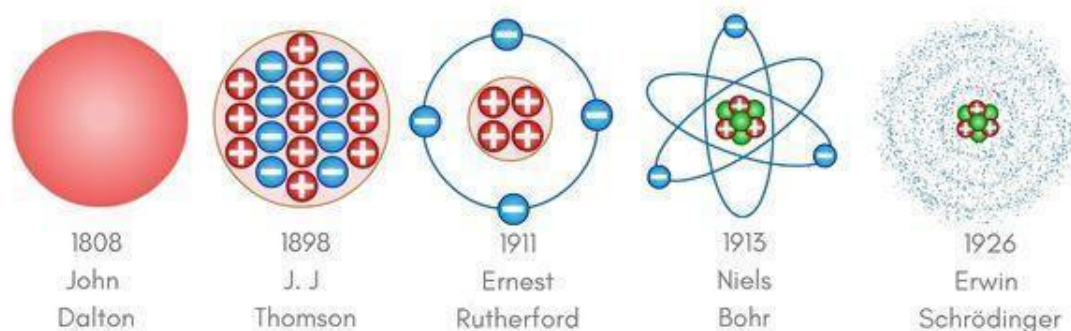


Figura 5: Resumo da evolução dos modelos atômicos.

OBSERVAÇÕES:

Para um curso de nível médio, não adentraremos no modelo atômico proposto pela mecânica quântica, pois, para os propósitos de compreensão inicial da estrutura atômica, os modelos de Bohr e Rutherford já são suficientemente eficazes. O modelo de Rutherford descreve a organização do átomo com um núcleo central e os elétrons ao redor, enquanto o modelo de Bohr permite entender de forma simples os níveis de energia dos elétrons e suas transições, sendo adequados para explicar fenômenos como as linhas espectrais.

Definição de Elemento Químico

Um elemento químico é uma substância formada por átomos com o mesmo número atômico, ou seja, o mesmo número de prótons no núcleo. Cada elemento é único e representado por um símbolo químico (como H para hidrogênio, O para oxigênio, e Fe para ferro). Atualmente, existem 118 elementos conhecidos, organizados na tabela periódica com base em suas propriedades.

1

H

hidrogênio

1,008

2

He

hélio

4,0026

3

Li

lítio

6,94

4

Be

berílio

9,0122

11

Na

sódio

22,990

12

Mg

magnésio

24,305

19

K

potássio

39,098

20

Ca

cálcio

40,078(4)

21

Sc

escândio

44,956

22

Ti

titânio

47,867

23

V

vanádio

50,942

24

Cr

cromo

51,996

25

Mn

manganês

54,938

26

Fe

ferro

55,845(2)

27

Co

cobalto

58,933

28

Ni

níquel

58,693

29

Cu

cobre

63,546(3)

30

Zn

zinco

65,38(2)

31

Ga

gálio

69,723

32

Ge

germânio

72,630(8)

33

As

arsênio

74,922

34

Se

selênio

78,971(8)

35

Br

bromo

79,904

36

Kr

criptônio

83,798(2)

37

Rb

rubídio

85,468

38

Sr

estrôncio

87,62

39

Y

ítrio

88,906

40

Zr

zircônio

91,224(2)

41

Nb

nióbio

92,906

42

Mo

molibdênio

95,95

43

Tc

tecnécio

[98]

44

Ru

rutênio

101,07(2)

45

Rh

ródio

102,91

46

Pd

paládio

106,42

47

Ag

prata

107,87

48

Cd

cádmio

112,41

49

In

índio

114,82

50

Sn

estanho

118,71

51

Sb

antimônio

121,76

52

Te

telúrio

127,60(3)

53

I

iodo

126,90

54

Xe

xenônio

131,29

55

Cs

césio

132,91

56

Ba

bário

137,33

57-71

72

Hf

hafnio

178,49(2)

73

Ta

tântalo

180,95

74

W

tungstênio

183,84

75

Re

rênio

186,21

76

Os

ósmio

190,23(3)

77

Ir

irídio

192,22

78

Pt

platina

195,08

79

Au

ouro

196,97

80

Hg

mercúrio

200,59

81

Tl

tálio

204,38

82

Pb

chumbo

207,2

83

Bi

bismuto

208,98

84

Po

polônio

[209]

85

At

astato

[210]

86

Rn

radônio

[222]

87

Fr

frâncio

[223]

88

Ra

rádio

[226]

89-103

104

Rf

rutherfordio

[261]

105

Db

dúbnio

[268]

106

Sg

seabórgio

[269]

107

Bh

bório

[270]

108

Hs

hássio

[278]

109

Mt

meitnério

[278]

110

Ds

darmstádio

[281]

111

Rg

roentgenio

[281]

112

Cn

copernício

[285]

113

Nh

nihônio

[286]

114

Fl

fleróvio

[289]

115

Mc

moscóvio

[288]

116

Lv

livermório

[293]

117

Ts

tenessino

[294]

118

Og

oganessônio

[294]

57

La

lantânio

138,91

58

Ce

cério

140,12

59

Pr

praseodímio

140,91

60

Nd

neodímio

144,24

61

Pm

promécio

[145]

62

Sm

samário

150,36(2)

63

Eu

europio

151,96

64

Gd

gadolínio

157,25(3)

65

Tb

térbio

158,93

66

Dy

disprósio

162,50

67

Ho

hólmio

164,93

68

Er

érbio

167,26

69

Tm

túlio

168,93

70

Yb

itérbio

173,05

71

Lu

lutécio

174,97

número atômico

—

símbolo químico

—

nome

—

peso atômico

(ou número de massa do isótopo mais estável)

3

Li

lítio

6,938 - 6,997

Figura 6: Tabela periódica com todos os elementos químicos conhecidos atualmente.

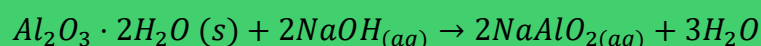
Os elementos podem ser classificados em:

- ✓ **Metais:** Bons condutores de calor e eletricidade, maleáveis e com brilho metálico, como é o caso do ferro e do alumínio.
- ✓ **Não-metais:** Maus condutores, geralmente gasosos ou sólidos quebradiços, como nos elementos carbono e oxigênio.
- ✓ **Semimetais:** Têm propriedades intermediárias, como é o caso do silício.

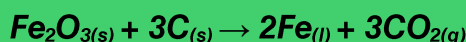
Na mineração, os elementos são extraídos de minerais e utilizados em diversas aplicações.

EXEMPLOS:

a) O alumínio é extraído da bauxita, pela reação:



b) E o ferro da hematita pela reação:



Definição, Classificação e Métodos de Separação de Misturas

Misturas são sistemas compostos por duas ou mais substâncias diferentes que mantêm suas propriedades individuais. Elas podem ser classificadas em:

- ✓ **Misturas homogêneas:** Têm uma única fase visível, como soluções de sal em água ou ligas metálicas (ex.: bronze, uma mistura de cobre e estanho).
- ✓ **Misturas heterogêneas:** Apresentam mais de uma fase visível, como rochas que contêm diferentes minerais, areia e água, ou granito (composto por quartzo, feldspato e mica).

OBSERVAÇÕES:

Na mineração, a separação de misturas é essencial para extrair elementos ou compostos desejados. Processos como flotação, separação magnética e centrifugação são comumente usados.

Os principais métodos de separação de misturas utilizados na atividade de mineração são:

- 1) Filtração.
- 2) Decantação.
- 3) Centrifugação.
- 4) Separação Magnética.
- 5) Flotação.
- 6) Sublimação.
- 7) Destilação.
- 8) Trituração e Moagem.
- 9) Levitação.

Filtração

A filtração é um processo utilizado para separar sólidos de líquidos ou gases utilizando um meio poroso, como papel filtro ou peneira. Na mineração, a filtração é frequentemente utilizada para separar o mineral desejado de impurezas sólidas.

EXEMPLO:

A separação de areia de água ou a remoção de partículas sólidas durante o processamento de minérios.

Decantação

A decantação é a separação de líquidos ou de um líquido e um sólido, com base na diferença de densidade entre os componentes. A mistura é deixada em repouso para que a

substância mais densa se deposite no fundo do recipiente, permitindo que a substância mais leve seja removida. É usada para separar líquidos imiscíveis ou sólidos suspensos em líquidos.

EXEMPLO:

Separação de água da lama durante o processo de extração de minérios como ouro ou cobre.

Centrifugação

A centrifugação utiliza a força centrífuga para separar os componentes de uma mistura, geralmente com base em suas diferentes densidades. Em processos como a separação de ouro ou metais pesados de sedimentos, a centrifugação ajuda a separar partículas finas de minerais pesados de materiais mais leves, como areia.

Separação Magnética

A separação magnética é usada para separar materiais magnéticos de outros não magnéticos, utilizando um campo magnético. Esse processo é comumente utilizado na extração de minérios de ferro, onde o minério de ferro pode ser separado da rocha estéril ou de outros minerais não magnéticos.

