

QUIMICA AQUÁTICA: água natural

A água natural é um medicamento preparado e composto pela natureza (Rottureau)

Distribuição de água no Planeta

Superfície terrestre: 510 milhões km²>>> continentes: 149 milhões km²
água: 361 milhões km² (71%)
<> 1 400 milhões km³

Água >>> salgada: 1 365 milhões km³ (97,5%)
doce: 35 milhões km³ (2,5%)

calotes polares (3/4)
cursos de água
lagos (< 0,01%)
nuvens

ESCASSEZ DE ÁGUA DOCE

1/3 da população mundial
2/3 em 2025

água subterranea
aquiferos (~25%)

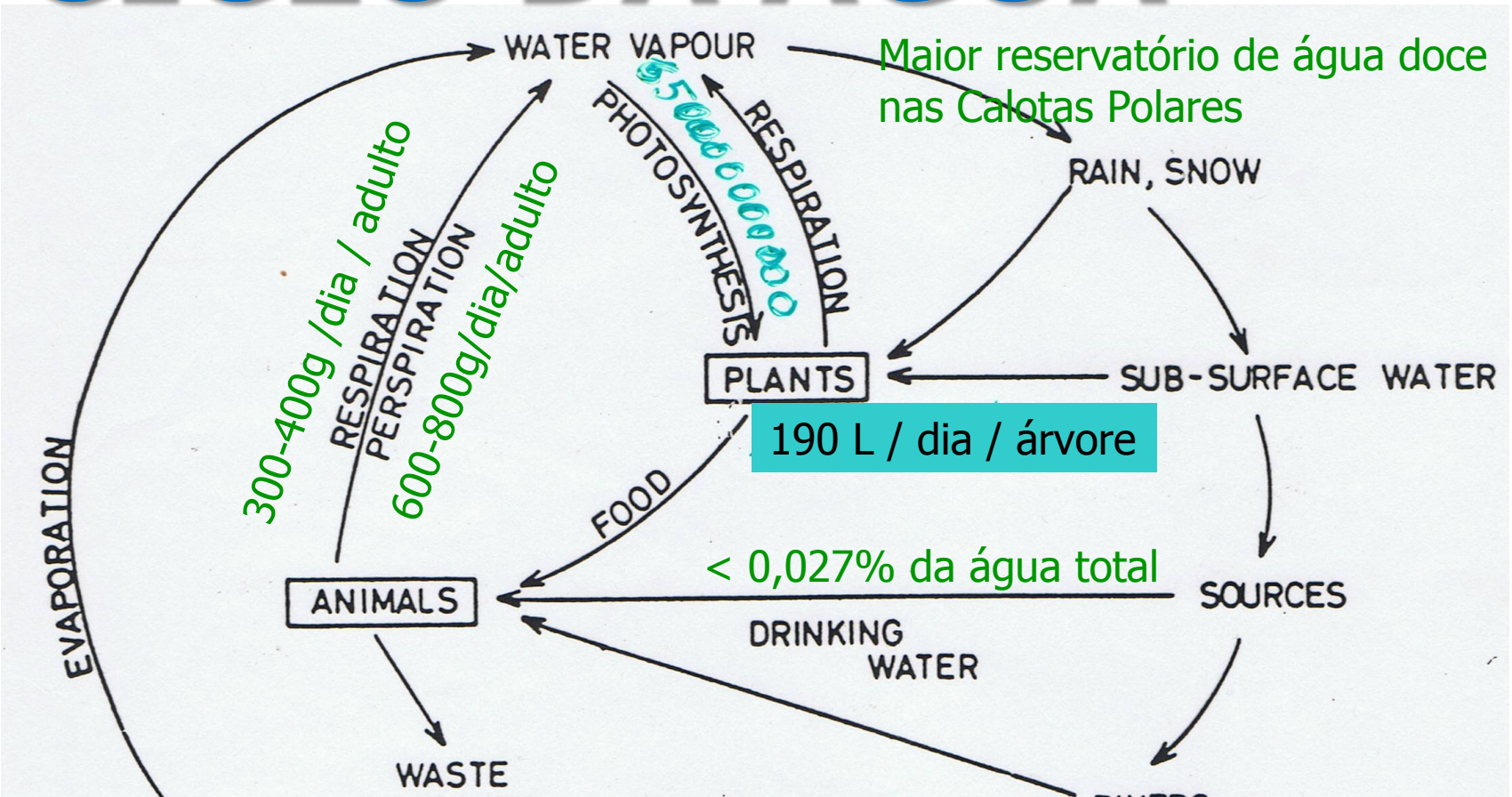
É renovavel mas não inesgotavel

Origem da água no Universo:

- ▶ 1ª hipótese: religiosa
- ▶ 2ª hipótese: colisão de cometas – planetas de grande massa do nosso sistema solar atraíram cometas de fora e, alguns com núcleos de gelo colidiram incessantemente com a Terra
- ▶ 3ª hipótese: poeira cósmica – moléculas de água nas partículas de silicatos e outros minerais hidratados aquando da formação da Terra teriam sido libertadas sob a forma de vapor tendo passado ao estado líquido aquando do arrefecimento progressivo da Terra.

Primeiro leito da água: Si, Al, Na, K e Ca

CICLO DA ÁGUA



350 000 000 000 000 t /ano

97%

Importancia no organismo humano:

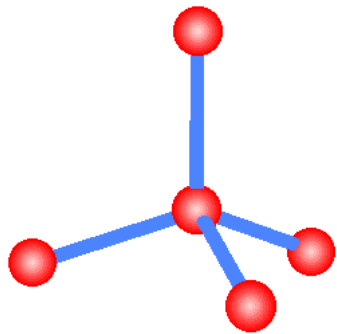
- ✓ 70% do corpo humano
- ✓ Mantêm a temperatura corporal
- ✓ Participa e permite mais de 50% de reacções no organismo
- ✓ Todo o equilíbrio electrolítico
- ✓ Movimento de nutrientes
- ✓ Processos de Digestão, Absorção, Circulação e Excreção
- ✓ Líquido sinovial e líquido cefalorraquidiano no sistema nervoso
- ✓ Transmissão da luz nos olhos e dos sons nos ouvidos
- ✓ Organismo perde em média 0,946 a 2,838 Litros/dia
- ✓ Desidratação de 2% diminui em cerca de 15% a capacidade de trabalho e provoca taquicardia.

O **único** líquido natural inorgânico
que é essencial para a manutenção da VIDA orgânica

