

TRATAMENTO DE EFLUENTES

Aula 1 – Geração de efluentes líquidos na
indústria mineral

Prof^a Elenice Schons

EMENTA:

- * Geração de efluentes líquidos na indústria mineral.
- * Principais poluentes e impactos ambientais.
- * Processos de tratamento.
- * Legislação que define padrões de qualidade para emissão e/ou reutilização de água.

AULAS:

- * 15/02
- * 16/02: até 11:40h
- * 22/03
- * 23/03
- * ?

AValiação:

- * Seminário:
 - * Estudo de caso: impacto ambiental causado por efluente líquido em mineração.
 - * Grupo: 5 pessoas.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA:

- * ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. **Introdução à química ambiental**. 2ª edição. Editora Bookman, Porto Alegre, 2004.
- * BAIRD, COLIN. **Química Ambiental**. São Paulo: ARTMED, 2002.
- * BRAGA, B.; HESPANHOL, I. **Introdução à engenharia ambiental**. Prentice Hall Brasil, 2005.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- * ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
- * MACÊDO, J. A. B. **Introdução à química ambiental**. CRQ/MG, 2002.
- * BROOKS, D. B. **Conservation of minerals and of the environment**. World mineral supplies - assessment and perspective. Amsterdam: Elsevier, 1976.
- * BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 215p.
- * BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Elementos de ciências do ambiente**. São Paulo: CETESB, 1987.

CONTATO:

- * **E-mail:**

- * elenice@catalao.ufg.br

- * eschons@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

- * 1987, a Comissão Mundial da ONU sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento definiu:

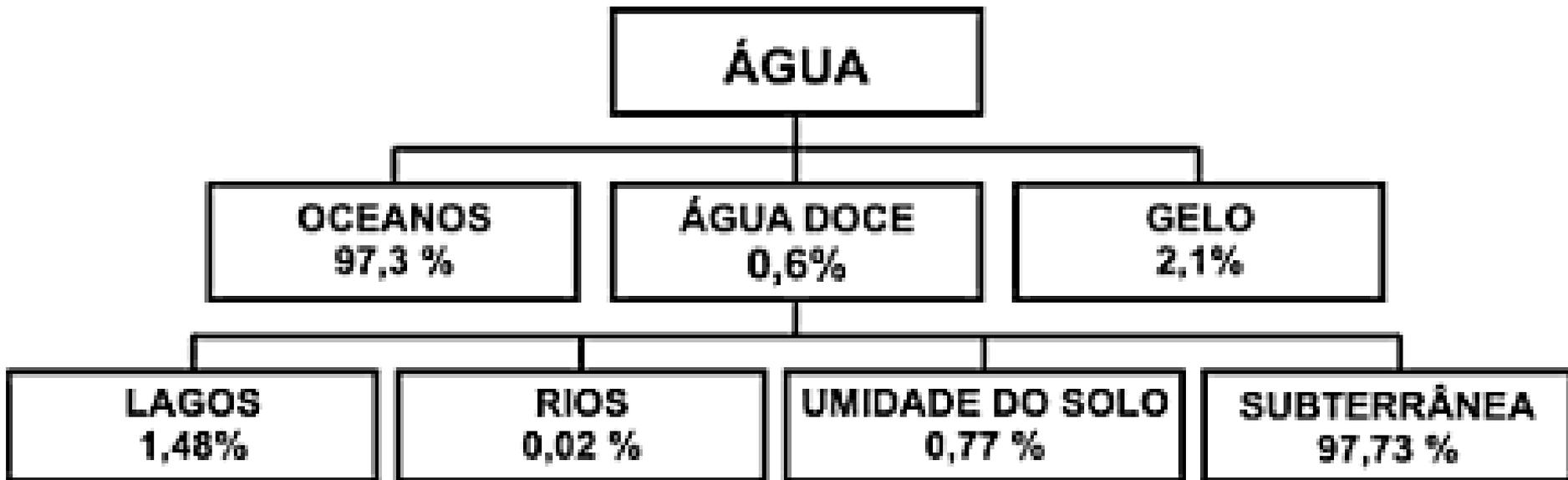
“Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades.”

INTRODUÇÃO

- * Segundo resolução **CONAMA 020/86**, as águas podem ser classificadas em:
 - * **Águas doces:** águas com salinidade igual ou inferior a 0,50%.
 - * **Águas salobras:** águas com salinidade igual ou inferior a 0,5% e 30%.
 - * **Águas salinas:** águas com salinidade igual ou superior a 30%.

INTRODUÇÃO

Distribuição da água no planeta



INTRODUÇÃO

Conceito de poluição

A importância de água para a manutenção da vida

Quantidade
de água disponível

Qualidade da água
disponível

Controle da poluição

INTRODUÇÃO

- * Nos últimos 15 anos a oferta de água limpa disponível/habitante diminuiu $\approx 40\%$.
- * O uso da água na agricultura deverá aumentar nos próximos anos.
- * Em 20 anos deverá ocorrer uma crise relacionada a disponibilidade de água.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui 12% da água doce disponível no mundo

9,6% na região Amazônica

2,4% no resto do país

Atende 5% da população

Atende 95% da população

Legislação: tipos de poluição da água

Pontual

Descarga de efluentes a partir de indústrias e de estações de tratamento de esgoto

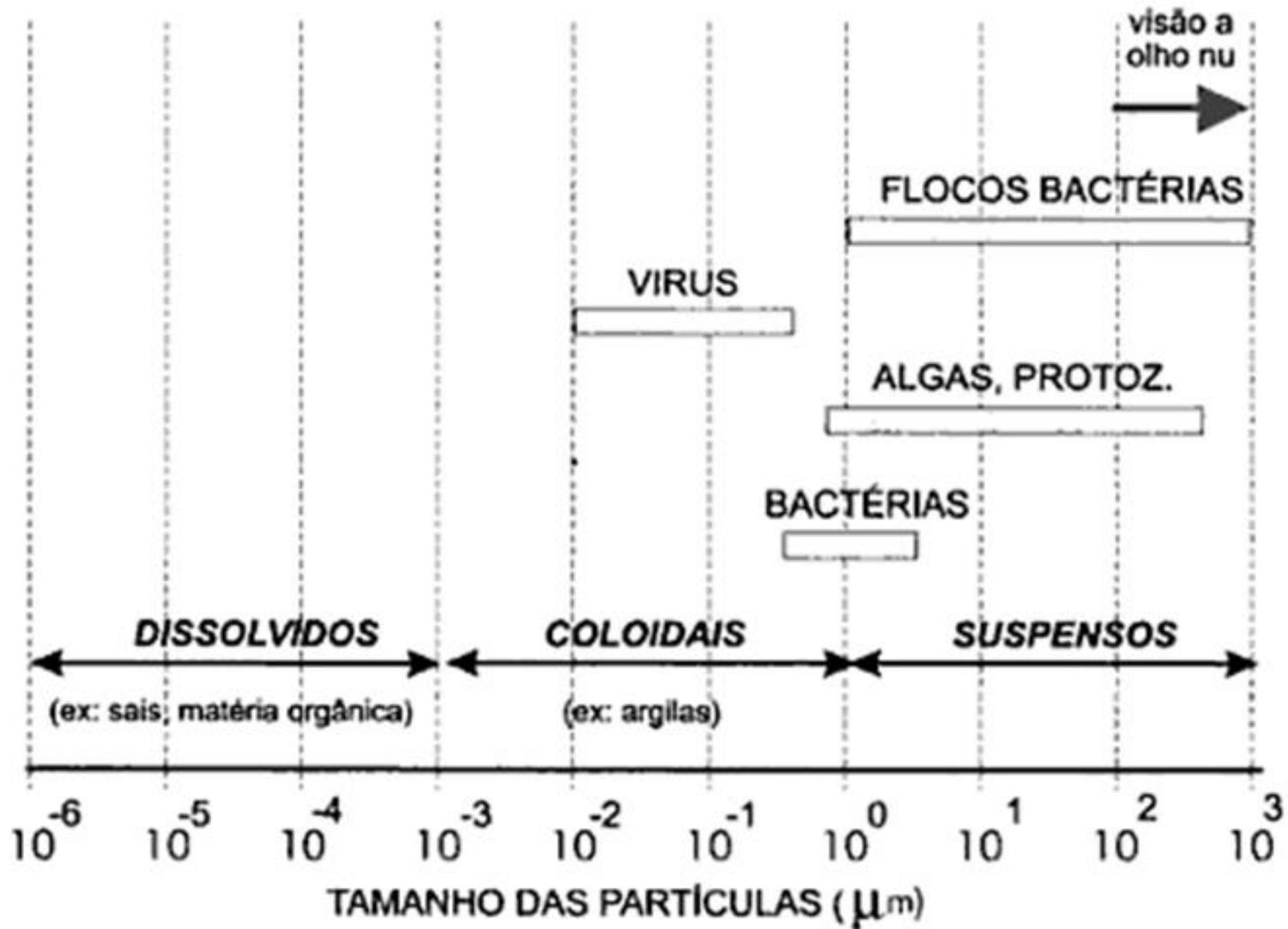
São bem localizadas, fáceis de identificar e de monitorar