Flotação

A flotação é um processo em que partículas sólidas são separadas com o auxílio de bolhas de ar, que aderem a partículas mais leves, permitindo sua separação das mais pesadas. A flotação é amplamente usada para separar minerais metálicos, como ouro, prata, cobre, e minerais de sulfetos, dos resíduos ou da ganga. No processo, o minério é misturado com produtos químicos que tornam a superfície das partículas de minério hidrofóbica, permitindo que elas se unam às bolhas e subam para a superfície.

Sublimação

A sublimação é o processo pelo qual uma substância passa diretamente do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido. Embora menos comum, a sublimação pode ser usada na purificação de minerais, como no caso da extração de certos elementos como o iodo ou arsênio, onde a substância se sublima para ser coletada posteriormente.

Destilação

A destilação é um processo de separação baseado na diferença de ponto de ebulição dos componentes de uma mistura. O componente de menor ponto de ebulição é vaporizado e, em seguida, condensado de volta ao estado líquido. Na mineração, a destilação pode ser usada para separar minerais voláteis de misturas, ou para purificar substâncias como metais em forma líquida ou em soluções aquosas.

Trituração e Moagem

A trituração e moagem são processos mecânicos utilizados para reduzir o tamanho de grandes pedaços de rocha ou minério, facilitando sua separação e extração. Esses processos são essenciais na preparação do minério para etapas subsequentes, como a flotação ou a separação magnética, tornando os minerais mais acessíveis à separação.

Levitação

A levitação é um processo que utiliza a diferença de densidade entre os componentes da mistura, muitas vezes associada ao uso de um líquido ou gás que permite que os materiais mais leves flutuem. Esse processo pode ser usado para separar materiais mais leves, como carvão, de minerais mais pesados durante a mineração de carvão ou minérios leves.

O que são Compostos?

Os compostos são substâncias formadas pela combinação química de dois ou mais elementos em proporções definidas. Diferente das misturas, nos compostos os elementos estão quimicamente ligados, formando novas substâncias com propriedades distintas das substâncias que os originaram.

EXEMPLOS:

- a) **Água (H_2O)**: Formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio.
- b) **Cloreto de sódio ($NaCl$)**: Formado por sódio e cloro, conhecido como sal de cozinha.
- c) **Carbonato de cálcio ($CaCO_3$)**: Componente principal do calcário e mármore.

Os compostos podem ser divididos em:

- ✓ **Orgânicos**: Contêm carbono em sua estrutura, como nos casos de óleos e plásticos.

- ✓ **Inorgânicos:** Geralmente não contêm carbono, compostos como os óxidos, sais e ácidos.

Na mineração, muitos compostos inorgânicos, como óxidos e sulfetos, são de grande importância econômica, pois servem como fonte de metais valiosos.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Qual é a diferença entre a galinha e o vestido?

RESPOSTA:

A galinha bota, enquanto o vestido desbota.

PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS MINERAIS

Composição Atômica e Estrutura dos Minerais

Os minerais, constituintes fundamentais da crosta terrestre, possuem composições químicas variadas, definidas pela organização de átomos e elementos químicos em estruturas cristalinas. Cada mineral é formado por átomos de elementos específicos que se combinam em proporções fixas e estabelecem padrões geométricos regulares, chamados de redes cristalinas.

EXEMPLO:

O quartzo (SiO_2) é composto por átomos de silício e oxigênio organizados em uma estrutura tetraédrica repetitiva.

Os átomos nos minerais são ligados por diferentes tipos de interações químicas, predominantemente iônicas e covalentes. Essas ligações influenciam diretamente as propriedades físicas e químicas dos minerais, como dureza, solubilidade, densidade e reatividade.

EXEMPLO:

Minerais com ligações iônicas fortes, como a halita (NaCl), possuem alta solubilidade em água, enquanto os minerais com ligações covalentes predominantes, como o diamante (C), apresentam elevada dureza.

A relação entre átomos e elementos é crucial para compreender as propriedades químicas dos minerais. Os elementos químicos presentes na tabela periódica são os blocos fundamentais que formam os minerais. O silício (Si), o oxigênio (O), o alumínio (Al), o ferro (Fe) e o cálcio (Ca) estão entre os elementos mais abundantes na composição de minerais.

Classificação de Minerais

Os minerais podem ser classificados em três categorias principais com base em sua composição química e propriedades físicas.

São elas:

- Minerais Metálicos.
- Minerais não Metálicos.
- Misturas de Minerais.

Minerais Metálicos

Minerais metálicos contêm elementos que conduzem eletricidade e calor, como ferro, cobre, ouro e alumínio. Esses minerais geralmente possuem brilho metálico e são utilizados na indústria para a produção de metais.

EXEMPLOS:

- a) **Hematita (Fe_2O_3)**: principal fonte de ferro.
- b) **Calcopirita (CuFeS_2)**: importante para a extração de cobre.

Minerais Não Metálicos

Minerais não metálicos geralmente não possuem brilho metálico e têm aplicações industriais diversas, como na produção de vidros, cerâmicas e fertilizantes.

EXEMPLOS:

- a) **Quartzo (SiO_2)**: utilizado na produção de vidro e semicondutores.
- b) **Calcita (CaCO_3)**: usada na indústria do cimento.

Misturas de Minerais

Misturas de minerais ocorrem quando diferentes minerais coexistem no mesmo material, formando rochas.

EXEMPLOS:

- a) **Granito**: composto principalmente por quartzo, feldspato e mica.
- b) **Basalto**: mistura de minerais como plagioclásio e piroxênios.

As misturas podem ser heterogêneas, com minerais distintos visíveis a olho nu, ou homogêneas, quando os minerais estão bem integrados na matriz.

Compostos Químicos em Minérios

Os minérios, fontes principais de elementos metálicos, contêm compostos químicos agrupados em categorias com base em suas propriedades químicas, dessa forma temos as seguintes categorias:

- Óxidos.
- Sulfetos.
- Carbonatos.
- Silicatos.

Óxidos

Formados pela combinação de metais com oxigênio, os óxidos são uma das classes mais comuns de minerais.

EXEMPLOS:

- a) **Hematita (Fe_2O_3)**: fonte de ferro.
- b) **Bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)**: fonte de alumínio.

Sulfetos

Os sulfetos são compostos formados pela combinação de metais com enxofre. São economicamente importantes por serem minérios de metais valiosos.

EXEMPLOS:

- a) **Pirita (FeS_2)**: conhecido como "ouro dos tolos", utilizado na produção de ácido sulfúrico.
- b) **Galena (PbS)**: principal fonte de chumbo.

Carbonatos

Os carbonatos são compostos que contêm o ânion carbonato (CO_3^{2-}). São comuns em ambientes sedimentares.

EXEMPLOS:

- a) **Calcita (CaCO_3)**: componente principal de mármore e calcários.
- b) **Dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)**: utilizada na indústria de fertilizantes.

Silicatos

Os silicatos são a classe mais abundante de minerais, compostos por silício e oxigênio em estruturas tetraédricas.

EXEMPLOS:

- a) **Feldspatos (KAlSi_3O_8)**: usados em cerâmica e vidro.
- b) **Olivina ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$)**: encontrada em rochas magmáticas.

Interações Químicas em Misturas de Minerais

As misturas de minerais interagem quimicamente quando expostas a solventes, como a água, resultando em alterações em suas propriedades e composição química. Essas interações dependem da **solubilidade dos minerais** e da **formação de compostos em soluções**. No contexto da mineração, entender essas interações é fundamental para otimizar processos como lixiviação e flotação, além de prevenir impactos ambientais relacionados à mobilização de íons e contaminantes.

Solubilidade de Minerais

A solubilidade de minerais em água é determinada por fatores como pH, temperatura e presença de íons, que podem influenciar significativamente as reações químicas no ambiente mineral. Dependendo dessas condições, os minerais podem se dissolver, precipitar ou se transformar em novos compostos, impactando processos de erosão, deposição e lixiviação. A interação com agentes químicos, como ácidos ou bases, pode acelerar ou retardar esses fenômenos.

EXEMPLOS:

- a) **Halita (NaCl):** altamente solúvel em água, é fundamental na formação de salmouras e pode ser extraída facilmente por métodos de evaporação. Sua solubilidade é pouco afetada por variações de pH, mas pode ser alterada pela presença de outros íons na solução, como cálcio ou magnésio.
- b) **Calcita (CaCO₃):** sua solubilidade aumenta em águas ácidas, onde o íon hidrogênio (H⁺) promove a dissolução do carbonato, liberando dióxido de carbono. Este processo é responsável por fenômenos geológicos como a formação de cavernas e estalactites. Além disso, em águas mais básicas, a calcita pode precipitar, formando depósitos em equipamentos e tubulações.
- c) **Silicatos (Como o quartzo SiO₂):** praticamente insolúveis em água pura, mas podem se dissolver em condições extremamente alcalinas ou ácidas, especialmente na presença de fluoretos. Isso os torna resistentes à erosão química, mas suscetíveis em ambientes geotérmicos ou de lixiviação intensa.