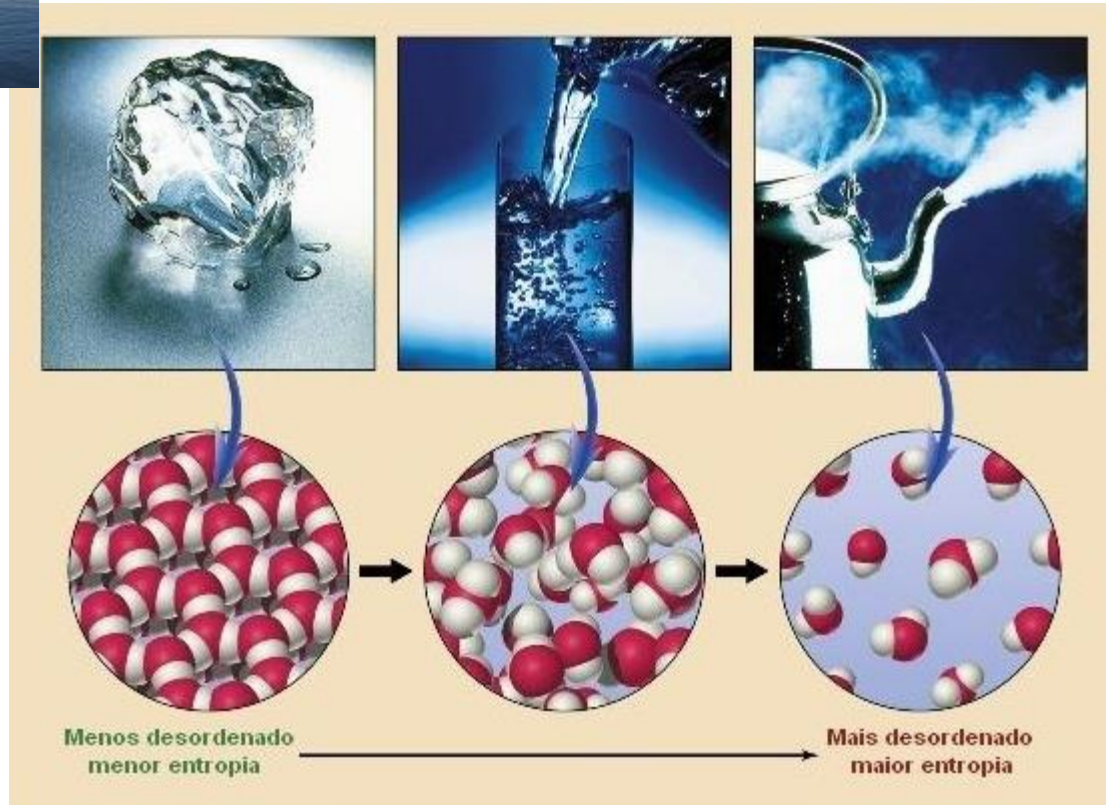




Azul –
Côr intrínseca da água



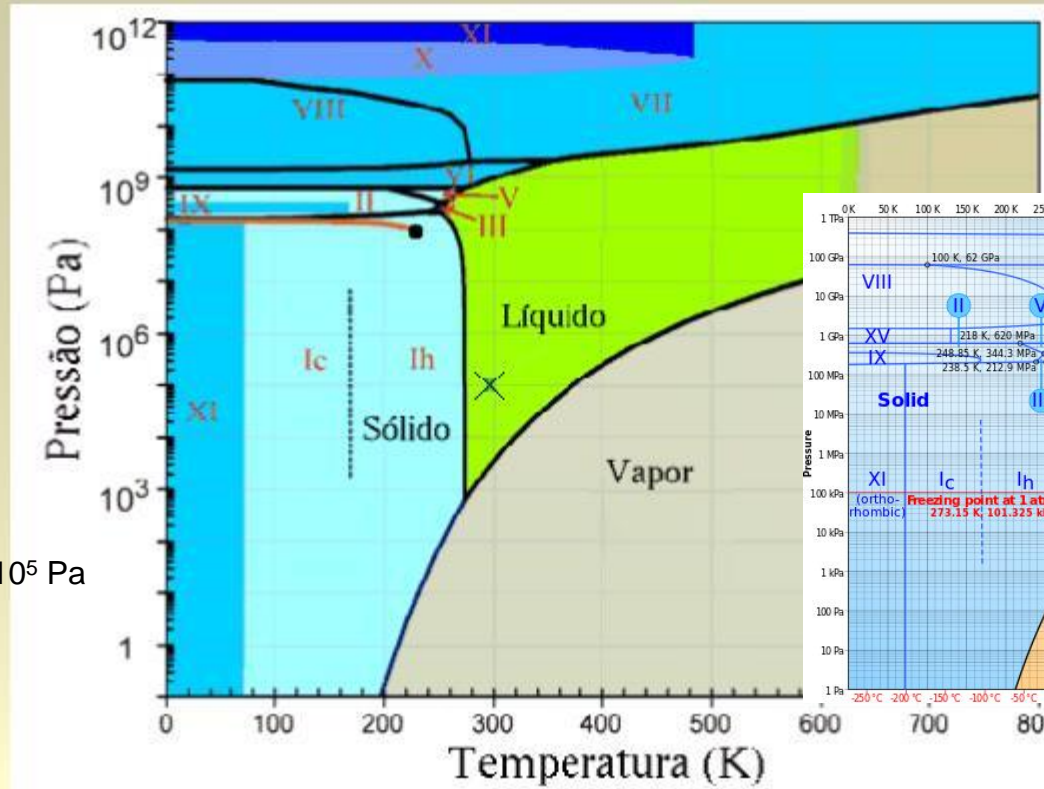
Pentâmero da água
4 ligações de hidrogénio



TDM $\approx 4^{\circ}\text{C}$ a 1 bar

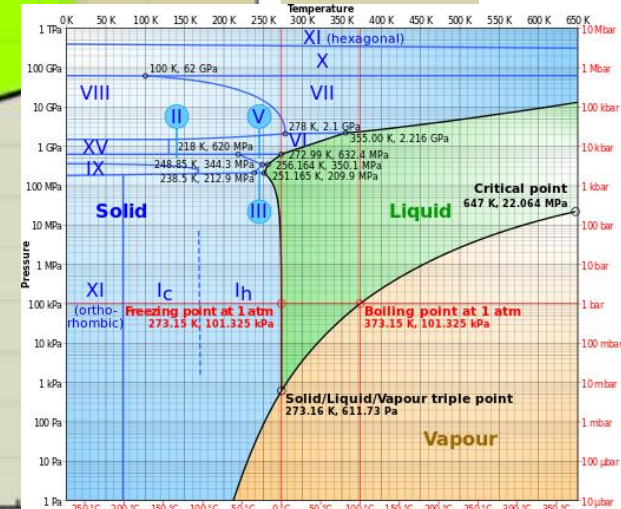
A temperaturas até 10°C qualquer grande massa de água é mais fria próximo da superfície

Diagrama de fases P x T para a água



Phase diagram of water- CmGL

1 atm = $1,01325 \times 10^5$ Pa



Linha de equilíbrio sólido-líquido com inclinação à esquerda

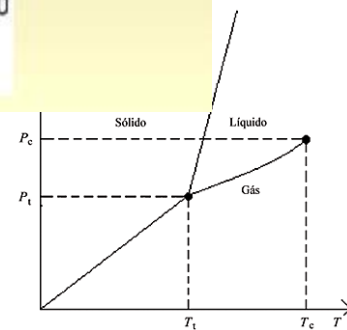


Figura 1 - Diagrama de fases de um fluido simples

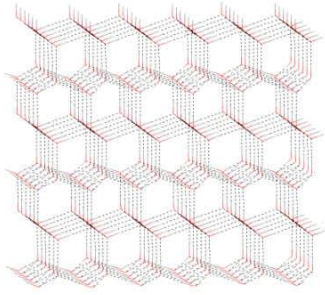
Composição isotópica:

	$^1\text{H}_2\text{O}$	$^2\text{H}_2\text{O}$	$^1\text{H}_2^{18}\text{O}$	$^2\text{H}_2^{18}\text{O}$	$^3\text{H}_2\text{O}$
Densidade Máxima (kg m ⁻³)	999,972	1106,00	1112,49	1215,01	1216,88
TDM (° C)	3,984	11,185	4,211	13,403	11,438
				$^1\text{H}_2^{17}\text{O}$	$^1\text{H}^2\text{HO}$
Proporções de abundância natural/ppm	997280		2000	400	320

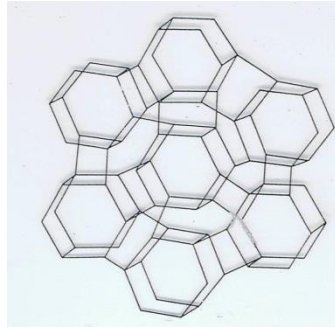
^3H isotopo radioactivo T1/2= 12,6 anos
 determinação da “idade aparente” das águas e na
 caracterização da dinâmica dos sistemas de fluxo subterrâneo.

- ✓ Origem das águas
- ✓ Engenharia
- ✓ Datação

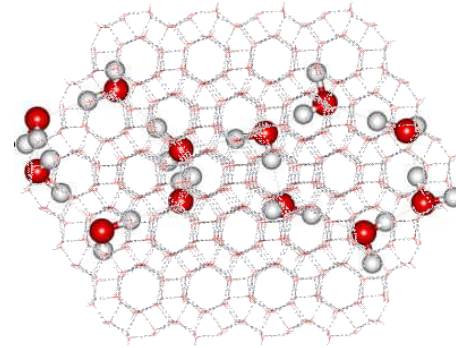
Até este momento conhecem-se **15 “gelos”** diferentes - 15 modos diferentes de as moléculas de água se arrumarem no estado sólido – Formas polimórficas