Difusa

Escoamento superficial urbano, escoamento superficial de áreas agrícolas e deposição atmosférica

Espalham-se por toda a cidade, são difíceis de identificar e tratar

Distribuição dos sólidos em função do tamanho



INTRODUÇÃO

- * Os efluentes líquidos podem ser classificados em função da vazão, natureza ou índice de periculosidade:
 - * Efluentes de pequeno porte $< m^3/d$
 - * Efluentes de médio porte $> m^3/h$
 - * Efluentes de grande porte $> m^3/s$
- * Inorgânicos, orgânicos, biodegradáveis, inflamáveis, corrosivos e emulsões;
- * Reativos, tóxicos ou voláteis.

INTRODUÇÃO

- * **Metais pesados:**

- * São metais altamente reativos e bioacumuláveis (os organismos não são capazes de eliminá-los).
- * Os metais pesados que são considerados micronutrientes para as plantas, podem ser classificados como:
 - * **Essenciais:** Cu, Fe, Mn, Mo, Zn;
 - * **Benéficos:** Co, Ni, V;
 - * **Não essenciais ou sem função:** Al, Cd, Cr, Hg, Pb etc.

INTRODUÇÃO

- * **Minamata, Japão, 1956**

- * *No dia 21 de abril, uma criança com disfunções do sistema nervoso dá entrada no Hospital Shin Nihon Chisso. Logo em seguida, no dia 1º de maio, quatro outros pacientes com sintomas similares aparecem no Centro de Saúde Pública de Kumamoto. Esta última acabou sendo a data oficial da descoberta do Mal de Minamata, doença cerebral causada pela ingestão de mercúrio*

INTRODUÇÃO

- * **Arsênio:**

- * Causa problemas nos sistemas respiratório, cardiovascular e nervoso.

- * **Chumbo:**

- * Atinge o sistema nervoso, a medula óssea e os rins.

- * **Cádmio:**

- * Causa problemas gastrointestinais e respiratórios.

INTRODUÇÃO

- * **Mercúrio:**

- * Se concentra em diversas partes do corpo como pele, cabelo, glândulas sudoríparas e salivares, tireóide, sistema digestivo, pulmões, pâncreas, fígado, rins, aparelho reprodutivo e cérebro, provocando inúmeros problemas de saúde.

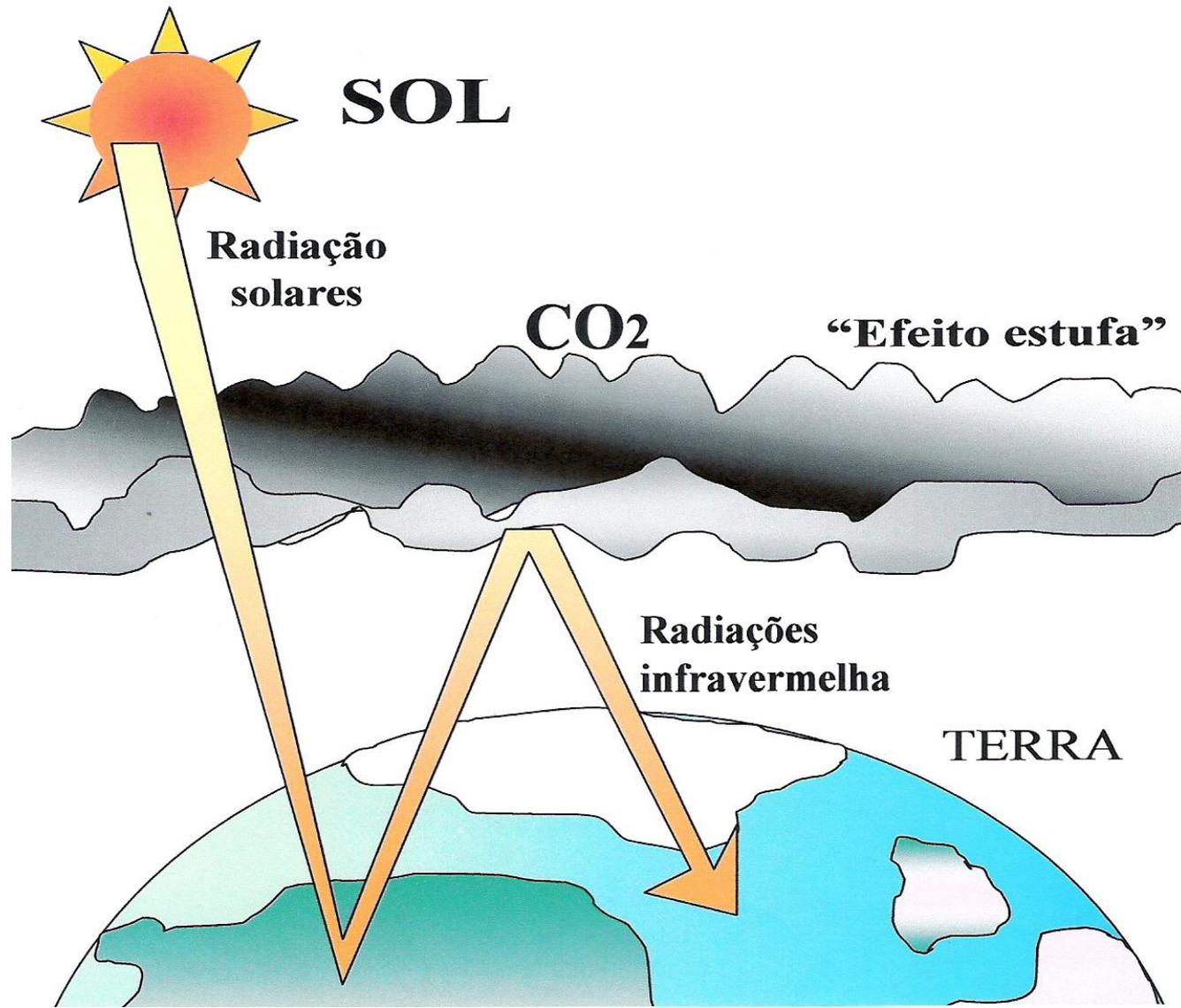
- * **Cromo:**

- * Provoca irritação na pele e, em doses elevadas, câncer.