Fatores como pressão e composição dos fluidos também influenciam a solubilidade, sendo essenciais em processos industriais de extração mineral, como a lixiviação e a flotação. No contexto da mineração, a compreensão dessas interações químicas é crucial para otimizar a recuperação de minerais e minimizar impactos ambientais.

Formação de Compostos em Soluções

Quando os minerais se dissolvem na água, os íons liberados podem reagir entre si ou com outros elementos presentes na solução, levando à formação de novos compostos. Esse processo pode resultar em precipitação de minerais secundários ou na formação de complexos solúveis. Por exemplo, íons de cálcio (Ca²⁺) e sulfato (SO₄²⁻) podem formar gipsita (CaSO₄·2H₂O) em certas condições de saturação. Da mesma forma, a interação de íons metálicos com ânions como carbonatos, cloretos ou sulfetos pode gerar precipitados que influenciam a mobilidade dos metais e sua recuperação em processos de mineração.

A compreensão da formação desses compostos em soluções é crucial para a engenharia de processos de extração mineral, pois pode afetar diretamente a eficiência da separação de minerais e o controle de resíduos tóxicos, além de ser fundamental para prever a reatividade dos minerais e a estabilidade das fases presentes no meio ambiente.



PAUSA PARA REFLETIR...

A filosofia está escrita no universo, mas só pode ser compreendida aprendendo sua linguagem: a matemática.

Galileu Galilei.

TABELA PERIÓDICA

A Tabela Periódica é uma das ferramentas mais importantes no estudo da Química e desempenha um papel fundamental em várias áreas do conhecimento, incluindo a mineração. Organizada por Dmitri Mendeleev em 1869, a Tabela Periódica é uma maneira de classificar os elementos químicos de forma sistemática, com base em suas propriedades físicas e químicas. Ela agrupa os elementos de acordo com suas similaridades, o que facilita a compreensão do comportamento desses elementos em diferentes reações químicas.

A Tabela Periódica é organizada em períodos e grupos. Os períodos são as linhas horizontais da tabela e indicam a quantidade de camadas de elétrons em um átomo. Já os grupos, ou colunas verticais, são os conjuntos de elementos que possuem propriedades químicas semelhantes, como a capacidade de formar certos tipos de ligações ou a tendência de ganhar ou perder elétrons.

[illegible]

Figura 7: Forma correta de analisar os períodos na tabela periódica.

TABELA PERIÓDICA DOS ELEMENTOS

alcalinos

1

IA

alcalinoterrosos

2

IIA

calcogênios

13

IIIA

14

IVA

15

VA

16

VIA

17

VIIA

18

VIII

gases nobres

Famílias ou grupos
(linhas verticais)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII	VIII	VIII	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIII
H	He											B	C	N	O	F	Ne
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
Na	Mg	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
K	Ca	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Rb	Sr																
Cs	Ba	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo	

Série dos lantanídeos

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Série dos actinídeos

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Figura 8: Tabela periódica destacando os principais grupos.

Além de organizar os elementos, a Tabela Periódica também nos oferece informações cruciais sobre os números atômicos, que representam a quantidade de prótons no núcleo de cada átomo, e as configurações eletrônicas, que mostram como os elétrons estão distribuídos ao redor do núcleo. Esses dados são essenciais para entender como os elementos interagem uns com os outros e, consequentemente, como podem ser utilizados em processos como a mineração e a extração de metais.

A seguir, exploraremos como as propriedades periódicas dos elementos, como eletronegatividade, raio atômico e energia de ionização, estão diretamente relacionadas com os minerais e os processos de mineração. Também veremos o papel de metais e gases, como ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), oxigênio (O₂) e nitrogênio (N₂), na extração e no refino de minerais. Por fim, vamos entender como o comportamento químico de elementos como os metais alcalinos, alcalino-terrosos e os elementos de terras raras impactam a mineração.

Propriedades periódicas

As propriedades periódicas são características dos elementos que variam de maneira previsível ao longo da Tabela Periódica. Essas propriedades ajudam a entender o comportamento químico dos elementos em diferentes reações e são extremamente úteis em

áreas como a mineração, pois fornecem insights sobre a reatividade dos elementos, suas capacidades de formar compostos e suas tendências em processos de extração e refino.

As principais propriedades periódicas aplicadas na mineração são:

- Eletronegatividade.
- Raio Atômico.
- Energia de Ionização.
- Afinidade Eletrônica.
- Caráter Metálico.

A seguir, exploraremos cada uma dessas propriedades em detalhe, observando como elas variam na Tabela Periódica e qual o impacto dessas variações nas interações entre os elementos. Entender essas propriedades é fundamental para a compreensão dos processos químicos que ocorrem durante a extração e o refino de minerais, bem como para prever o comportamento dos elementos em diferentes condições.

Eletronegatividade

A eletronegatividade é a medida da tendência de um átomo de atrair elétrons para si quando se combina com outro átomo em uma ligação química. Ela é uma propriedade fundamental porque ajuda a prever como os elementos interagem para formar compostos. Na Tabela Periódica, a eletronegatividade aumenta da esquerda para a direita ao longo de um período e diminui de cima para baixo em um grupo.

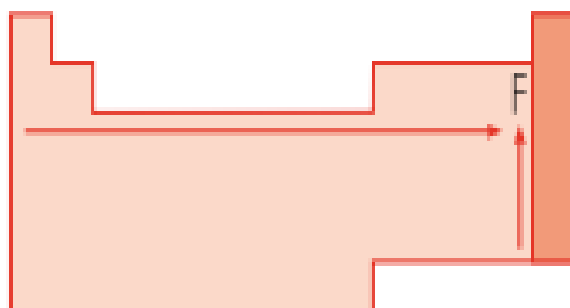


Figura 9: Aumento da eletronegatividade.

Elementos com alta eletronegatividade, como o oxigênio (O), têm uma grande capacidade de atrair elétrons. Isso os torna fundamentais na formação de compostos, como óxidos, que são comuns na natureza e encontrados em diversos minerais.

EXEMPLOS:

- Na hematita (Fe_2O_3), um minério de ferro, o ferro se combina com o oxigênio devido à forte capacidade do oxigênio de atrair elétrons, formando óxidos de ferro.
- Já na bauxita, o alumínio (Al) também se liga ao oxigênio, formando óxidos de alumínio, sendo esse o principal processo para a extração de alumínio.

Por outro lado, metais com baixa eletronegatividade, como os metais alcalinos (Li, Na, K), tendem a perder seus elétrons facilmente. Isso é importante para a extração de metais desses minerais, pois, em muitos processos de mineração, a transferência de elétrons é essencial para liberar o metal da sua forma mineral.

Raio Atômico

O raio atômico é a distância média entre o núcleo de um átomo e a camada mais externa de elétrons. Essa propriedade é importante porque determina o tamanho do átomo e, portanto, a forma como ele se arranja em um cristal ou se interage com outros átomos. O raio atômico diminui da esquerda para a direita em um período, devido ao aumento da carga positiva no núcleo, que atrai mais fortemente os elétrons, e aumenta de cima para baixo em um grupo, à medida que são adicionadas camadas extras de elétrons.

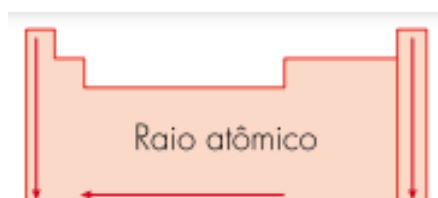


Figura 10: Crescimento do raio atômico na tabela periódica.

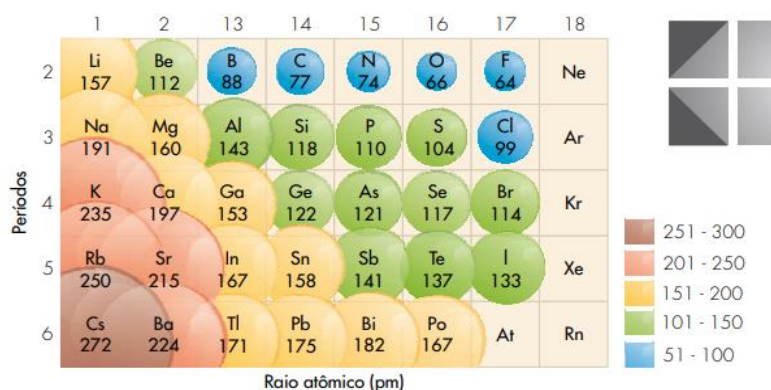


Figura 11: Alguns raios atômicos.