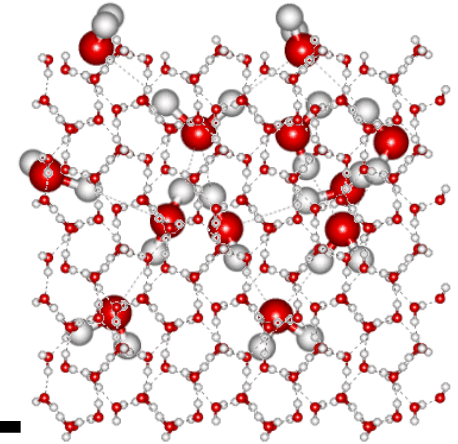
gelo Ih



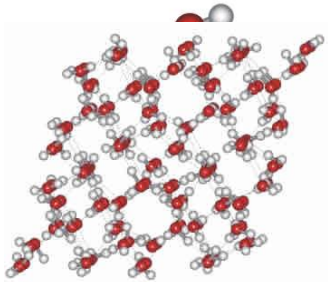
gelo Ic – 900kg/m³



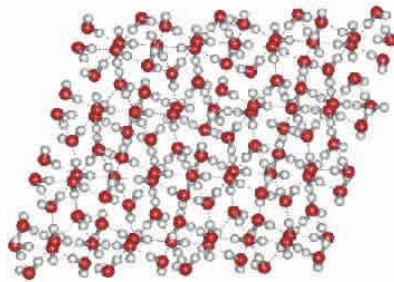
gelo II- 1,2 kg/m³



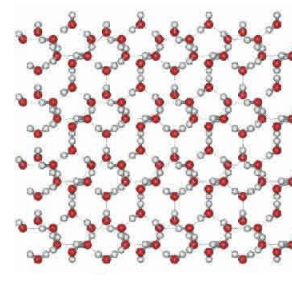
gelo III
1,1 kg/m³



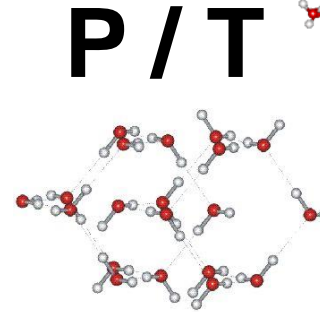
gelo IV



gelo V- 1,2 kg/m³



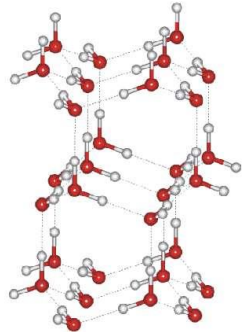
gelo VI- 1,3kg/m³



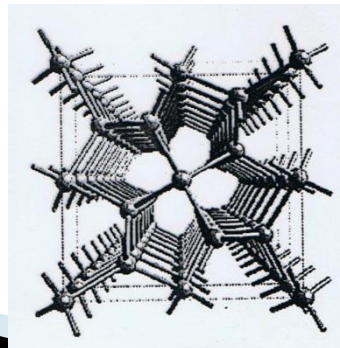
gelo VII- 1,7 kg/m³

gelo IX
1,2 kg/m³

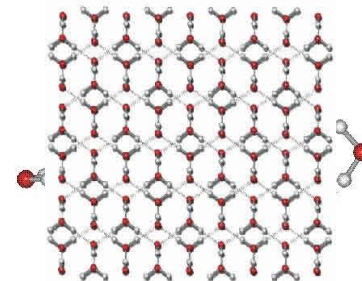
gelo X



gelo XI

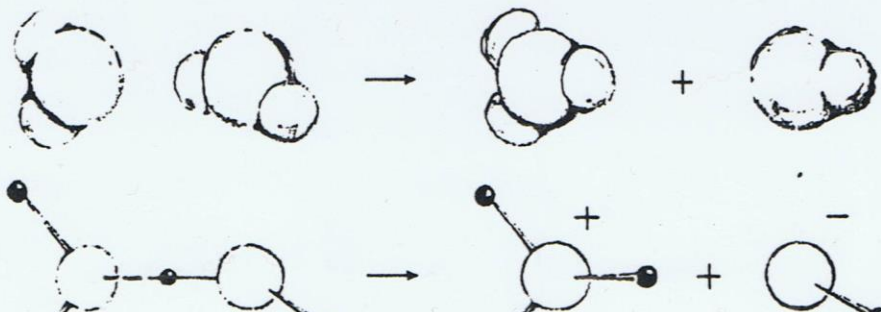


gelo XII -1,3 kg/m³



gelo VIII
1,6 kg/m³

A Água ioniza-se



muito pouco:
 $K_w = 10^{-14}$

A cada 555 milhões de moléculas de água só 1 se ioniza

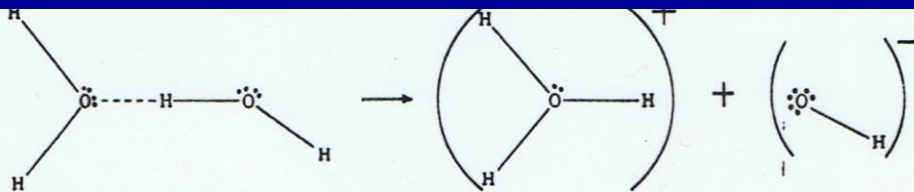
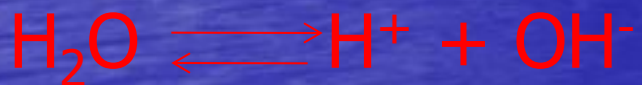


FIG. 1-11. The ionization of water

A Água é um ácido e uma base
em igual medida
e ao mesmo tempo



perfeitamente NEUTRA

pH=7

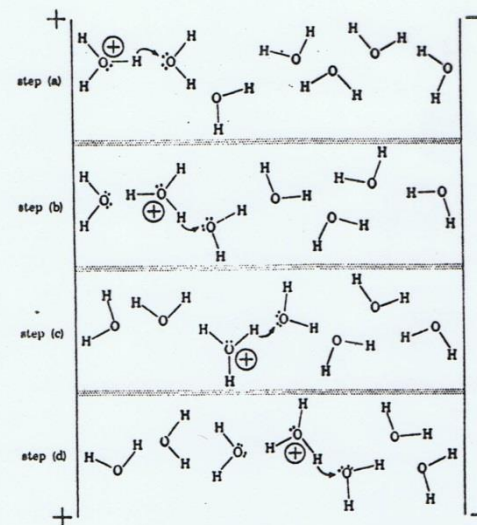
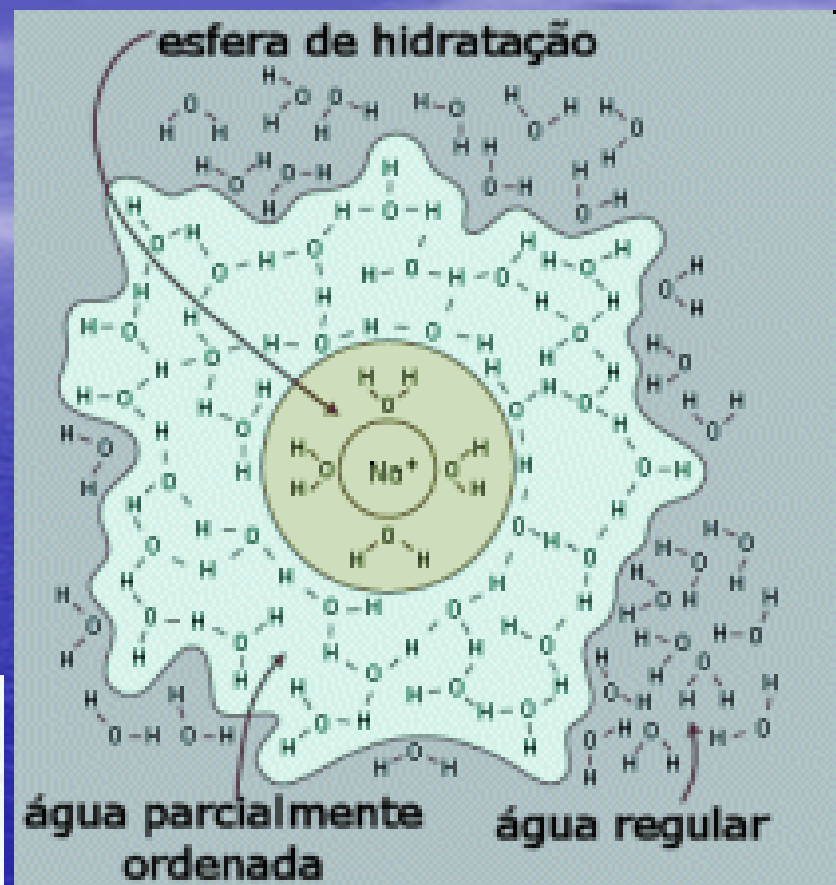
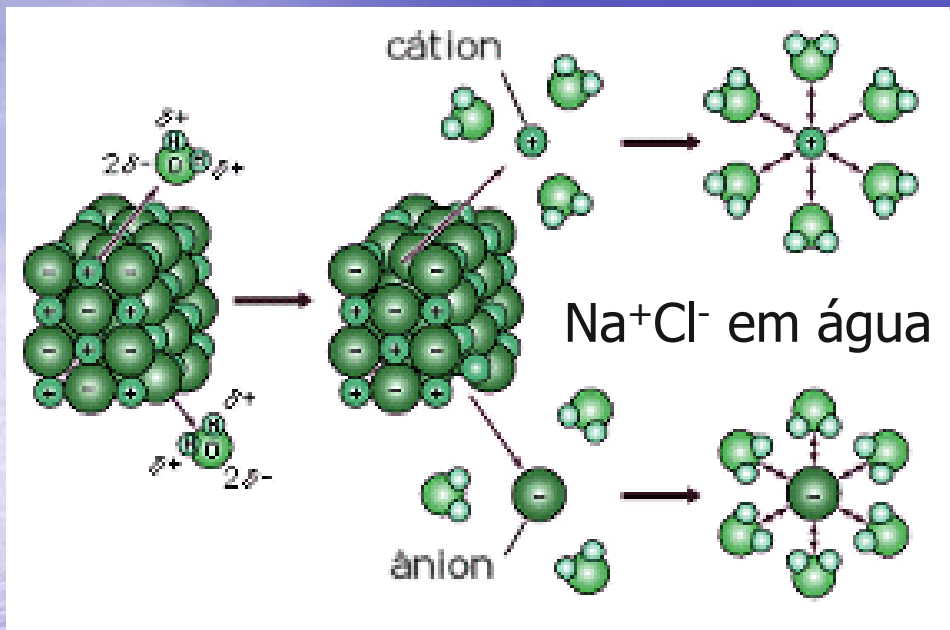


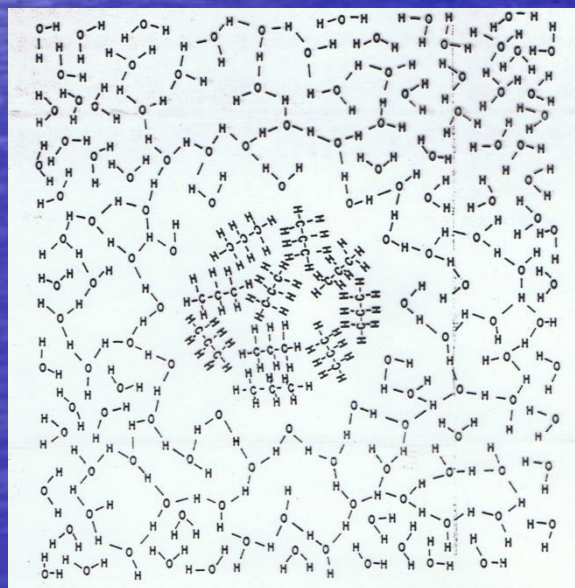
FIG. 1-12. The conduction of positive charge through water by proton jumps. The initial jump in step (a) is followed in succession by further jumps in steps (b) to (d).