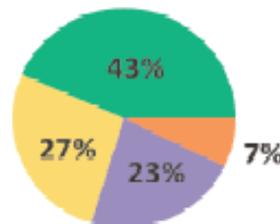
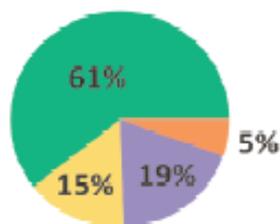
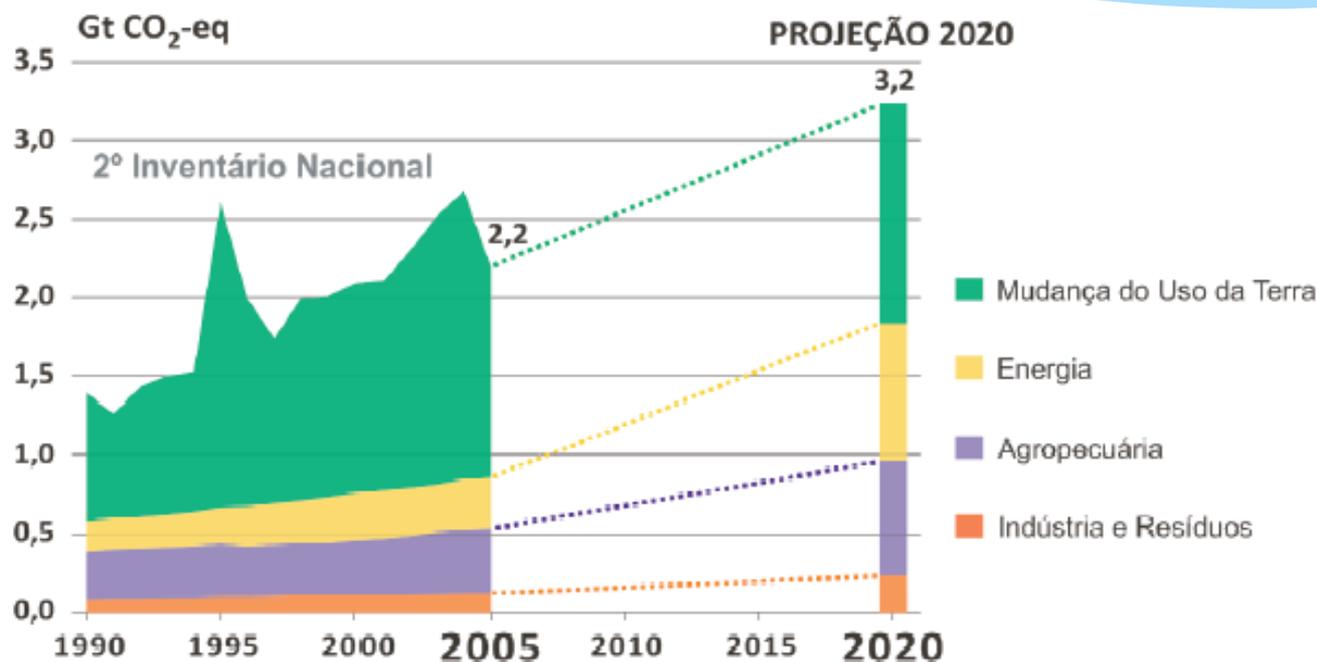
- * **Manganês:**

- * Causa problemas respiratórios e efeitos neurotóxicos.

Aquecimento global X mineração



Emissões brasileiras de CO₂eq até 2005 e projeções para 2020 apresentadas no Decreto nº 7.390/2010



Fonte: MMA (2011)