O tamanho do átomo afeta a maneira como os átomos se empacotam em minerais. Quando os átomos são menores, como os metais de transição (Fe, Cu, Zn), eles podem se encaixar de maneira mais eficiente em estruturas cristalinas, o que influencia a dureza e a densidade dos minerais. Em muitos casos, os íons menores (como os de ferro e cobre) substituem íons maiores em cristais minerais durante processos de troca iônica, o que é fundamental para a formação de minerais complexos.

Energia de Ionização

A energia de ionização é a energia necessária para remover um elétron de um átomo ou íon. Elementos com baixa energia de ionização, como os metais alcalinos, têm mais facilidade para perder elétrons, o que torna esses elementos altamente reativos. Essa característica é particularmente importante na mineração, pois ela permite a extração de metais de minérios de forma mais eficiente.

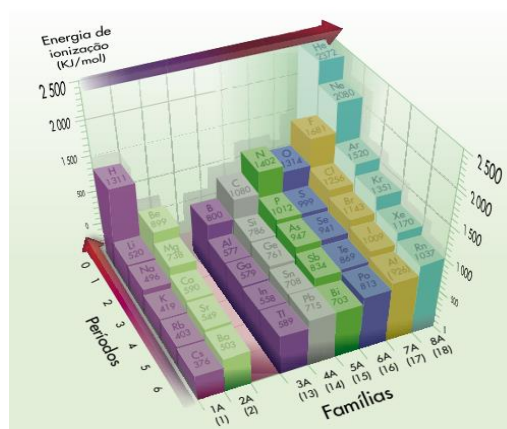


Figura 12: Crescimento da energia de ionização na tabela periódica com alguns valores.

EXEMPLO:

O sódio (Na), que é altamente reativo, é usado na extração de alumínio, como no processo Bayer, onde a bauxita é tratada com hidróxido de sódio para extrair o alumínio.

Em contrapartida, elementos com alta energia de ionização, como os gases nobres, são muito mais estáveis e têm menos tendência a formar compostos. Eles raramente fazem parte de minerais, pois não reagem facilmente com outros elementos.

OBSERVAÇÕES:

A variação da energia de ionização na Tabela Periódica está relacionada ao tamanho do raio atômico. À medida que o raio atômico diminui, a energia necessária para remover um elétron aumenta.

Afinidade Eletrônica

A afinidade eletrônica é a quantidade de energia liberada quando um átomo no estado gasoso ganha um elétron, formando um ânion. Elementos com alta afinidade eletrônica, como os halogênios (F, Cl, Br), tendem a aceitar elétrons com facilidade, o que é crucial na formação de sais e outros compostos iônicos. Na Tabela Periódica, a afinidade eletrônica geralmente aumenta da esquerda para a direita em um período e diminui de cima para baixo em um grupo, à medida que os átomos ficam maiores e o núcleo exerce menos atração sobre os elétrons adicionais.

Na mineração, a afinidade eletrônica desempenha um papel importante na separação e purificação de metais. Elementos como o cloro (Cl), com alta afinidade eletrônica, são utilizados em processos de lixiviação, onde compostos como cloretos são formados para separar o metal desejado de impurezas.

EXEMPLO:

Uso de cloro na purificação de metais preciosos, como o ouro (Au), onde os cloretos de impurezas são removidos, deixando o metal puro.

Caráter Metálico

O caráter metálico refere-se à facilidade com que um átomo de um elemento perde elétrons e se comporta como um metal. Elementos com elevado caráter metálico tendem a ter baixas energias de ionização e afinidades eletrônicas, o que os torna altamente reativos, especialmente no estado sólido. Na Tabela Periódica, o caráter metálico aumenta de cima para baixo em um grupo e diminui da esquerda para a direita em um período.



Figura 13: Aumento do caráter metálico na tabela periódica.

Metais como ferro (Fe), cobre (Cu) e zinco (Zn) possuem um elevado caráter metálico e são amplamente utilizados na mineração. O caráter metálico desses elementos explica sua capacidade de conduzir eletricidade, maleabilidade e ductilidade, propriedades que são essenciais para a utilização dos metais extraídos em diversas indústrias. Além disso, o elevado caráter metálico facilita a extração de metais a partir de seus minérios por meio de processos como a redução eletrolítica, em que os metais perdem elétrons e se depositam em formas puras.

Essas propriedades periódicas – eletronegatividade, raio atômico, energia de ionização, afinidade eletrônica e caráter metálico – não apenas definem o comportamento dos elementos na Tabela Periódica, mas também são fatores críticos nos processos de mineração, extração e refino de metais. A compreensão dessas propriedades permite a aplicação eficiente das técnicas de separação, purificação e obtenção de materiais, impactando diretamente o setor minerador.

Elementos Metálicos e Não Metálicos na Mineração

Os elementos metálicos e não metálicos desempenham papéis essenciais na mineração. Enquanto os metais são frequentemente extraídos para uso industrial, os não metálicos, como os gases diatômicos, são usados em processos para auxiliar na extração ou purificação de metais.

Metais de Transição

Os metais de transição, como o ferro (Fe), o cobre (Cu) e o zinco (Zn), são amplamente utilizados na mineração devido às suas propriedades únicas. Eles são excelentes condutores de eletricidade e calor, têm alta densidade e formam compostos com diferentes estados de oxidação. Essa capacidade de formar diferentes compostos é essencial para a extração de metais.

Ferro (Fe)

O ferro é extraído principalmente de minérios como a hematita (Fe_2O_3) e a magnetita (Fe_3O_4). Ele é fundamental para a produção de aço, usado em construção, automóveis e várias outras indústrias.

Cobre (Cu)

O cobre é extraído de minérios como a calcopirita (CuFeS_2). Sua principal aplicação está em fiação elétrica e na fabricação de ligas metálicas.

Zinco (Zn)

O zinco é extraído de minerais como a esfalerita (ZnS) e é utilizado para galvanizar aço e na fabricação de ligas como o latão.

Esses metais são extraídos por processos de redução, em que os compostos de óxidos ou sulfetos são convertidos em metal puro.

Gases Diatômicos

Oxigênio (O₂) e nitrogênio (N₂), os dois principais gases diatômicos, são importantes na mineração. O oxigênio é usado em processos de oxidação para separar metais de seus minérios, como na redução de óxidos de ferro. O nitrogênio é frequentemente utilizado para criar atmosferas inertes, protegendo os minerais ou metais de reações indesejadas durante a purificação.

Oxigênio (O₂)

Essencial na formação de óxidos e na combustão, o oxigênio está envolvido em diversos processos de extração e refinamento de metais.

Nitrogênio (N₂)

Utilizado em processos industriais que exigem atmosferas controladas, como na extração de metais preciosos ou no armazenamento de minerais.

Comportamento Químico dos Elementos Usados na Mineração

Os metais e outros elementos usados na mineração têm comportamentos químicos que os tornam valiosos ou problemáticos no processo de extração.

Metais Alcalinos

Os metais alcalinos (Li, Na, K, Rb, Cs) são altamente reativos, especialmente com a água, formando hidróxidos fortes. Sua reatividade é um fator importante em processos químicos de extração e refino de outros metais.

EXEMPLO:

O sódio (Na) é utilizado em muitos processos químicos na mineração, como na extração de alumínio da bauxita.

Metais Alcalino-Terrosos

Os metais alcalino-terrosos (Be, Mg, Ca, Sr, Ba) são menos reativos que os alcalinos, mas ainda assim são importantes. O cálcio (Ca) é essencial para o processo de extração de ferro, e o magnésio (Mg) é utilizado na fabricação de ligas metálicas leves e resistentes.

Elementos de Terras Raras

Os elementos de terras raras (Lantânio, Neodímio, Cério) são extremamente valiosos na mineração moderna devido às suas propriedades únicas, como sua habilidade de formar ímãs poderosos ou ser usados em baterias de alta eficiência. Esses elementos são raros na crosta terrestre e exigem métodos especializados de extração.

OBSERVAÇÕES:

Veja que a Tabela Periódica não apenas organiza os elementos, mas também fornece as chaves para entender como eles interagem nas reações químicas, como no caso da mineração. As propriedades periódicas dos elementos, como eletronegatividade, raio atômico e energia de ionização, influenciam diretamente as reações químicas que ocorrem na extração e refino de metais. Além disso, a compreensão dos comportamentos dos metais e não metais na mineração é essencial para o aproveitamento eficiente dos recursos naturais.



VOCÊ SABIA?

"Terras raras"

Apesar do nome "**terras raras**", esses elementos não são tão escassos quanto parecem. O que realmente os torna valiosos é a enorme dificuldade de extraí-los em grandes quantidades. Essa complexidade no processo de mineração faz com que seu valor suba nas indústrias que dependem dessas substâncias para tecnologias avançadas.

LIGAÇÕES QUÍMICAS

Para entender como as substâncias interagem, é essencial compreender os tipos de ligações químicas, que são as forças responsáveis por unir os átomos, formando moléculas e compostos. A seguir, exploraremos os diferentes tipos de ligações que ocorrem nos minerais, as forças intermoleculares que influenciam suas propriedades, as reações que

acontecem na superfície dos minerais e, por fim, a química da corrosão de metais usados na mineração.