H⁺ salta entre moléculas de água

Elevada constante dielétrica 80 (a 20°C)



Meio	(ϵ) 298 K
H_2O	78.5
Metanol	32.6
Etanol	24
H_2S	9.3
C_6H_6	2.2
CCl_4	2.2
CH_4	1.7
Ar	1.0



- Hidratação iônica
- Hidratação hidrofílica (açúcar)
- Hidratação hidrofóbica (hidrocarbonetos)

Capacidade calorífica C_p : Gelo a $0^\circ\text{C} \sim 9 \text{ cal mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Líquido a $0^\circ\text{C} \sim 9X2 \text{ cal mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Gás a $100^\circ\text{C} \sim 9 \text{ cal mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

>> **ESTABILIZADOR DA TEMPERATURA DO PLANETA** <<

Um mínimo a $36^\circ\text{C} !!$

>> **CAPACIDADE DE ARMAZENAR CALOR** <<

Energia térmica transferida $40 \text{ km}^3 / \text{h}$ de água para um local $T < 20^\circ\text{C}$

<>

Energia produzida pela queima de 175 milhões de toneladas de carvão
Corrente do golfo /h vai libertando até ao Artico <> 200 biliões ton carvão

o 2º maior valor entre todas as substâncias

Entalpia de vaporização O MAIOR DE TODAS AS SUBSTÂNCIAS $40,65 \text{ kJ/mol}$
- arrefecimento das superfícies - (2258 J/g)

Entalpia de fusão O 2º MAIOR $6,03 \text{ kJ/mol a } 0^\circ\text{C}$ (335 J/g)

- glaciares e gelos resistem a derreter!

Índice de refração – o GELO possui o menor índice de refração
de qualquer cristal conhecido $\eta = c/v$

e a Tensão Superficial !-

72,8 mN/m

A **maior** dos líquidos não metálicos



Bolha e gotas



Passeio dos insectos

capilares



Alveolos pulmonares

Grande COESÃO e ADESÃO

Pode-se dizer que existe água no solo acima do nível freático como consequência da elevada tensão superficial da água. Penetra facilmente nas rochas, congela, fragmenta e forma solo

Água Subterrânea

Caracterização geral

Principais constituintes

Água retida nos sólidos – Classificação:

Água essencial >>> estrutura cristalina ou molecular
em quantidades estequiométricas (caracteriza a espécie química)

- água de cristalização – coordenada
 - aniónica
 - reticular
 - zeolítica (aluminossilicatos hidratados)
- água de constituição - (NaHCO_3 , MgHPO_4 , KHSO_4 ou Ca(OH)_2)

Água não essencial – retida nos sólidos por forças físicas >>>

- água de interposição (estado líquido oclusa irregularmente entre cavidades microscópicas nos cristais. exemplo: sal-gema)
- água adsorvida ou higroscópica
(retida na superfície dos sólidos em ambiente húmido)
- água capilar ou de absorção
(preenche a totalidade dos poros e interstícios capilares das rochas)
- água de gravidade (que se movimenta no solo e subsolo através dos poros livres)

Dureza da água

Água	Dureza em ppm de CaCO ₃ 1 ppm = 1 mgL ⁻¹
mole	< 75
moderadamente dura	75 – 150
dura	150 – 300
muito dura	> 300

Sais solúveis de Ca, Mg, Sr, Fe, Mn e Al / **HCO₃⁻**, **SO₄²⁻**, **Cl⁻**, **NO₃⁻** e **SiO₃²⁻**
 $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ca}_2^+(\text{aq}) + 2 \text{HCO}_3^-(\text{aq})$ (dureza temporária)

Eliminação da dureza:

- Ebulição
- Precipitação
- Complexação
- Desmineralização por troca iónica
- Osmose inversa
- Electrodeseionização

Estratificação das matrizes

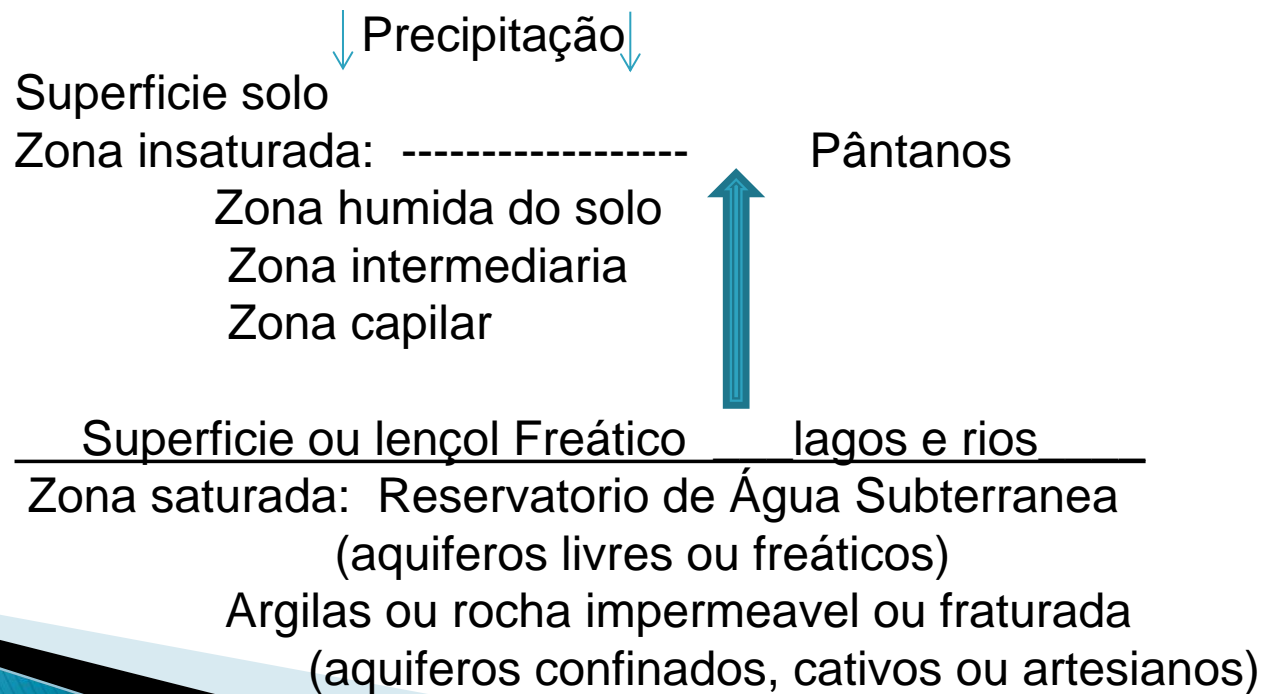
Zona não saturada ou de arejamento

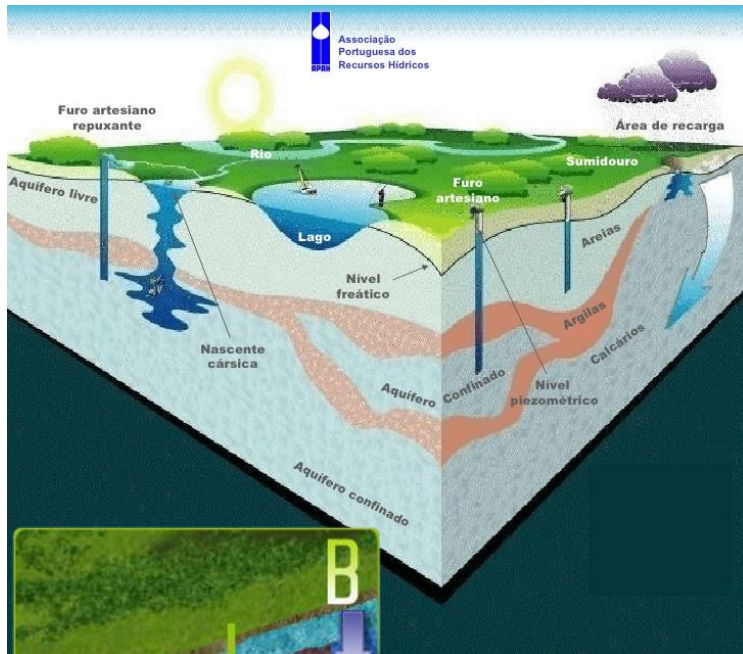
Camada inicial de solo onde as partículas de solo estão cobertas por um filme fino de água onde circula o ar