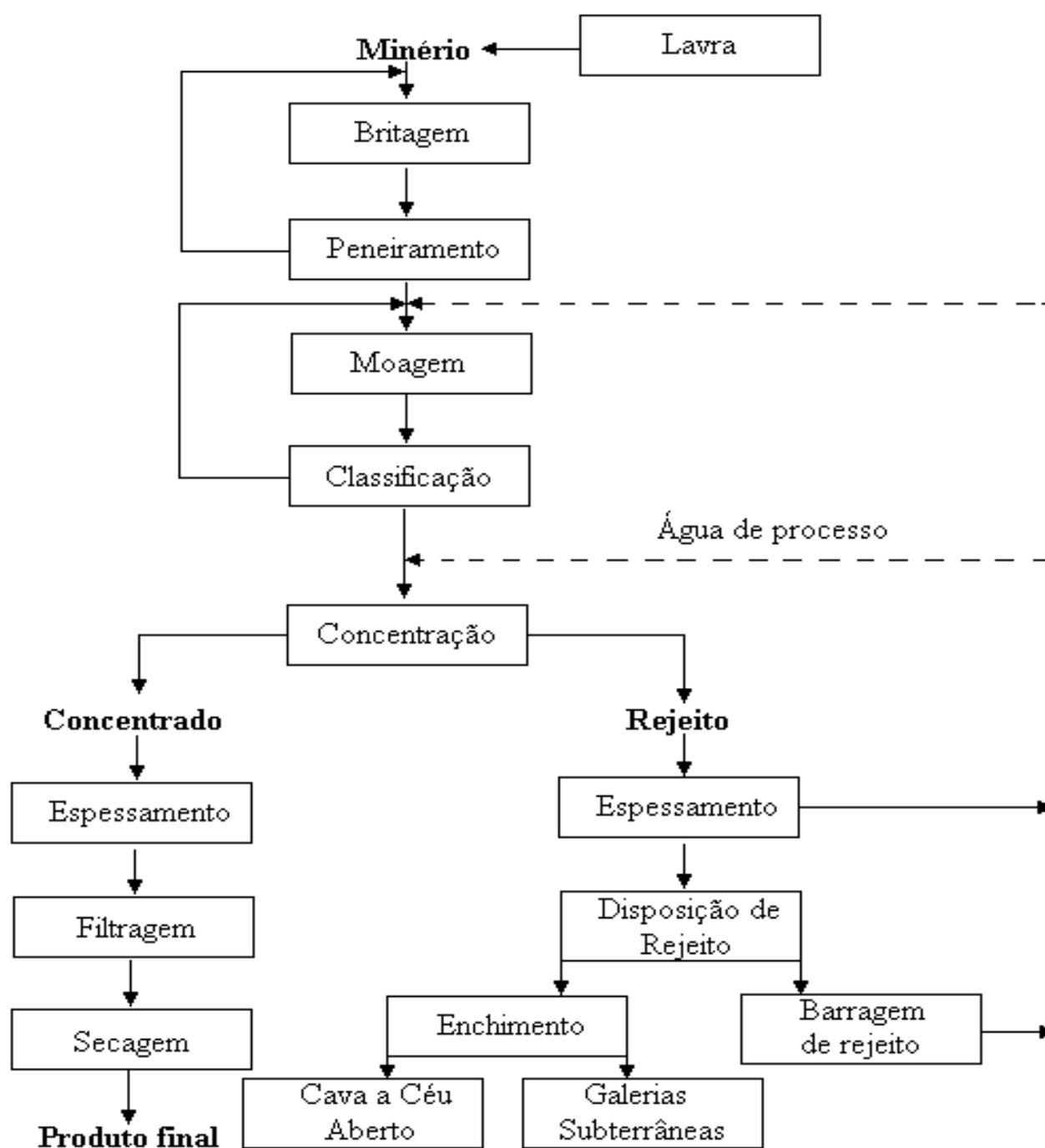
INTRODUÇÃO

- * **Indústria mineral**

- * Atividades de lavra e processamento mineral: utilizam grandes volumes de água.
 - * **Contaminantes:** reagentes químicos, óleos e material particulado.

- * **Indústria metalúrgica**

- * Geração de efluentes líquidos contendo metais pesados, óleos (solventes orgânicos), sólidos finos ou coloidais (lodos), gases (SO_2 , NO_x) e deposição de rejeitos sólidos (piritosos).



LAVRA

- * **Mineração a céu aberto:**

- * Oferece um caminho direto à entrada das águas de chuva e escoamento superficial, na cava criada pela lavra, mas também das águas subterrâneas interceptadas.
- * Quando é empregada a lavra de transferência (preenchimento dos setores já explorados com estéreis das frentes de lavra) os estéreis devem ser quimicamente inertes, para evitar contaminação das águas por lixiviação.

Mina de ferro (Várzea do Lopes - Gerdau)



LAVRA

- * **Lavra subterrânea:**

- * A escavação pode interconectar aquíferos, e os abatimentos e subsidências podem ocasionar a conexão com aquíferos de capa, ou provocar o acesso de águas superficiais.
- * A descompressão dos materiais da lapa pode dar lugar ao acesso de águas subjacentes.

Mina subterrânea de cobre da Mineração Caraíba



LAVRA

- * Reação típica do Anfo:



- * Pode haver a liberação de: NO, NO₂ e CO, altamente tóxicos.

PROCESSAMENTO MINERAL

- * **Concentração**, no processamento mineral significa:
 - * Remover a maior parte da ganga, presente em maior proporção no minério.
- * Para um minério ser concentrado, é necessário que os minerais estejam fisicamente liberados.

PROCESSAMENTO MINERAL

- * Condições para que o processo de concentração ocorra:
 - * **Liberabilidade:** possibilidade de obter partículas livres;
 - * **Diferenciabilidade:** propriedades diferenciadoras;
 - * **Separabilidade:** possibilidade de compor campos de uma força em que as partículas tomam diferentes trajetórias.

PROCESSAMENTO MINERAL

- * Processos de concentração:
 - * **Processos físicos:**
 - * Concentração gravítica
 - * Separação eletrostática
 - * Separação magnética
 - * **Processo químico:**
 - * Flotação

PROCESSAMENTO MINERAL

- * Flotação:

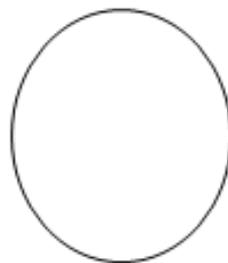
- * Processo de concentração que se baseia nas diferenças de propriedades de superfície dos minerais de possuir ou não afinidade com a água.