Ligações em Minerais

A ligação química é a força que mantém os átomos unidos em uma substância. Nos minerais, existem principalmente dois tipos de ligações:

- Iônicas.
- Covalentes.

Ambos os tipos de ligações influenciam diretamente as propriedades dos minerais, como sua dureza, solubilidade e ponto de fusão.

Ligações Iônicas

As ligações iônicas acontecem quando um átomo cede um ou mais elétrons para outro átomo, formando íons (átomos carregados positiva ou negativamente). Esse processo de transferência de elétrons ocorre entre átomos de elementos com grande diferença de eletronegatividade (capacidade de atrair elétrons).

EXEMPLOS:

- a) O sódio (Na), que tem um elétron na sua camada mais externa, tende a ceder esse elétron para alcançar uma configuração estável.
- b) O cloro (Cl), que tem sete elétrons na sua camada externa, precisa de mais um elétron para completar sua camada e se tornar estável.

Quando o sódio perde um elétron, ele se transforma em um íon positivo (Na^+). O cloro, ao ganhar o elétron, se transforma em um íon negativo (Cl^-). Esses íons de cargas opostas se atraem devido à força eletrostática, formando a ligação iônica que mantém os dois íons unidos, formando o sal (NaCl).

Propriedades de minerais com ligações iônicas

- ✓ **Alta solubilidade em água:** devido à interação com as moléculas de água, os íons se separam facilmente.
- ✓ **Pontos de fusão e ebulição elevados:** as forças que mantêm os íons unidos são fortes.

- ✓ **Dureza:** minerais iônicos podem ser quebradiços, pois a aplicação de força pode deslocar os íons e quebrar a estrutura.

Ligações Covalentes

As ligações covalentes ocorrem quando dois átomos compartilham pares de elétrons. Este tipo de ligação é típico de elementos não metálicos, como o oxigênio (O) e o hidrogênio (H).

EXEMPLO:

Na molécula de água (H_2O), cada átomo de hidrogênio compartilha um elétron com o átomo de oxigênio. O oxigênio tem seis elétrons na sua camada mais externa e precisa de mais dois para completar sua camada. Cada átomo de hidrogênio tem um elétron e precisa de mais um para alcançar a configuração estável.

Portanto, cada átomo de hidrogênio compartilha um elétron com o oxigênio, formando duas ligações covalentes, resultando na molécula de água.

Propriedades de minerais com ligações covalentes

- ✓ **Alta dureza:** as ligações são fortes e difíceis de quebrar.
- ✓ **Baixa solubilidade em água:** muitas substâncias com ligações covalentes não se dissolvem facilmente em água.
- ✓ **Condutividade:** minerais com ligações covalentes geralmente não conduzem eletricidade, pois não há partículas carregadas livres.

Impacto nas Propriedades Físico-Químicas

A forma como os átomos se unem em um mineral define suas propriedades. Minerais com ligações iônicas, como o sal de cozinha ($NaCl$), tendem a ser solúveis em água e a ter pontos de fusão elevados. Já minerais com ligações covalentes, como o diamante (C), são extremamente duros e não se dissolvem facilmente em líquidos.

Forças Intermoleculares

Além das ligações químicas, existem forças intermoleculares, que são interações mais fracas entre moléculas ou entre partes de uma mesma molécula. Essas forças afetam as propriedades dos minerais, como a flexibilidade ou a dureza.

Pontes de Hidrogênio

As pontes de hidrogênio ocorrem quando um átomo de hidrogênio, ligado a um átomo de oxigênio ou nitrogênio, é atraído por outro átomo de oxigênio ou nitrogênio de uma molécula vizinha. Essa interação é mais forte que as forças de Van der Waals, mas mais fraca que as ligações covalentes.

Impacto das pontes de hidrogênio

- ✓ **Propriedades de flexibilidade:** As pontes de hidrogênio podem permitir que as camadas de um mineral se movam ou se separem, conferindo-lhe certa flexibilidade.
- ✓ **Alterações na solubilidade:** Minerais com pontes de hidrogênio, como o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), podem ser solúveis em água.

EXEMPLO:

O mineral mica é composto por camadas de átomos de silício e oxigênio, intercaladas por moléculas de água. As pontes de hidrogênio entre as moléculas de água ajudam a manter as camadas unidas, mas as camadas podem deslizar facilmente umas sobre as outras, dando à mica sua característica de flexibilidade e facilidade de separação.



Figura 14: Mica.

Forças de Van der Waals

As forças de Van der Waals são interações muito fracas que ocorrem entre moléculas ou entre partes de uma molécula devido a flutuações temporárias na distribuição dos elétrons. Esses dipolos temporários geram uma atração entre as moléculas.

EXEMPLO:

O grafite, um tipo de carbono, apresenta camadas de átomos de carbono ligadas por ligações covalentes fortes, mas as camadas são mantidas juntas por forças de Van der Waals, permitindo que as camadas deslizem facilmente umas sobre as outras, o que confere ao grafite suas propriedades de lubrificação.

Impacto das forças de Van der Waals

- ✓ **Propriedades de deslizamento:** Minerais como o grafite têm a capacidade de deslizar devido às forças de Van der Waals entre suas camadas.
- ✓ **Baixa dureza:** Os minerais que dependem dessas forças tendem a ser mais macios, pois as forças de atração são fracas.

Química das Superfícies Minerais

A química das superfícies minerais é importante na mineração, pois afeta a forma como os minerais interagem com reagentes durante os processos de extração. Essas interações podem ser influenciadas pela adsorção, que é a aderência de átomos ou moléculas à superfície de um mineral.

Adsorção

A adsorção ocorre quando átomos ou moléculas se fixam na superfície de um mineral. Esse fenômeno é fundamental nos processos de flotação e lixiviação, usados para extrair minerais metálicos.

A adsorção pode ser de dois tipos:

- 1) **Física:** Quando as moléculas se aderem devido a forças de Van der Waals.
- 2) **Química:** Quando há uma interação mais forte, como uma ligação iônica ou covalente.

EXEMPLO:

Durante a flotação, um reagente químico pode ser adsorvido na superfície de partículas minerais, tornando-as hidrofóbicas (repelindo a água), o que faz com que elas subam à superfície com bolhas de ar e se separem da ganga.

Interações Químicas entre Partículas Minerais e Reagentes

Minerais e reagentes podem reagir quimicamente nas superfícies dos minerais, o que é crucial na separação de metais durante a mineração. Essas reações podem envolver a formação de complexos (moléculas que contêm metais centralizados) ou a troca de íons.

EXEMPLO:

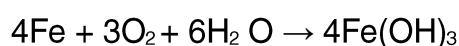
A lixiviação de ouro envolve o uso de cianeto, que reage com o ouro para formar o complexo de cianeto de ouro ($\text{Au}(\text{CN})_2^-$). Esse processo facilita a extração do ouro do minério.

Química da Corrosão

A corrosão é um processo químico que envolve a deterioração de materiais, geralmente metais, devido à reação com substâncias do ambiente, como água e oxigênio. No contexto da mineração, a corrosão é uma preocupação importante, pois afeta tanto os equipamentos utilizados nas operações mineradoras quanto os próprios minérios, influenciando a extração e o transporte dos materiais.

Reações de Corrosão

Quando um metal, como o ferro, é exposto ao oxigênio e à umidade do ambiente, ocorre uma reação de oxidação. Nessa reação, o ferro (Fe) perde elétrons, formando íons ferro (Fe^{2+}) ou ferro (Fe^{3+}), e o oxigênio (O_2) presente no ambiente recebe esses elétrons, sendo reduzido. A reação de corrosão do ferro pode ser representada pela seguinte equação:



Essa equação mostra como o ferro se combina com o oxigênio e a água para formar o hidróxido de ferro, que, quando exposto ao ar, se transforma em óxido de ferro (a famosa ferrugem). O processo de corrosão, portanto, resulta na perda gradual de massa e na alteração das propriedades mecânicas do ferro.

Esse fenômeno é particularmente relevante na mineração porque os equipamentos metálicos, como caminhões, escavadeiras e transportadores, estão constantemente expostos a condições ambientais agressivas, como a umidade, a presença de água e a variação de temperaturas. A corrosão desses equipamentos pode diminuir sua vida útil, aumentar os custos de manutenção e reduzir a eficiência das operações.

Além disso, a corrosão também ocorre em minérios que contêm metais, especialmente quando esses minerais são transportados ou armazenados de maneira

inadequada. Em algumas situações, como na mineração de ferro, a presença de umidade e oxigênio pode acelerar a formação de óxidos metálicos, alterando a composição do minério e afetando sua qualidade.