Zona saturada

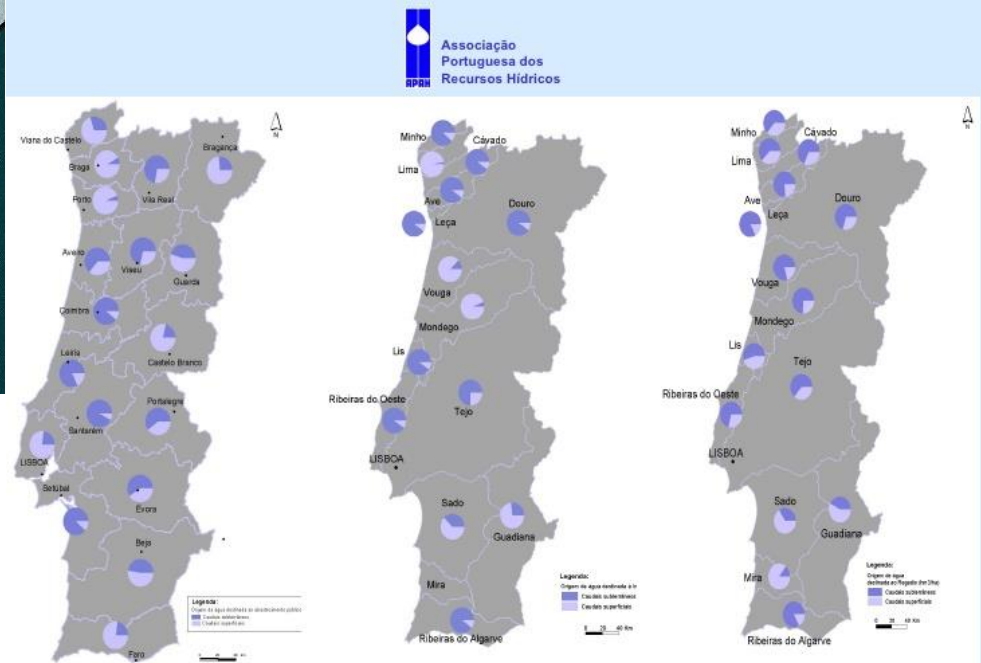
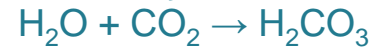
A maiores profundidades onde a água deslocou todo o ar

Água subterrânea é a que circula na zona saturada (0,6% do total dos reservatórios de água do planeta)





Carsificação:



consumo público

44% da água é de origem **subterrânea**
Distritos onde há mais consumo:
Aveiro, Coimbra, Leiria, Santarém, Setúbal, Vila Real

indústria

50% da água é de origem **subterrânea**
Bacias hidrográficas onde há mais consumo:
Tejo, Douro, Ave, Liz

agricultura

65% da água é de origem **subterrânea**
Bacias hidrográficas onde há mais consumo:
Tejo, Mondego, Vouga, Douro

Características químicas (mineralização) e biológicas dependem:

- tipos e velocidade de fluxo das rochas drenadas (mobilidade e filtração)
- clima da região (temperatura e pluviosidade)
- tipo de actividade humana

Macroconstituintes > 0,1%

Microconstituintes < 0,1%

Centros urbanos
efluentes industriais
efluentes domesticos
vazamento de combustiveis
industrias
veículos
depositos de lixo
descargas gasosas

Áreas agrícolas
insecticidas
herbicidas
adubos quimicos
calcário

Poder de dissolução dos
constituintes na água muito
aumentado pela presença
de CO₂ dissolvido/ iões carbonato
retidos nos solos e ácidos
organicos humicos <<< pH

Propriedades	
temperatura	Amplitude térmica pequena (excp aquíferos freaticos) Grau geotérmico local (média +1°C/33m ou 25°C/km) Fontes termais em regiões vulcânicas
Cor Escala Pt/Co ou Escala APHA-Hazen Padrão - 500ppm Pt	Pura - azul Rica em Fe - arroxeadada Rica em Mn - negra Rica em ácidos humicos - <u>amarela</u> Medida da cor calibrada por comparação com soluções de sais de Platina e Cobalto (+HCl) em tubos de Nessler. -1 unidade de cor -1 uH (pH) <> produzida por 1 mg/L de platina na forma de ião cloroplatinato (K₂PtCl₆) (e CoCl₂.6H₂O) Cor aparente: obtida com turbidez
Odor e sabor	Muito variavel e subjectivo. Causas naturais (algas, bacterias, fungos, restos em decomposição) e artificiais (fenois, cresois, mercaptans, solventes, inseticidas, herbicidas). Filtração natural nos lençóis subterraneos.
Turbidez Água potável < 5 UNT (OMS)	Medida da absorção de um feixe de luz que atravessa uma certa quantidade de água (medida da luz que é dispersa pelas particulas em suspensão). Mais importante em águas superficiais onde as partículas e microorganismos adsorvem matéria orgânica. Turbidímetro - calibração com uma suspensão padrão Unidade nefelométrica de turbidez , UNT **

Propriedades

Sólidos em Suspensão

Filtração ou decantação
Não importante em água subterrâneas – autodepuração por argila, mica e silte ($> 2 \mu\text{m}$ e $< 60 \mu\text{m}$).

Condutividade eléctrica

Salinidade

$k_{15}=1$ para $S=35$

Água destilada 0,52 mmho/cm

Água potável 50–1500

Água poluída >10000

Determinar o teor de sais dissolvidos.
Condutímetro – $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($\mu\text{MHO}/\text{cm}$) a 25°C
Relação directa entre a condutividade específica k e o STD ($k=1500\mu\text{S} \leftrightarrow 1000 \text{ mg/L STD}$)
Practical Salinity Scale 1978 ou *PSS-78* solução padrão de *KCl* a 15°C e 1 atm . (sonda marinha :CTD Rosette)

Dureza

Dureza temporaria ou de carbonatos
Dureza permanente ou de sulfatos, cloretos, nitratos etc.

Dureza total por titulação mg/L de CaCO_3

Alcalinidade

Capacidade da água para neutralizar ácidos
(HCO_3^-)

Quantidade de substancias que actuam como tampão – tampão carbonato/bicarbonato
Alcalinidade total – mg/L de CaCO_3 (titulação)
Pode ser devida a carbonatos de Ca, Mg, K e Na e a hidróxidos, boratos, fosfatos e ião amónio.
Inibe a corrosão nas canalizações

Propriedades	
pH	águas subterrâneas $5,5 < \text{pH} < 8,5$ (7,0–8,0) água da chuva $\text{pH} > 5,7$ $\text{pH}=12$ em 6h eliminação total de <i>E.coli</i>
Sólidos Totais Dissolvidos	Soma do teor de todos os constituintes minerais na água (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , Fe e Mg aq) Água potáveis STD < 1000 mg/L (OMS)
Radioatividade Natural	Radão $^{86}\text{Rn}^{222}$ ($T_{1/2}=3,8\text{d}$), $^{86}\text{Rn}^{220}$ $^{86}\text{Rn}^{219}$ (solos graníticos / desintegração radioativa do Urânio, Tório e Actínio / emissor de partículas α)

**** UNT Padrões:**

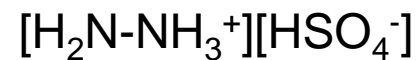
Suspensão de SiO_2

7,5 mg/L $\text{SiO}_2 \leftrightarrow 1 \text{ UNT}$

Suspensão de Formazina

1 mg /L formazina $\leftrightarrow 1 \text{ UNT}$

(Formazina resulta de uma mistura de sulfato de hidrazina



e hexametenotetramina

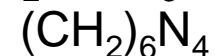


Tabela resumo de constituintes principais

- Reflectem os substratos rochosos percolados (magmaticas, metamorficas e sedimentares)
- As subterrâneas são mais ricas em sais dissolvidos do que as superficiais
- Águas que circulam em terrenos calcários têm maior concentração de iões dissolvidos (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , HCO_3^-)
- Permeabilidade– descreve a capacidade da água atravessar a rocha
Calcário (limestone) baixa porosidade mas alta permeabilidade
Xisto (shale) alta porosidade mas baixa permeabilidade

elemento	teor médio mg / L (ppm)	teor permitido mg / L	fonte	Obs.
Bario (Ba)	7x10 ⁻⁴ a 0,9 Barita–Principal sulfato no fundo do mar (insolúvel)	< 1,0	Erosão de depósitos naturais / perfurações / Pigmentos / Fogos de artifício vidros	Tóxico Aumenta pressão sanguínea
Cálcio (Ca)	10 a 100 Na forma de bicarbonato Água do mar: ~ 480	~ 500	Plagioclásios calcícos	DUREZA CaCO ₃ + CO ₂ + H ₂ O → Ca ²⁺ + 2 HCO ₃ ⁻ T e P