H₂O



MINERAL

Ar



MINERAL

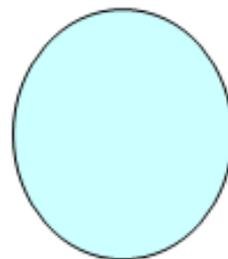
**Mineral
Hidrofílico**

Ar



MINERAL

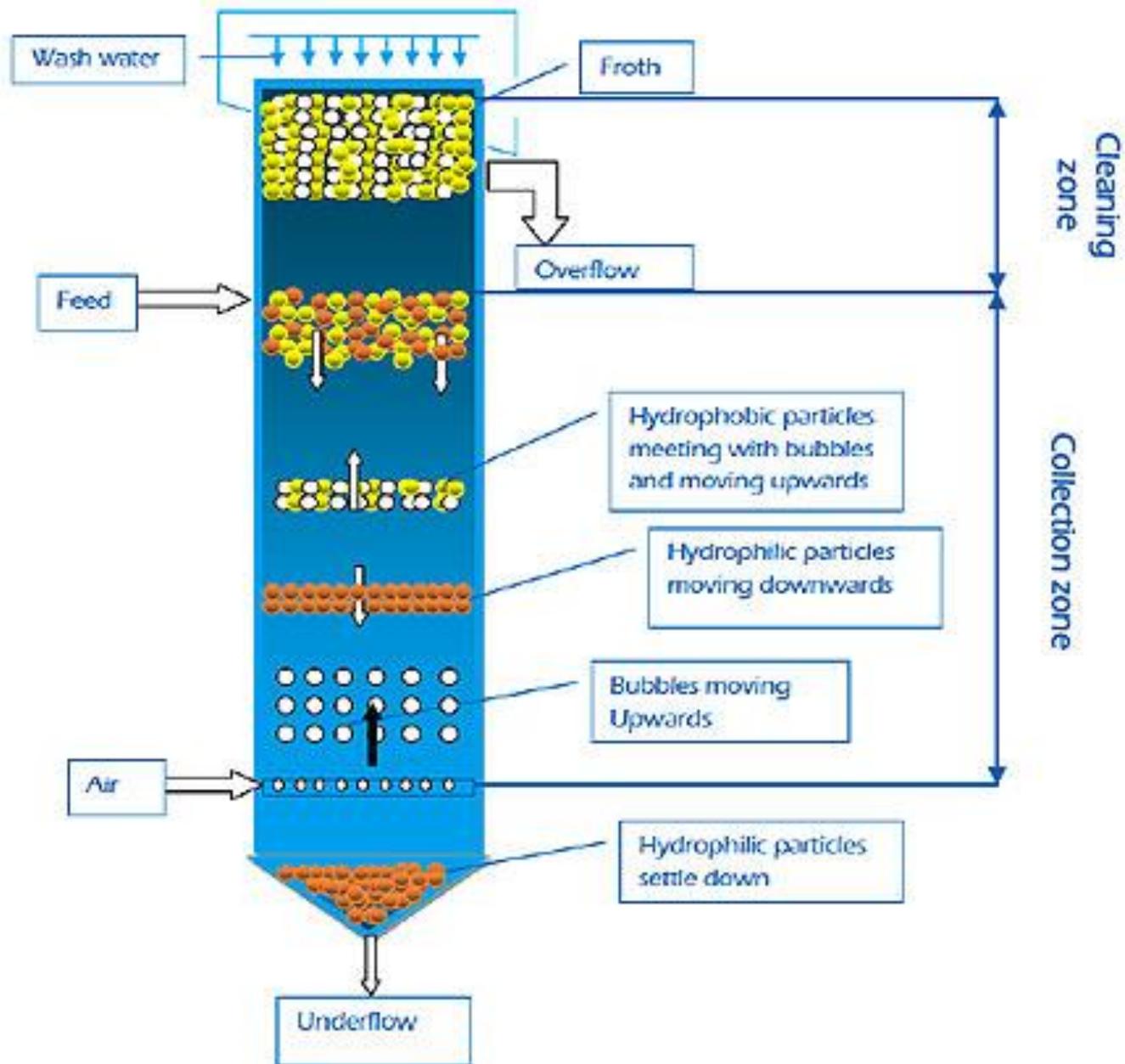
H₂O



MINERAL

**Mineral
Hidrofóbico**

Column Flotation in Operation



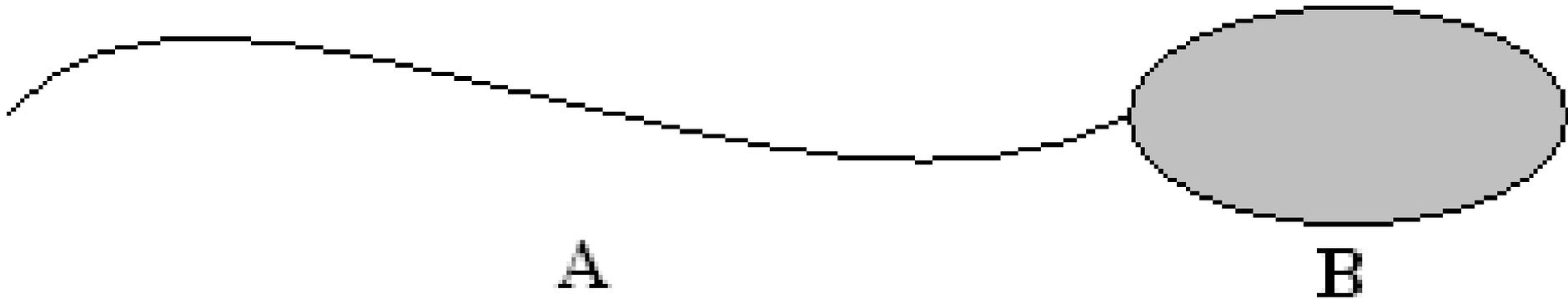
PROCESSAMENTO MINERAL

- * Reagentes químicos na flotação:
 - * **Coletor:** substância capaz de adsorver à superfície do mineral e torná-la hidrofóbica;
 - * **Depressor:** substância que impede a adsorção do coletor nas partículas que se deseja manter hidrofílica;
 - * **Ativador:** ativa a superfície das partículas minerais para que o coletor adsorva;

PROCESSAMENTO MINERAL

- * **Sequestradores:** precipitam íons que podem causar ação depressora indesejável;
- * **Reguladores de pH:** os minerais flutam em pH ideais;
- * **Espumantes:** surfactantes com estrutura anfipáticas que conferem estabilidade às bolhas.

Representação da molécula de surfactante:
A – região apolar (hidrofóbica) e B – região polar (hidrofílica)



METALURGIA EXTRATIVA (HIDROMETALURGIA)

- * Processo de lixiviação seletiva (dissolução) dos componentes valiosos de minérios e sua posterior recuperação por diferentes métodos.
- * Emprego de soluções aquosas como agente de dissolução.

Agentes lixiviantes mais comuns:

Mineral/Metal	Reagente
Óxidos	H_2SO_4
Sulfatos	H_2O, H_2SO_4
Sulfetos	$Fe_2(SO_4)_3$
Cu, Ni	NH_3, NH_4CO_3
$Al(OH)_3$	NaOH
Au, Ag	NaCN

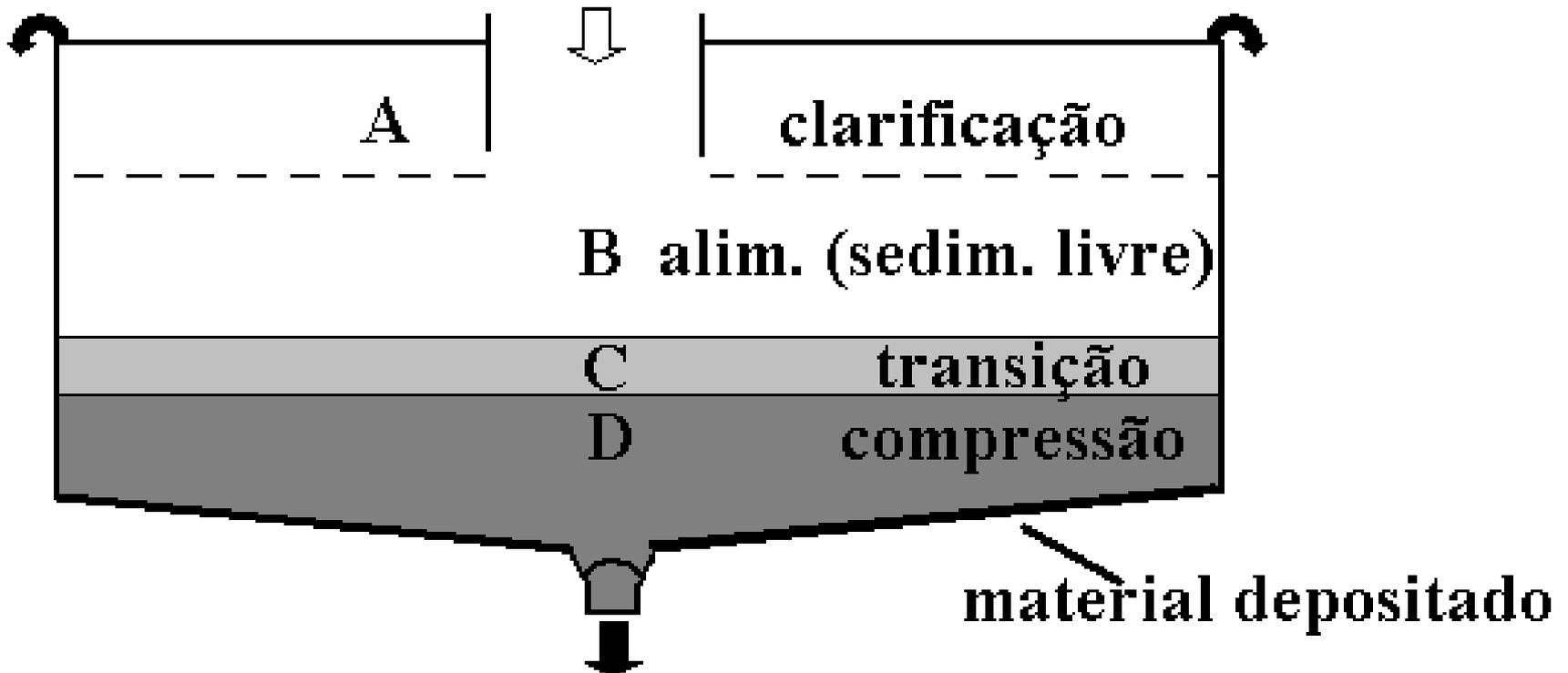
Metal	Minério	Preparo	Lixiviação
Al	Bauxita	Britagem e moagem	Sob pressão, com NaOH
Cu	Óxidos e carbonatos	Britagem e moagem	Com H ₂ SO ₄ , em pilhas
Au, Ag	Nativo e associado a sulfetos	Britagem, moagem, concentração gravítica e flotação	Com NaCN e injeção de ar (ou O ₂)
Zn	Esfaleritas (ZnS)	Britagem, moagem, flotação e ustulação	Com H ₂ SO ₄
Ni, Co	Lateritas	Britagem, moagem e pré-redução	Amoniacal (ou sob pressão com H ₂ SO ₄)