A prevenção da corrosão na mineração é realizada por meio de técnicas como o uso de revestimentos protetores, tratamentos térmicos, e a escolha de materiais mais resistentes à corrosão, como ligas metálicas específicas. Além disso, a minimização do contato dos materiais com ambientes úmidos e a implementação de processos de manutenção adequados são estratégias essenciais para reduzir os impactos da corrosão nas operações mineradoras. A taxa de corrosão depende de fatores como umidade, temperatura, pH e presença de sal ou outros reagentes agressivos.

EXEMPLO:

Na mineração, a pirita (FeS_2), pode acelerar a corrosão de metais devido à liberação de íons de ferro em ambientes ácidos.

COMPOSTOS QUÍMICOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS

Os compostos químicos, sejam eles orgânicos ou inorgânicos, são essenciais para os processos que envolvem a mineração. Sua aplicação se estende desde a separação de minerais até a utilização como reagentes ou explosivos. A distinção entre essas categorias está na presença ou não de carbono em suas estruturas. Enquanto os compostos orgânicos são predominantemente compostos de carbono e hidrogênio, os inorgânicos englobam uma ampla gama de substâncias químicas não baseadas em carbono.

Química dos Reagentes Utilizados na Mineração

Na mineração, compostos orgânicos como coletores e espumantes desempenham papéis cruciais. Coletores, como xantatos, alteram as propriedades superficiais dos minerais, tornando-os hidrofóbicos. Isso facilita sua adesão a bolhas de ar no processo de flotação, essencial na separação de minerais como a pirita (FeS_2). Espumantes, como éteres e álcoois, estabilizam as bolhas, permitindo uma separação mais eficiente.

Por outro lado, compostos inorgânicos como o ácido sulfúrico (H_2SO_4) são amplamente usados na lixiviação de minérios de cobre e urânio. O cianeto de sódio (NaCN), por sua vez, é fundamental na extração de ouro e prata por cianetação. Apesar de sua

eficácia, esses compostos requerem cuidado extremo devido à alta toxicidade e ao risco de contaminação ambiental.

Explosivos e Reatividade Química

Os explosivos são cruciais na fragmentação de rochas, especialmente em mineração a céu aberto. O nitrato de amônio (NH_4NO_3) é um dos mais utilizados, frequentemente misturado com combustíveis para formar o ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil). Esse composto é estável, seguro para transporte e oferece alta eficiência energética. Em aplicações de maior densidade energética, compostos orgânicos explosivos, como o TNT (trinitrotolueno), são utilizados.

O uso de explosivos exige rigorosos controles para evitar acidentes e danos ambientais. A reatividade química dos explosivos é estudada para garantir o equilíbrio entre desempenho e segurança.

Química da Água em Processos de Mineração

A água desempenha um papel multifacetado na mineração. Além de solvente, é mediadora de reações químicas fundamentais. A hidrólise de minerais solúveis, como a halita (NaCl), exemplifica o papel da água na dissolução de substâncias. Além disso, na lixiviação de metais preciosos, a formação de íons complexos é essencial; por exemplo, o ouro se combina com cianeto em solução aquosa, formando complexos solúveis que facilitam sua extração.

A hidratação é outro processo crítico, no qual a água é incorporada à estrutura mineral, alterando propriedades como expansibilidade e estabilidade. Esses fenômenos químicos são decisivos na eficiência do beneficiamento mineral e na gestão de rejeitos.

ANÁLISE QUÍMICA

A análise química fornece informações detalhadas sobre a composição de minérios, ajudando a otimizar processos e avaliar a viabilidade econômica da extração. Existem diversos métodos analíticos, desde técnicas modernas até abordagens clássicas, cada uma com aplicações específicas.

Métodos Modernos de Análise

A fluorescência de raios-X é amplamente utilizada para identificar elementos presentes em amostras minerais. Ela oferece rapidez e alta precisão, sendo especialmente

útil em minérios complexos. A espectroscopia de absorção atômica (AAS), por sua vez, é essencial para quantificar concentrações de metais como ferro, cobre e zinco, mesmo em teores baixos.

A difração de raios-X é crucial para determinar a estrutura cristalina dos minerais, permitindo a identificação de fases específicas. Essa técnica fornece uma visão detalhada da composição mineralógica, possibilitando ajustes nos processos de beneficiamento.

Controle de Qualidade e Ensaio de Lixiviação

No controle de qualidade, análises como a verificação do pH e a determinação de teores de metais garantem que os minérios atendam aos padrões industriais. Ensaio de lixiviação são realizados para avaliar a eficiência dos reagentes e otimizar os processos de extração. A cianetação de ouro, por exemplo, exige um rigoroso controle químico para maximizar a recuperação de metal com mínimo impacto ambiental.

Técnicas de quantificação isotópica, como o uso de carbono-14 (^{14}C) e berílio-7 (^7Be), auxiliam em estudos de transporte de sedimentos e processos erosivos, fornecendo dados valiosos para a gestão ambiental de rejeitos.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Quando se pode entrar sem perigo na jaula de um leão?

RESPOSTA:

Quando a jaula estiver vazia.

QUÍMICA E MEIO AMBIENTE

A mineração, embora essencial para o desenvolvimento econômico, pode causar impactos ambientais significativos. A química desempenha um papel crucial na mitigação desses efeitos, promovendo soluções para o tratamento de rejeitos, efluentes e a redução da poluição.

Impactos de Rejeitos e Drenagem Ácida de Minas

Os rejeitos gerados pela mineração frequentemente contêm metais pesados, como chumbo e mercúrio, e compostos ácidos oriundos da oxidação de sulfetos. Esse fenômeno, conhecido como drenagem ácida de minas (DAM), resulta na liberação de ácido sulfúrico e

metais tóxicos no meio ambiente. O tratamento químico desses rejeitos envolve métodos como neutralização com calcário e precipitação química, que ajudam a reduzir a acidez e remover contaminantes.

Tratamento de Efluentes e Biorremediação

Os efluentes da mineração devem ser tratados antes do descarte para evitar a contaminação de águas superficiais e subterrâneas. Processos como adsorção em carvão ativado e precipitação química são comuns para remover metais pesados. A biorremediação é uma abordagem biotecnológica promissora, utilizando microrganismos para degradar compostos tóxicos e restaurar áreas impactadas. A biohidrometalurgia, por sua vez, aproveita a ação de microrganismos para extrair metais de minérios de baixo teor, representando uma alternativa mais sustentável em comparação aos métodos convencionais.

Sustentabilidade Química na Mineração

O conceito de sustentabilidade na mineração envolve o reaproveitamento de rejeitos, transformando-os em produtos úteis, como agregados para construção. Além disso, tecnologias verdes estão sendo desenvolvidas para substituir reagentes tóxicos por alternativas mais seguras, reduzindo o impacto ambiental e promovendo uma economia circular. Com a integração de soluções químicas e tecnológicas, a mineração pode se tornar mais eficiente e alinhada com os princípios de sustentabilidade.

EXEMPLOS:

Abaixo temos alguns casos de **PROBLEMAS AMBIENTAIS RECENTES**:

1. Rompimento da Barragem de Rejeitos em Brumadinho (2019)

- ✓ **Impacto ambiental:** Um dos maiores desastres ambientais recentes envolvendo a mineração ocorreu em janeiro de 2019, quando uma barragem de rejeitos da mineradora Vale se rompeu em Brumadinho, Minas Gerais, Brasil. O colapso liberou milhões de metros cúbicos de lama tóxica, contendo metais pesados como chumbo, mercúrio e arsênio, que devastaram rios e mataram grande parte da fauna e flora local. A lama também atingiu comunidades, resultando em mais de 270 mortes.
- ✓ **Ligação com a drenagem ácida de minas (DAM):** O desastre também trouxe à tona os perigos da drenagem ácida de minas, pois os rejeitos expostos aos elementos podem oxidar e liberar ácidos e metais tóxicos para os cursos d'água.

Além disso, a recuperação ambiental da área será um desafio de longo prazo devido à presença desses contaminantes.

2. Drenagem Ácida nas Minas de Ouro na África do Sul

- ✓ **Impacto ambiental:** Na África do Sul, a drenagem ácida de minas (DAM) tem sido um problema ambiental sério, principalmente em antigas minas de ouro na região de Witwatersrand. A oxidação de minerais de sulfeto, como a pirita, resultou na liberação de ácido sulfúrico e metais pesados nos sistemas fluviais, contaminando fontes de água potável e destruindo ecossistemas aquáticos.
- ✓ **Soluções químicas:** A neutralização com calcário e a precipitação química são usadas para mitigar os efeitos da DAM, mas os custos elevados e a dificuldade de tratamento em larga escala ainda representam desafios significativos.