Elemento	teor médio mg / L	teor permitido mg / L	Fonte	Obs.
Cloro Cloreto (Cl ⁻)	< 100 < 10 em águas subterraneas	~ 250	Contaminação água do mar Aterros sanitarios	Muito soluveis Altas concentrações indicam poluição antropogenica em aguas subterranea
Cobre (Cu)	< 0,001 Essencial para a formação de colageneo	< 0,5	Corrosão cobre e latao Algicidas Fungicidas Fundição Galvanoplastia	Sintese da hemoglobina Falta: Osteoporose Excesso: Depressão cirrose (doença de Wilson)
Cromio	(VI) Muito tóxico (III) Pouco tóxico	(VI) 0,05 (III) 0,5	Metalurgia (ligas) Cromagem Corantes e pinturas	Existe na placenta e no leite materno Favorece a ação da insulina.
Ferro (Fe)	< 0,3	< 0,3 toxico em teores elevados	Minerais: Magnetite Biotite Pirite	Fe ²⁺ soluvel Contacto com ar Fe ³⁺ insolavel (efeitos esteticos)

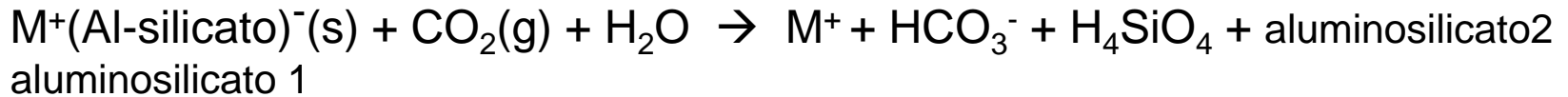
Elemento	teor médio mg / L	teor permitido mg / L	Fonte	Obs.
Fluor (F)	0,1 a 2,0 Teores elevados de fluoreto conduzem a deficiência em calcio ➤ 1 mg/L deve "contém fluoreto"	0,7 a 1,2 (varia com T)	Minerais: Fluorita Apatite Turmalina Topázio Mica Siderurgia Fundição Louças/ esmaltes Vidro /teflon CFC	lão fluoreto Forma complexos estaveis com Al, Fe, B e Ca ↓ Fluorose dental e esquelética
Magnésio (Mg)	1 a 40 Água do mar: ~ 1400	500	Minerais: Biotite Anfibolicos Piroxenios Dolomite	++ Ca DUREZA Forma sais + soluveis $(Mg(H_2O)_6)^{2+}$ Razão Mg/Ca Contaminação água do mar

Elemento	teor médio mg / L	teor permitido mg / L	Fonte	Obs.
Manganês (Mn) raro	< 0,2	0,5	Óxido de Mn ²⁺ Oxida ao ar ↓ negro	++ Fe
Niquel (Ni)	~ 0,1	< 0,025	Minagem Queima combustíveis Fundição/ligas galvanoplastia	Tóxico Nervos Coração Pulmões dermatites
Nitrogénio- Nitrato (NO ₃ ⁻) Nitrito (NO ₂ ⁻)	< 5,0	< 10,0 < 1	N ₂ reciclado plantas e animais NO ₂ ⁻ e NH ₃ convertidos a NO ₃ ⁻ por bacterias	Sistema digestivo nitratos passam a nitrosaminas; Crianças com menos de 3 m reduzem nitrato a nitrito → deficiência de Oxi

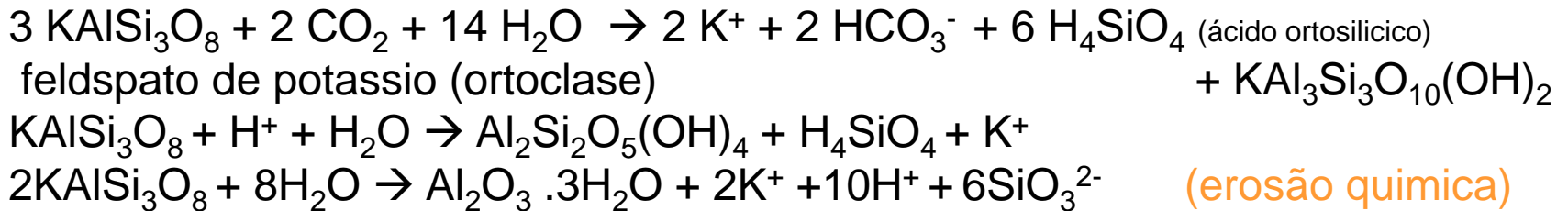
Elemento	teor médio mg / L	teor permitido mg / L	Fonte	Obs.
Potássio (K ⁺)	1 a 5,0 Crosta: 2,9%	Importante para as reações químicas intracelulares	Minerais: intemperismo Feldspato de K Mica moscovita Biotita	Facilmente fixado pelas argilas e muito consumido pelos vegetais (Pouca mobilidade)
Sódio (Na ⁺)	0,1 a 100 Crosta: 3,1%	< 200	Feldspatos plagioclasios intemperismo	Sais muito solúveis Carença rara
Arsénico Cádmio Chumbo Mercúrio Tálio				

	Água Rios (mol L ⁻¹ / ppm)		Água Potavel / ppm	
	Media mundial	Media USA	Media USA	Conc Max recomendada
HCO₃⁻	9,2x10⁻⁴	9,6x10 ⁻⁴ / 58	60	
Ca ²⁺	3,8x10 ⁻⁴	3,8x10 ⁻⁴ / 15	15	
Mg ²⁺	1,6x10 ⁻⁴	3,4x10 ⁻⁴ / 8,3	8	
Na ⁺	3,0x10 ⁻⁴	2,7x10 ⁻⁴ / 6,2	6	
Cl ⁻	2,3x10 ⁻⁴	2,2x10 ⁻⁴ / 7,8	8	250
SO ₄ ²⁻	1,1x10 ⁻⁴	1,2x10 ⁻⁴ / 11,5	12	250
K ⁺	5,4x10 ⁻⁵	5,9x10 ⁻⁵ / 2,3	2	
F ⁻	-----	5,3x10 ⁻⁶ / 0,1	0,1	0,8-2,4
NO ₃ ⁻ /NO ₂ ⁻	1,4x10 ⁻⁵	-----		10 / 1,0
Fe ³⁺	7,3x10 ⁻⁶	-----		0,3

Fonte **geral** de **ião bicarbonato**: erosão do solo calcário ou:



Ou ainda ... fonte de **Potássio** e de conteúdo em **Silica** :



e fonte natural de **Fluoretos**:

Erosão da fluorapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$

Adição de fluoretos até 1 ppm

Muitas águas engarrafadas excedem os níveis recomendados de Sulfato, Cloreto ou Fluoreto

E compostos orgânicos?

DOM 0,1-1 mg/L (oceanos) e até 10 mg/L (rios e lagos)

- material biogénico
- excreções biológicas

Pequenos:

Aminoácidos, disacáridos, fenóis, lípidos, clorofila

Pesticidas e hidrocarbonetos aromáticos

Elevado peso molecular:

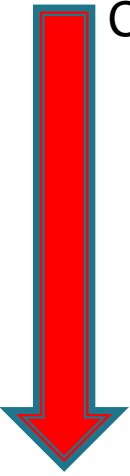
Matéria húmica – mistura complexa de material polimérico com massas moleculares acima de 300 Dalton

Ácidos húmicos (precipitados por ácidos, solúveis a $\text{pH} > 7$)

Ácidos fulvicos (solúveis a todos os valores de pH)

Humin

Água do Mar: Composição química



CaSO₄.H₂O 1,75 g/ L (3,5%)

NaCl 29,7 g/ L (77,7%)

MgSO₄ 2,48 g/ L (4,7%)

MgCl₂ 3,32 g/ L (10,9%)

NaBr 0,55 g/ L

KCl 0,53 g/ L

CaCO₃ 0,12 g/ L

Na⁺ e Cl⁻ ~ 0,25 mol L⁻¹

Na resulta do fundo dos oceanos; *Cl* dos vulcões e fontes hidrotermais.

componentes maioritários (> 1 mg/L, 1ppm)

maior densidade

pH = 8,1

T_f = -1,9°C = TDM

DOC = 1 mg/L

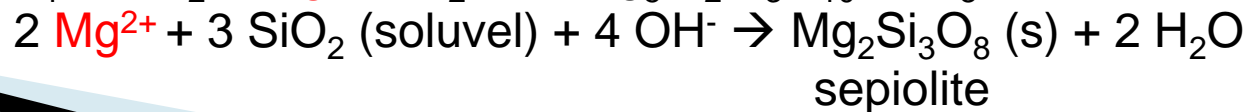
$I = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2 = 0,71 \text{ M}$

A composição iônica da água do mar resulta de um balanço entre:

Velocidade de dissolução de matéria inorgânica dos solos e da atmosfera

Velocidade de remoção (incorporação em sedimentos ou organismos ou evaporação)