PROCESSOS DE DESAGUAMENTO

- * **Espessamento**
- * **Filtragem**
- * **Ciclonagem**
- * **Peneiramento**

PROCESSOS DE DESAGUAMENTO

* Espessamento



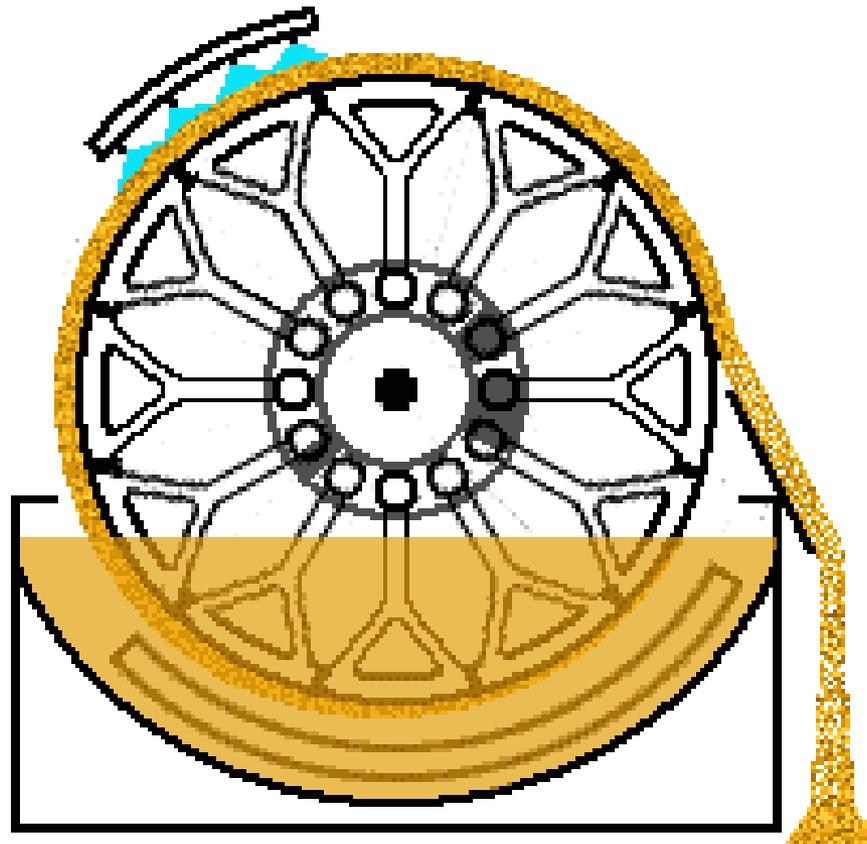


2006 6 24

CSN- Congonhas/MG

PROCESSOS DE DESAGUAMENTO

* Filtragem





Filtro de discos

ÁGUA NA MINERAÇÃO

- * Os efluentes líquidos contêm, na maioria dos casos, sólidos em suspensão e reagentes utilizados no processamento mineral e processo metalúrgico dos concentrados.

ÁGUA NA MINERAÇÃO

- * **Impactos na lavra:**

- * Ruídos

- * Poeira

- * Contaminação do solo por explosivos

- * Drenagem ácida (onde estão presentes metais pesados e ânions)

ÁGUA NA MINERAÇÃO

- * **Metais mais comuns na drenagem ácida:**

- * Cobre (Cu)
- * Níquel (Ni)
- * Chumbo (Pb)
- * Zinco (Zn)
- * Mercúrio (Hg)
- * Ferro (Fe)

ÁGUA NA MINERAÇÃO

* Ânions:

* Sulfato (SO_4^{2-})

* Fosfato (PO_4^{3-})

* Arseniato (AsO_4^{3-})

* Cianeto (CN^-)

* Fluoreto (F^-)

* Telurato

* Molibdato

ÁGUA NA MINERAÇÃO

- * **Além desses poluentes, é comum:**
 - * O derramamento de óleos e graxas
 - * A utilização de solventes orgânicos
 - * A emissão de gases
 - * O descarte de plásticos
 - * A geração de lodos (precipitados)

ÁGUA NA MINERAÇÃO

- * A geração de rejeitos produtores de ácidos
- * A poluição visual
- * Alterações da biodiversidade
- * Deposição-estocagem de rejeitos (bacias, cavas, pilhas)
- * Geração/liberação de elementos radioativos
- * A combustão espontânea (pirita do carvão, por exemplo)

ÁGUA NA MINERAÇÃO

- * **Impactos no beneficiamento:**

- * Geração de efluentes líquidos contendo metais pesados e ânions tóxicos;
- * Geração de sólidos (às vezes coloidais);
- * Geração/utilização/descarte de resíduos orgânicos (espumantes, surfactantes, óleos);
- * Produção de poeira e ruídos nas etapas de cominuição.

ÁGUA NA MINERAÇÃO

- * **Impactos na metalurgia extrativa/processamento metalúrgico:**
 - * Efluentes líquidos contendo metais pesados, ânions, compostos orgânicos e metálicos tóxicos, óleos (solventes orgânicos) emulsificados ou não, sólidos finos ou coloidais (lodos);
 - * Gases (SO_2 , NO_x) e aerossóis (óxidos de arsênio, *fly ash*);
 - * Deposição de rejeitos sólidos (piritosos).



Mina de Sossego (Cobre) Vale - Carajás/PA

ÁGUA NA MINERAÇÃO

- * Impactos no desaguamento:

- * Lei de Stokes:

$$V = \frac{(\rho_s - \rho_f) b D_p^2}{18 \mu_f}$$

- * **b**: intensidade do campo exterior.

ÁGUA NA MINERAÇÃO

- * **Impactos no desaguamento:**

- * A aglomeração dos sólidos com dimensões coloidais é essencial para o bom desempenho dos processos de desaguamento.
- * Dois processos: **coagulação** e **floculação**.

COAGULAÇÃO

- * É a agregação obtida através da redução da repulsão eletrostática, das duplas camadas elétricas, existente entre partículas em suspensão, por meio da adição de eletrólitos inorgânicos.
- * Há a formação de pequenos agregados, chamados **coágulos**.

COAGULAÇÃO

- * Os coagulantes mais usados são eletrólitos solúveis em água, com baixa massa molecular, sendo representados principalmente por ácidos, bases, sais contendo cátions (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{3+}), silicatos, polifosfatos e fluoretos.