3. Contaminação por Mercúrio em Minas de Ouro na Amazônia

- ✓ **Impacto ambiental:** O uso de mercúrio na mineração artesanal de ouro na Amazônia continua a ser uma das maiores fontes de poluição ambiental. O mercúrio é utilizado para amalgamar o ouro, mas muitos dos resíduos são despejados em rios e florestas, contaminando as águas e os solos. O mercúrio se bioacumula nas cadeias alimentares, afetando espécies aquáticas e a saúde humana, especialmente em comunidades ribeirinhas que consomem peixes contaminados.
- ✓ **Tratamento de efluentes:** Apesar de algumas tentativas de introduzir métodos mais seguros para a extração de ouro, como o uso de cianetação em vez de mercúrio, a falta de regulamentação e fiscalização tem tornado o problema difícil de controlar.

4. Desastre Ecológico no Rio Doce (2015)

- ✓ **Impacto ambiental:** O rompimento da barragem de Fundão, controlada pela Samarco, em Mariana, Brasil, liberou mais de 60 milhões de metros cúbicos de rejeitos no rio Doce. Os rejeitos ricos em metais pesados como ferro, alumínio e manganês impactaram severamente a biodiversidade do rio, afetando comunidades ribeirinhas e a qualidade da água ao longo de centenas de quilômetros.
- ✓ **Recuperação ambiental:** Embora processos de **biorremediação** estejam sendo testados para regenerar o solo e a água contaminados, a restauração completa pode levar décadas.

EXEMPLOS:

Abaixo temos alguns casos de **SUCESSO DA MINERAÇÃO SUSTENTÁVEL**:

1. Mineração Sustentável de Níquel, Brasil (Vale)

- ✓ **Prática Sustentável:** A Vale, uma das maiores mineradoras do mundo, adotou práticas de mineração sustentável no projeto de níquel em Onça Puma, no Brasil. A empresa implementou tecnologias para reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) no processo de fundição e apostou no uso de fontes de energia renovável, como energia hidrelétrica.
- ✓ **Impacto Sustentável:** Além de reduzir sua pegada de carbono, a Vale investiu em projetos de reflorestamento nas áreas afetadas pela mineração, restaurando ecossistemas e promovendo a biodiversidade local. A empresa também desenvolveu programas para reutilização de resíduos, como a reciclagem de rejeitos de mineração.

2. Recuperação de Minérios e Economia Circular (Anglo American)

- ✓ **Prática Sustentável:** A mineradora Anglo American tem adotado a estratégia de "economia circular" em suas operações, reaproveitando resíduos de mineração. Um exemplo é o projeto de reaproveitamento de água em minas no Chile e no Peru, onde 80% da água utilizada no processamento de minérios é reciclada.
- ✓ **Impacto Sustentável:** Além da economia de água, essencial em regiões áridas, a empresa desenvolveu tecnologias para capturar poeiras de mineração e reduzir o uso de reagentes tóxicos. A Anglo American também utiliza biolixiviação, um processo que usa microrganismos para recuperar metais de rejeitos e minérios de baixo teor, minimizando o impacto ambiental.

3. Lixiviação In Situ em Mineração de Urânio, EUA

- ✓ **Prática Sustentável:** A lixiviação in situ é uma técnica que permite a extração de minerais, como o urânio, sem a necessidade de escavações extensivas. No estado de Wyoming, nos EUA, empresas de mineração adotaram essa técnica, onde uma solução química é injetada no subsolo para dissolver os minerais, que são extraídos com mínima perturbação do solo e da superfície.
- ✓ **Impacto Sustentável:** Essa prática reduz o impacto visual da mineração, gera menos resíduos e minimiza a contaminação da água e do solo. Após a extração, o

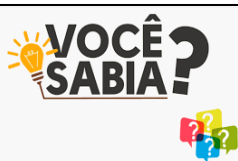
local é restaurado, neutralizando os ácidos e produtos químicos utilizados no processo.

4. Recuperação de Minérios de Resíduos, Finlândia

- ✓ **Prática Sustentável:** Na Finlândia, a mineração sustentável é promovida por meio da recuperação de metais a partir de rejeitos. A empresa Outotec desenvolveu uma tecnologia que permite recuperar metais preciosos e terras raras de resíduos de mineração, com o uso de reagentes ecológicos que evitam a produção de subprodutos tóxicos.
- ✓ **Impacto Sustentável:** Esse processo evita a necessidade de novas operações de mineração, economiza recursos naturais e minimiza a quantidade de resíduos que precisam ser armazenados em barragens de rejeitos, promovendo uma abordagem de economia circular.

5. Projeto Zero Rejeitos, Austrália (Fortescue Metals Group)

- ✓ **Prática Sustentável:** A mineradora australiana Fortescue Metals Group lançou o Projeto Zero Rejeitos, cujo objetivo é eliminar o uso de barragens de rejeitos em suas operações. O projeto envolve a reutilização de todos os resíduos gerados, transformando-os em subprodutos para outros setores, como construção civil e pavimentação de estradas.
- ✓ **Impacto Sustentável:** Além de evitar desastres associados a barragens de rejeitos, o projeto diminui os impactos ambientais de longo prazo, como contaminação de água e solo. Ao reaproveitar 100% dos resíduos, a Fortescue reduz significativamente seu impacto ambiental e melhora a eficiência de suas operações.



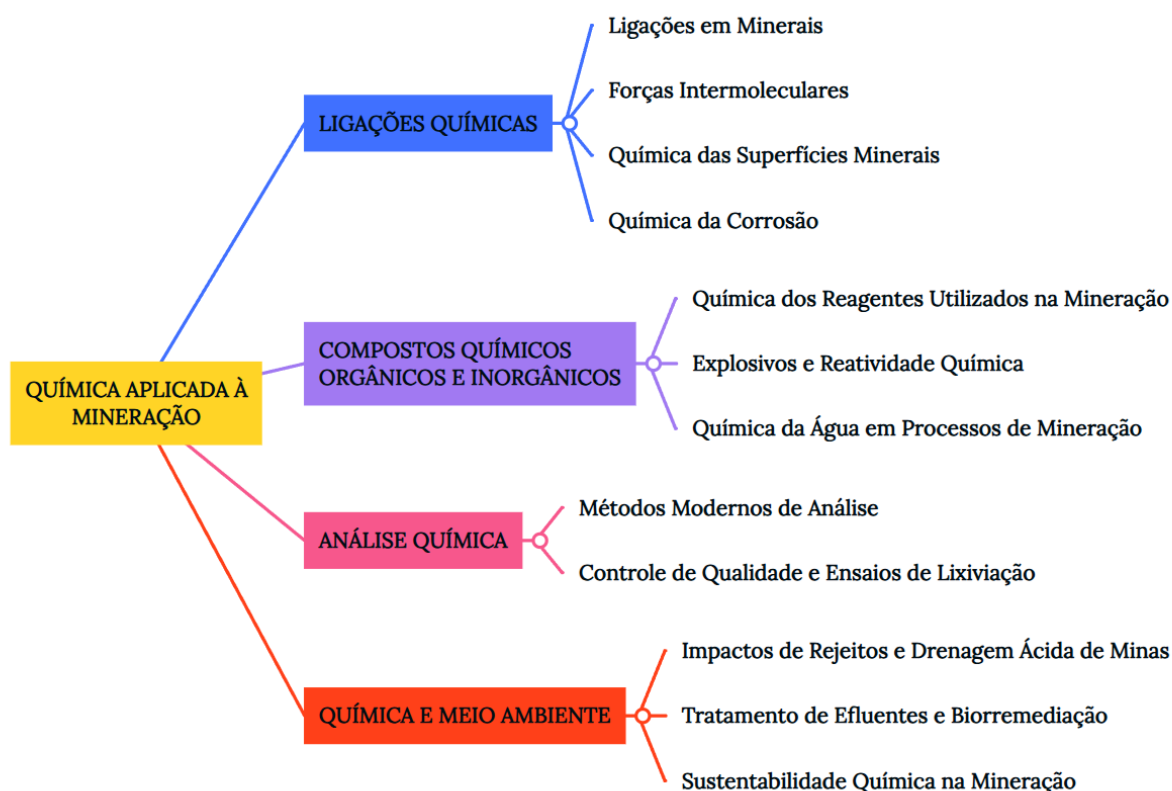
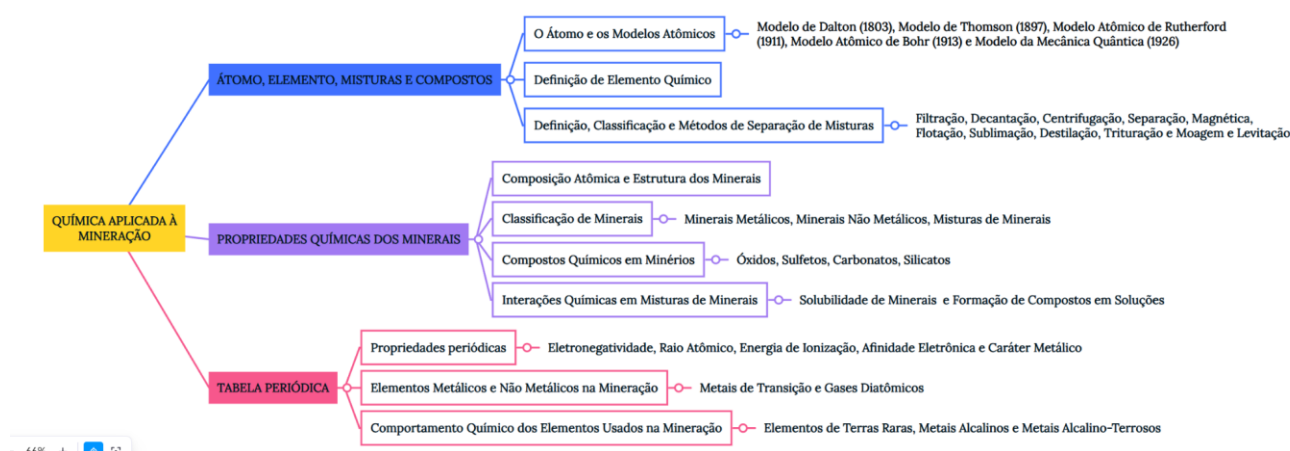
VOCÊ SABIA?