Exemplo de remoção - Caolinite vs Clorite (dois minerais da argila)



elemento	Conc (ppm)	dissolvido	Total (ton)
Cl	$1,95 \times 10^4$	Cl ⁻ 55%	$2,57 \times 10^{16}$
Na	$1,08 \times 10^4$	Na ⁺ 31%	$1,42 \times 10^{16}$
Mg	$1,29 \times 10^3$	Mg ²⁺ 4%	$1,71 \times 10^{15}$
S	$9,05 \times 10^2$	SO ₄ ²⁻ 7,7%	$1,2 \times 10^{15}$
Ca	$4,12 \times 10^2$	Ca ²⁺ 1,2%	$5,45 \times 10^{14}$
K	$3,80 \times 10^2$	K ⁺ 1,1%	$5,02 \times 10^{14}$
Br	67	Br ⁻	$8,86 \times 10^{13}$
C	28	CO ₂ , CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻	$2,57 \times 10^{16}$
N	11,5	N ₂ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	$1,5 \times 10^{13}$
Sr	8	Sr ²⁺	$1,06 \times 10^{13}$
O	6	O ₂	$7,93 \times 10^{12}$
B	4,4	B(OH) ₃	$5,82 \times 10^{12}$
Si	2	Si(OH) ₄	$2,64 \times 10^{12}$
F	1,3	F ⁻ , MgF ⁺	$1,72 \times 10^{12}$
Nb, Sn, Tl, Th	1×10^{-5}	?, SnO(OH) ₃ , Tl ⁺ , Th(OH) ₄	$1,32 \times 10^7$

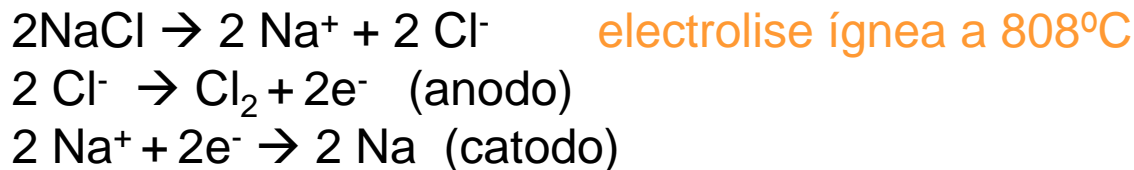
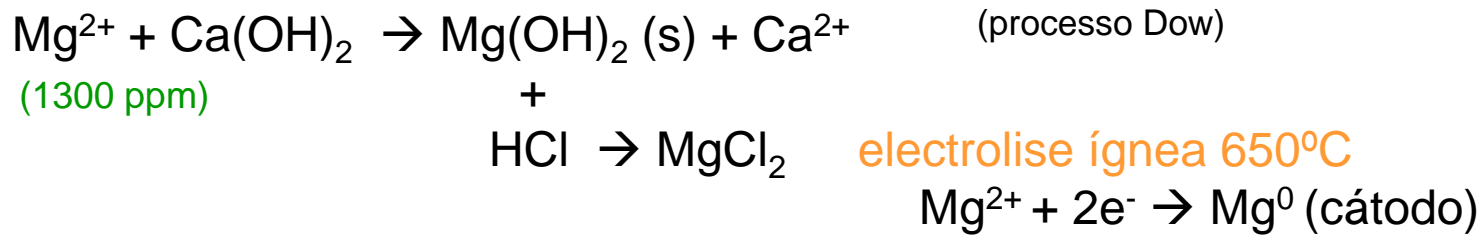
elemento	t residência (10 ⁶ a)
Na	68
Cl	100
Mg	10
Ca	1
Pb	0,0004
Al	0,0001

Tempo médio de residência =

Quantidade de elemento no reservatório a dividir pela velocidade de remoção desse elemento

Crosta > oceano > atmosfera

Com **interesse comercial** são retirados do mar 4 elementos:
Sódio, Magnésio, Cloro e Bromo



A electrolise da água salgada >>>> H_2 (- catodo) , Cl_2 (+ anodo) e NaOH

EQUILIBRIO HETEROGENEO / Solubilidade



$$\text{Tr} > 5 \times 10^9 \text{ a}$$

Caso 1 – concentração estavel de componentes minoritarios dominada pela solubilidade:

Exemplo Mn(II), Iodeto e Arsenito (AsO_3^{3-})



Estuários – alterações rápidas

Caso 2 – Biomassa marinha >>>> Energia

Profundidade média dos oceanos – 3000 m

Constituintes dos oceanos são nutrientes críticos para manter e propagar a vida marinha. A biomassa marinha produz “lixo” metabólico, decaimento de matéria orgânica e produção de excreções >>> reciclagem de componentes aquáticos. Biomassa marinha precipita constituintes inorgânicos nas carapaças -

A principal forma de transferência do CO_2 para o fundo dos oceanos é pela sedimentação de carbonato de cálcio insolúvel, CaCO_3 , na forma de organismos formadores de exoesqueletos, como conchas, moluscos, etc. Sua decomposição ao longo de milhões de

Fixação mineral biológica –

- 20 sais (ex pp marinhos : $\text{Ca}_7(\text{CO}_3)_2(\text{PO}_4)_4$; $\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{H}_2\text{O})$)
- $$K_{ps} = [\text{Ca}^{2+}]^7 \times [\text{CO}_3^{2-}]^2 \times [\text{PO}_4^{3-}]^4$$

Depositos de carbonato de cálcio/calcite (em águas mais quentes) e magnésio são essencialmente produto de agentes biológicos.

Nos oceanos microplâncton pelágico constitui o maior agente de precipitação de calcite $K_{ps} = 4,7 \times 10^{-9}$

Página 5 AQUATIC ENVIRONMENTAL

A acidificação diminui a concentração de carbonato diminuindo o estado de saturação do carbonato de cálcio na superfície do oceano que muitos organismos marinhos necessitam para formar as conchas e esqueletos

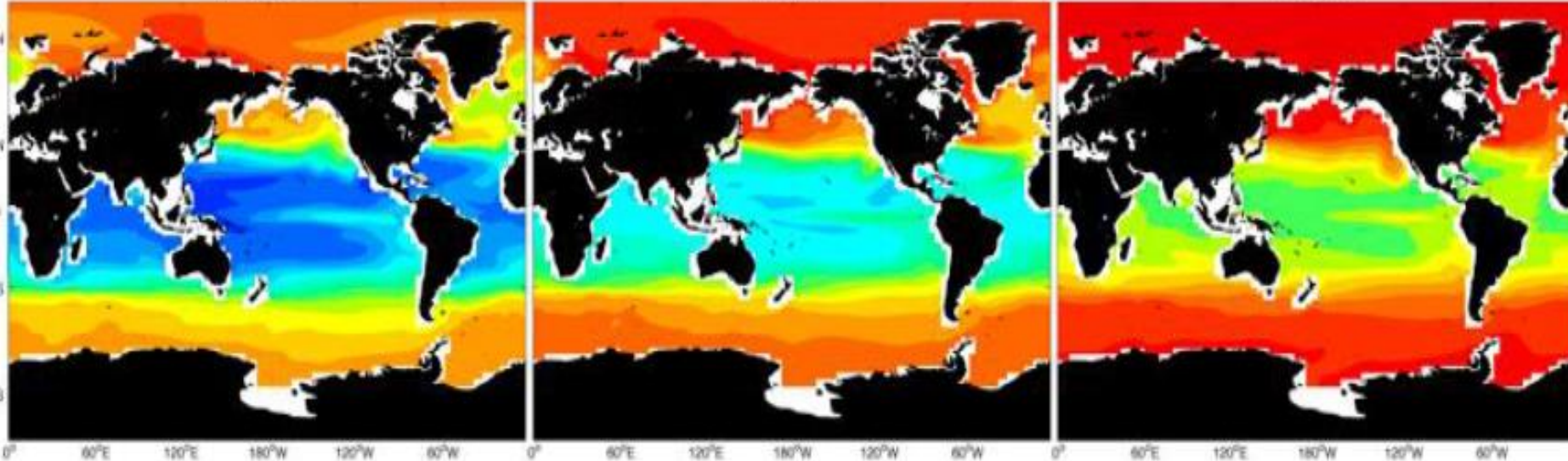
O aumento projectado das emissões antropogénicas de CO_2 acelerará estas alterações químicas a taxas sem precedentes nos recentes registos geológicos. Para as taxas actuais de emissões, as concentrações atmosféricas de CO_2 passarão de **385 partes por milhão (ppm) em 2008 para 450-650 ppm até 2060**, o que diminuirá a acidez média da superfície do oceano para uma média de 7,9-7,8 unidades de pH e reduzirá os estados de saturação de calcite e aragonite (dois minerais de CaCO_3) em 25 % - o que se irá traduzir num maior encolhimento das faixas ideais para as formações do carbonato biológico. Compostos de Enxofre SO_2 e Nitrogenio NO_x diminuirão a alcalinidade das águas.

Aumento do carácter ácido dos oceanos

2000

2050

2099



Estado de saturação da aragonite (uma forma de CaCO_3)



As conchas e esqueletos
expostos são susceptíveis à dissolução

Feely et al. (2009)

Nota: No fim do séc. XIX, quando as emissões excessivas de CO_2 começaram a acidificar os oceanos, os corais tropicais ainda não tinham sido afectados. Agora, porém os níveis de carbonato descenderam nas regiões próximas dos pólos: em 2100, é possível que sejam demasiado baixos para que os recifes consigam sobreviver.