MECANISMOS DE COAGULAÇÃO

- * Mecanismos que atuam na coagulação:
 - * Compressão da camada difusa;
 - * Adsorção e neutralização;
 - * Varredura;
 - * Adsorção e formação de pontes.

MECANISMOS DE COAGULAÇÃO

* **Compressão da Camada Difusa**

- * Esse mecanismo faz com que ocorra a desestabilização das partículas coloidais pela adição de íons de carga contrária.
- * A desestabilização de um colóide por um eletrólito indiferente, ocorre devido às interações eletrostáticas, ou seja, íons de mesma carga são repelidos e de carga contrária são atraídos pelos colóides.

MECANISMOS DE COAGULAÇÃO

* **Adsorção e Neutralização de Carga**

- * Na desestabilização dos colóides ocorrem interações coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente.
- * O mecanismo de adsorção e neutralização de cargas deve ser utilizado quando, após a coagulação, ocorrer a filtração direta, fazendo com que as partículas desestabilizadas fiquem retidas no interior do meio filtrante.

MECANISMOS DE COAGULAÇÃO

* **Varredura**

- * Neste mecanismo conforme a quantidade de coagulante adicionada ao meio, do pH da mistura, da concentração de alguns íons presentes na água, poderá ocorrer a formação de precipitados.
- * O mecanismo de varredura vem sendo bastante utilizado em estações de tratamento de água, com floculação e sedimentação e posterior filtração.

MECANISMOS DE COAGULAÇÃO

- * **Adsorção e Formação de Pontes**

- * Este mecanismo envolve a utilização de compostos orgânicos (polímeros) sintéticos ou naturais, os quais apresentam sítios ionizáveis ao longo de sua cadeia, servindo de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas, podendo ser classificados como catiônicos, aniônicos ou anfóteros.

MECANISMOS DE COAGULAÇÃO

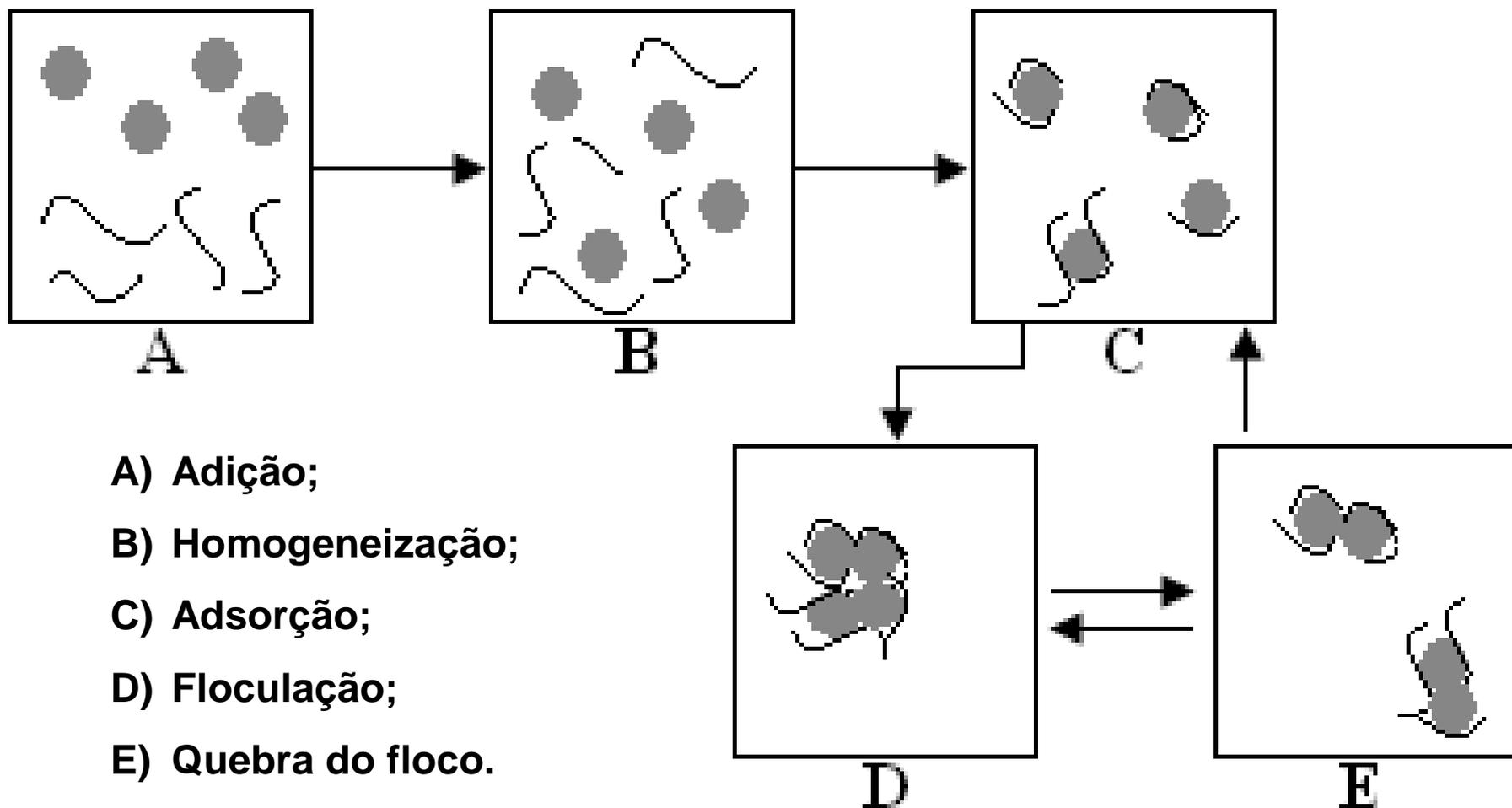
- * Este comportamento dos polímeros como coagulante pode ser explicado baseando-se na sua adsorção à superfície das partículas coloidais, seguida pela redução de carga ou pelo entrelaçamento das partículas na cadeia do polímero.

FLOCULAÇÃO

- * É a agregação obtida por intermédio de polímeros orgânicos de elevada massa molecular, os chamados **floculantes**.
- * Estes realizam a ligação entre as partículas servindo como pontes e originando agregados chamados **flóculos** ou **flocos**.

MECANISMOS DE FLOCULAÇÃO

- * Os principais mecanismos de floculação são:
 - * Homogeneização do polímero na suspensão;
 - * Adsorção na superfície do sólido;
 - * Acomodação das moléculas adsorvidas;
 - * Formação, crescimento e quebra dos flocos.



A) Adição;

B) Homogeneização;

C) Adsorção;

D) Floculação;

E) Quebra do floco.

FLOCULAÇÃO

- * A ocorrência de colisões entre as partículas é fundamental para que exista a agregação.
- * O movimento browniano, devido à energia térmica, proporciona colisões que podem resultar em agregação lenta.

FLOCULAÇÃO

- * A frequência e intensidade das colisões pode aumentar utilizando-se uma agitação externa.
- * A velocidade de floculação cresce com o aumento da agitação, até uma velocidade crítica.

FLOCULAÇÃO

- * A partir da velocidade crítica as forças de cisalhamento resultantes da agitação promovem a quebra dos flocos.
- * A facilidade com que os flocos são quebrados aumenta significativamente com o tamanho.