A **reutilização de rejeitos de mineração** para fabricar materiais de construção, como tijolos e cimento, é uma inovação crescente. Rejeitos de mineração de ferro e bauxita, que são grandes fontes de resíduos, podem ser transformados em agregados e usados na pavimentação de estradas ou na produção de cimento.

Em 2023, várias empresas na Austrália começaram a transformar resíduos de mineração em materiais de construção, promovendo uma economia circular e reduzindo os danos ambientais das pilhas de rejeitos.

Sessões Especiais

MAPA DE ESTUDO



SÍNTESE DIRETA

1. INTRODUÇÃO À MINERAÇÃO E QUÍMICA

- Mineração é uma atividade fundamental para extração de recursos naturais essenciais.
- A química desempenha papel crucial em processos de extração, purificação e transformação de minérios.

2. MODELOS ATÔMICOS

- **Modelo de Dalton (1803):** Átomo como esfera maciça, indivisível.
- **Modelo de Thomson (1897):** Átomo com elétrons incrustados em uma massa positiva (modelo "pudim de passas").
- **Modelo de Rutherford (1911):** Núcleo central com carga positiva e elétrons ao redor.
- **Modelo de Bohr (1913):** Elétrons em níveis de energia quantizados ao redor do núcleo.
- **Modelo da Mecânica Quântica (1926):** Elétrons em "nuvens de probabilidade" (orbitais).

3. TABELA PERIÓDICA E PROPRIEDADES PERIÓDICAS

- Organiza elementos por propriedades químicas e físicas.
- Propriedades como **eletronegatividade**, **raio atômico**, **energia de ionização**, **afinidade eletrônica**, e **caráter metálico** influenciam diretamente a extração de metais.

4. CLASSIFICAÇÃO DOS MINERAIS

- **Minerais Metálicos:** Bons condutores de eletricidade e calor.
- **Minerais Não Metálicos:** Usados na produção de vidro e cerâmicas.
- **Misturas de Minerais:** Compostos por diferentes minerais em uma mesma rocha.

5. PROCESSOS DE SEPARAÇÃO DE MISTURAS

- Métodos utilizados na mineração para separar componentes de misturas:
✓ **Filtração, Decantação, Centrifugação, Separação Magnética, Flotação, Sublimação, Destilação, Trituração e Moagem.**

6. LIGAÇÕES QUÍMICAS NOS MINERAIS

- **Ligações Iônicas:** Transferência de elétrons entre átomos.
- **Ligações Covalentes:** Compartilhamento de elétrons entre átomos.
- **Forças Intermoleculares:** Pontes de hidrogênio e forças de Van der Waals afetam as propriedades dos minerais.

7. REAGENTES QUÍMICOS NA MINERAÇÃO

- **Reagentes Orgânicos:** Coletores alteram superfícies de minerais para separação.
- **Reagentes Inorgânicos:** Ácidos e bases utilizados na lixiviação e extração de metais.

8. EXPLOSIVOS NA MINERAÇÃO

- Utilizados para fragmentar rochas, como o **nitrato de amônio** e compostos mais densos.

9. ANÁLISE QUÍMICA DOS MINERAIS

- Métodos como **Fluorescência de Raios-X** e **Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS)** para identificar elementos e quantificar metais.
- **Difração de Raios-X** para análise da estrutura cristalina.

10. QUÍMICA DA ÁGUA EM PROCESSOS DE MINERAÇÃO

- A água facilita processos como a hidrólise, dissolução e lixiviação de minerais.
- Interação com agentes químicos influencia extração e beneficiamento mineral.

11. IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO

- **Drenagem Ácida de Minas (DAM):** Liberação de ácido sulfúrico e metais tóxicos.
- **Rejeitos:** Contêm metais pesados que necessitam de tratamento químico para evitar contaminação ambiental.

12. SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS E TECNOLOGIAS VERDES

- **Reaproveitamento de rejeitos:** Resíduos de mineração podem ser transformados em materiais de construção.
- **Biorremediação:** Uso de microrganismos para limpar áreas afetadas por contaminantes.
- **Lixiviação In Situ:** Técnica que dissolve minerais sem escavações extensivas, reduzindo impactos.

MOMENTO QUIZ

1. A eletronegatividade e a energia de ionização dos elementos influenciam diretamente a escolha de reagentes no processo de flotação e lixiviação na mineração. Com base nisso, qual das alternativas abaixo descreve corretamente a influência dessas propriedades?

- Elementos com alta eletronegatividade perdem elétrons facilmente, facilitando sua extração em processos de lixiviação.
- Elementos com baixa eletronegatividade têm maior facilidade de atrair elétrons e formar compostos estáveis.
- Elementos com baixa energia de ionização perdem elétrons facilmente, facilitando

sua separação com reagentes na flotação.

d) Elementos com alta energia de ionização são mais facilmente dissolvidos em soluções alcalinas.

2. A flotação é um processo essencial para a separação de minerais na mineração. Qual das alternativas descreve corretamente o papel dos reagentes e das forças intermoleculares na flotação?

a) Reagentes orgânicos aumentam a hidrofobicidade dos minerais, facilitando sua separação, enquanto as pontes de hidrogênio mantêm os minerais suspensos.

b) Forças de Van der Waals tornam os minerais mais hidrofílicos, dificultando a separação por flotação.

c) Reagentes orgânicos aderem à superfície mineral, tornando-a hidrofóbica, enquanto as pontes de hidrogênio facilitam a formação de bolhas de ar.

d) As forças intermoleculares não afetam a flotação, sendo o processo exclusivamente dependente dos reagentes inorgânicos.

3. A drenagem ácida de minas (DAM) resulta em sérios impactos ambientais. Qual é o principal método químico de mitigação desse problema?

a) Precipitação química com carbonato de sódio.

b) Neutralização com calcário.

c) Precipitação química com hidróxido de cálcio.

d) Tratamento térmico com calcário.

4. A análise química é essencial para garantir a qualidade dos produtos extraídos e determinar a viabilidade de uma mina. Qual das técnicas abaixo é corretamente descrita e utilizada na mineração?

a) A Fluorescência de Raios-X (FRX) é usada para determinar a estrutura cristalina dos minerais com alta precisão.

b) A Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS) é utilizada para identificar os elementos presentes, sendo uma técnica não destrutiva e rápida.

c) A Fluorescência de Raios-X (FRX) identifica os elementos presentes em amostras minerais, enquanto a AAS quantifica as concentrações de metais.

d) A Difração de Raios-X é usada para quantificar a concentração de metais em amostras complexas.

5. As ligações químicas e as forças intermoleculares influenciam diretamente as propriedades físicas dos minerais. Qual das seguintes afirmações está correta?

- a) Minerais com ligações iônicas têm alta dureza, alta solubilidade em água e baixo ponto de fusão.
- b) Minerais com ligações covalentes têm alta solubilidade em água e baixa dureza.
- c) Minerais com ligações iônicas têm alta solubilidade em água e alto ponto de fusão, enquanto minerais com ligações covalentes são geralmente insolúveis e duros.
- d) Minerais com forças de Van der Waals têm alta dureza e alto ponto de fusão, como o grafite.

Gabarito

QUESTÃO	ALTERNATIVA
1	C
2	C
3	B
4	C
5	C

Referências

ATKINS, P.; JONES, L. Química: A Ciência Central. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

COTTON, F. A.; WILKINSON, G.; GAUS, P. L. Química Inorgânica Básica. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

ROSENQVIST, T. Principles of Extractive Metallurgy. 2. ed. Trondheim: Tapir Academic Press, 2004.

GREENWOOD, N. N.; EARNSHAW, A. Chemistry of the Elements. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.

HABASHI, F. Handbook of Extractive Metallurgy. Weinheim: Wiley-VCH, 1997.



OBRIGADO!
CONTINUE ESTUDANDO.