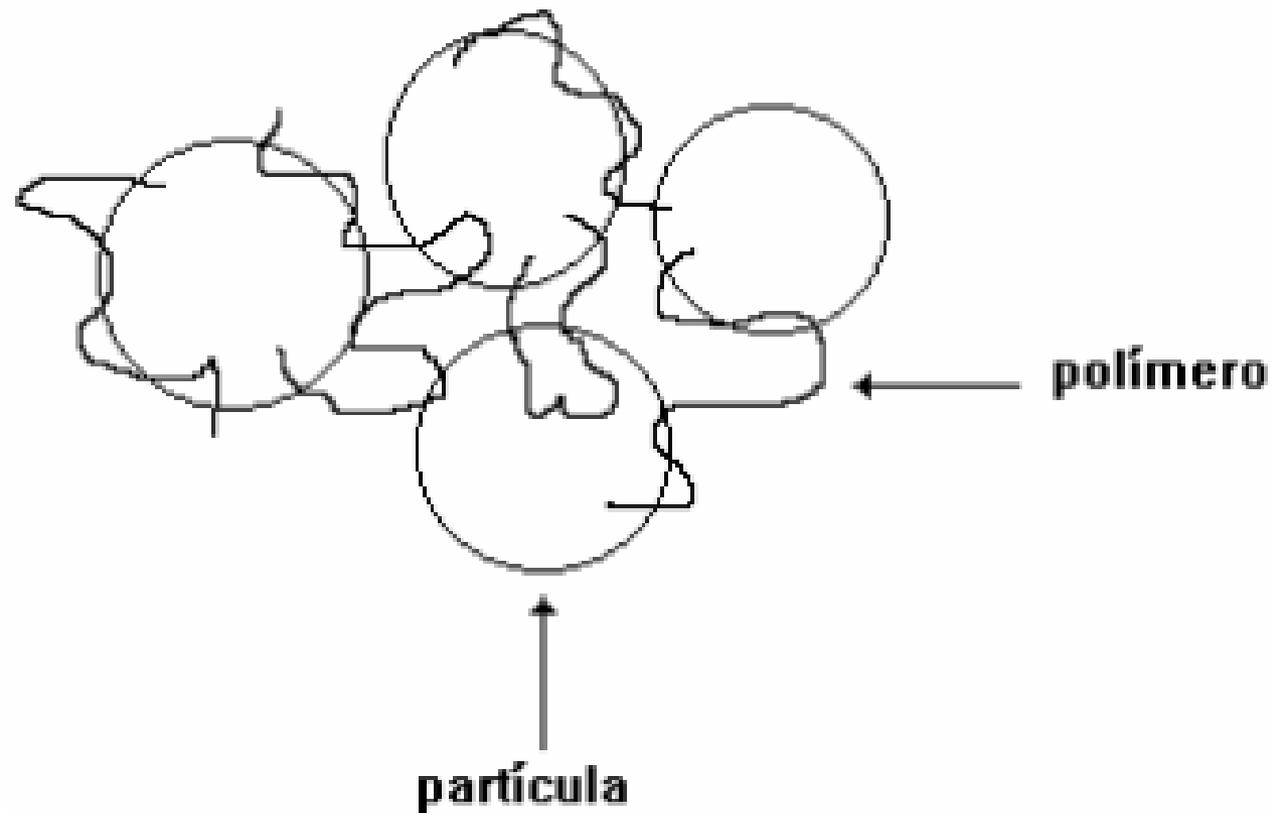
FLOCULAÇÃO

- * A adsorção de polímeros na superfície dos minerais pode estar relacionada com:
 - * **Ligações de hidrogênio**, onde o hidrogênio presente no polímero se liga a elementos muito eletronegativos como O, N e S presentes na superfície dos minerais;
 - * **Ligações específicas** quando há afinidade química entre polímero e superfície mineral (ligações iônicas e covalentes).

FLOCULAÇÃO

- * O mecanismo conhecido com formação de **pontes** acontece quando o polímero adsorve na superfície da partícula deixando segmentos da sua cadeia voltados, mais ou menos, estendidos, para a solução, onde certa quantidade de líquido é aprisionada.

FLOCULAÇÃO



FLOCULAÇÃO

- * Os polímeros utilizados na indústria mineral podem ser:
 - * Naturais (amidos);
 - * Sintéticos (poliacrilamidas, polioxidoetileno etc.).

FLOCULAÇÃO

- * Os floculantes naturais são, em geral, menos efetivos que os sintéticos considerando-se dosagens semelhantes.
- * Sua utilização na indústria é feita normalmente após preparo prévio da solução bastante diluída (entre 0,05 e 0,5%), em um tanque sob agitação.

FLOCULAÇÃO

- * Os polímeros podem conter sítios de carga:
 - * Positiva (catiônicos);
 - * Negativa (aniônicos);
 - * Sem carga (não iônicos).

FLOCULAÇÃO

- * As principais vantagens dos floculantes sintéticos são:
 - * Possibilidade de manipulação de sua estrutura, de forma a melhorar seu desempenho;
 - * Composição química definida;
 - * Ampla disponibilidade;
 - * Maior estabilidade química e biológica.

FLOCULAÇÃO

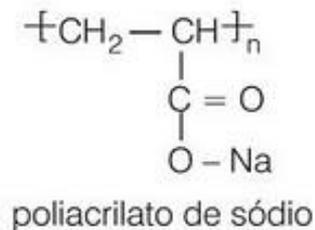
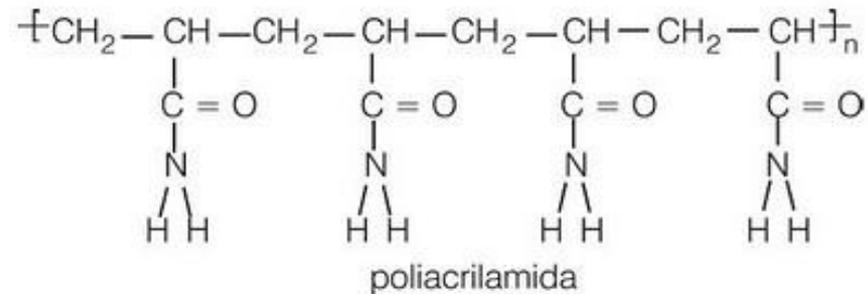
- * As desvantagens dos floculantes sintéticos são:
 - * Custo elevado;
 - * Dificuldade de manuseio;
 - * “Envelhecimento” da solução;
 - * Dificuldade de informações técnicas sobre o produto.

FLOCULAÇÃO

- * Os polímeros mais importantes na indústria mineral são:
 - * Poliacrilamida (PAM);
 - * Polioxidoetileno (POE).

POLIACRILAMIDA

- * É um polímero neutro, obtido a partir da polimerização da acrilamida:



POLIOXIDOETILENO

- * É um polímero neutro que se adsorve por meio de ligações de hidrogênio:



ENSAIOS NO JAR TEST

- * ***Jar test***

- * Determina a condição ótima para floculação de uma água caracterizada pelo tempo e agitação necessária.

- * **Dosagem ótima de reagente**

- * Determinada a dosagem ótima dos coagulantes, deve-se verificar qual o tempo e qual a velocidade ótima para se flocular o efluente.

ENSAIOS NO JAR TEST