(Feely, R. et al. (2008). *Impact of Anthropogenic CO_2 on CaCO_3 System in the Oceans*. *Science* 305, 1005-1008)

Caso 3 – Minerais formados *in situ* nos sedimentos oceanicos profundos dão-nos informação camada a camada variando com o tempo:

4 grupos principais mais abundantes:

- ✓ Barite (BaSO_4) com 3% de estroncio (Sr^{2+})
- ✓ Zeolitos (aluminossilicatos hidratados que acomodam varios iões +)
- ✓ Precipitação do Fe (+ Hg, Zn, Cd e Cu): Oxidos de Ferro (amorfo, vermelho acastanhado, ocasionalmente o mineral *goethite* $\text{FeO}(\text{OH})$) / na maioria **+3** $\text{Fe}(\text{OH})_3$ coloidal . O complexo $[\text{FeF}]^{2+}$ é uma das especies soluveis predominantes nas águas marinhas.
- ✓ Oxidos de manganês

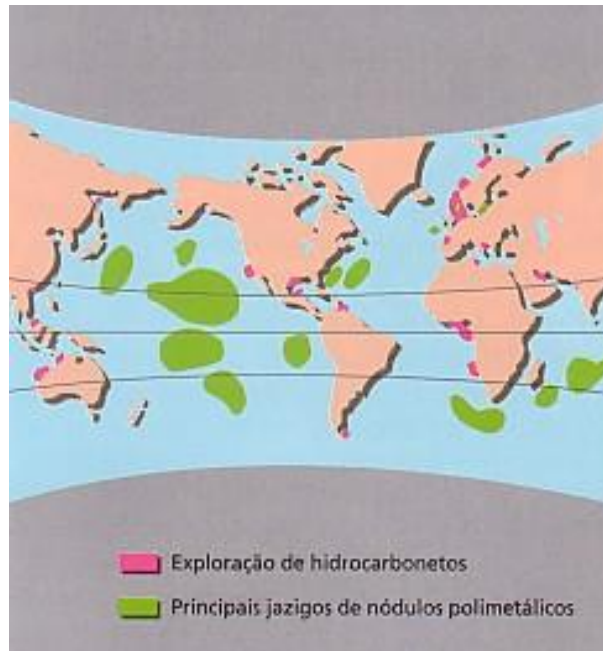
$$K_{ps} (\text{BaSO}_4) = 7,9 \times 10^{-11}$$

$$K_{ps} (\text{Fe}(\text{OH})_2) = 1,8 \times 10^{-15}$$

$$K_{ps} (\text{Fe}(\text{OH})_3) = 6,0 \times 10^{-38}$$

Os materiais sedimentares podem ser redistribuidos no fundo oceanico por acção do gelo.

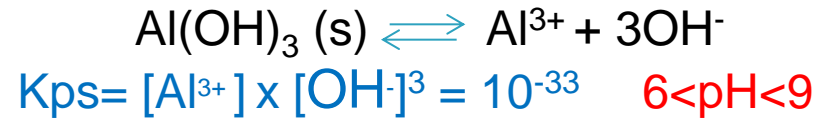
Nódulos polimetálicos, principalmente de Mn, Cu, Ni, Co e Zn não explorados



Plátano Editora - Geo 10 - Raquel Mota e João Atanásio

Caso 4 – Alumínio nas águas

Existe nas rochas e solos oceânicos e é muito insolúvel



Cada decréscimo de 1 unidade de pH aumenta de 10^3 a concentração de Al^{3+}

Exemplo:

Para pH=6 \Rightarrow pOH= 8 $\Rightarrow [\text{Al}^{3+}] = 10^{-33}/(10^{-8})^3 = 10^{-9}$ mol/L

Para pH=5 \Rightarrow pOH= 9 $\Rightarrow [\text{Al}^{3+}] = 10^{-33}/(10^{-9})^3 = 10^{-6}$ mol/L

Para pH<4,5 a espécie $[\text{Al}^{3+}]$ pode ser o principal catião na água

(a lixiviação dos solos por chuvas ácidas ou desflorestação pode causar graves danos nos peixes porque, sendo as guelras um ambiente menos ácido vai provocar a precipitação do hidróxido de alumínio como gel e o peixe sufoca)

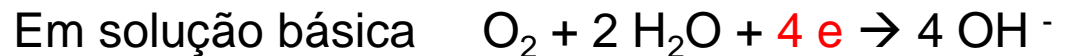
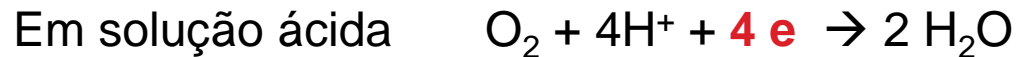
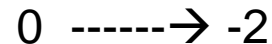
Reacções Oxidação-Redução REDOX

Dominam a concentração e tipo de compostos orgânicos nas águas

Reacções ácido-base controlam a composição iónica

O₂ DISSOLVIDO

- o agente oxidante mais importante





arejamento
reoxigenação

$$K_{(25^\circ\text{C})} = [\text{O}_2(\text{aq})]/p_{(\text{O}_2)} = K_{\text{H}} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$$

$p(\text{O}_2) = 0,21 \text{ atm} \gggggg$ solubilidade de oxigenio = $8,7 \text{ mg/ L} \equiv 8,7 \text{ ppm}$
ar seco

Minimo 5 ppm

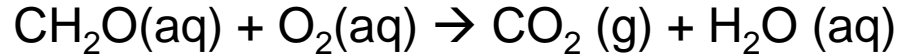
	S / ppm
25°C	8,7
0°C	14,7
35°C	7,0

BOD *Biochemical oxygen demand* (determinada pela diferença entre a concentração de oxigénio dissolvido no início e no fim de um tempo de uma amostra selada no escuro e a T constante (20 ou 25°C)

t = 5 dias BOD₅

BOD - reacções globais:

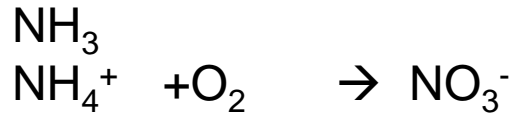
Oxidação da Matéria Orgânica:



Oxidação metabólica:



Oxidação de Matéria Azotada



catalisadas por microorganismos

BOD médio - águas superficiais não poluídas – 0,7 mg / L
pantanos - centenas mg / L

COD *Chemical oxygen demand*

Dicromato de sódio dissolvido em ácido sulfúrico



N moles de oxigénio para oxidar a mesma matéria orgânica é = **6/4** N' moles utilizados pelo dicromato

COD > BOD porque o dicromato é um oxidante mais poderoso

Águas muito poluídas – BOD >> solubilidade do oxigénio dissolvido
morte da vida marinha

TOC “*Total organic carbon*” caracteriza matéria orgânica dissolvida e em suspensão em águas (águas subterrâneas TOC~ 1 mg/L , 1 ppm)

DOC “*Dissolved organic carbon* “ - só dissolvidos – (águas superficiais ~ 5 ppm)
hidratos de carbono, proteínas, aldeídos e cetonas ...

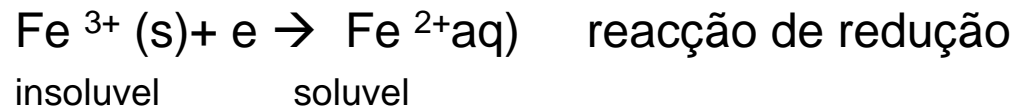
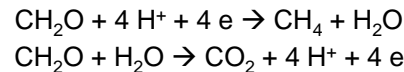
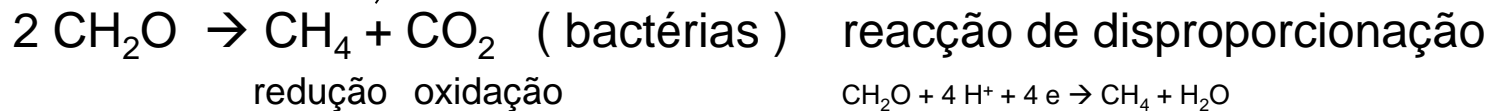
DECOMPOSIÇÃO ANAEROBICA DE MATERIA ORGANICA

águas estagnadas
leito de lagos profundos

Aeróbio - quando as reacções biológicas decorrem na presença de O₂
Anóxico - quando as reacções biológicas decorrem somente na presença de oxigénio combinado (NO₃⁻, SO₄²⁻). As bactérias aeróbias têm de romper as ligações
Anaeróbio - quando as reacções biológicas decorrem na ausência total de oxigénio por bactérias anaeróbias estritas ou facultativas.

Fermentação

bolhas



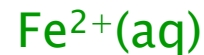
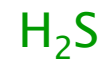
estratificação de um mesmo lago no VERÃO

atmosfera e fotossíntese das algas >>>>> O₂

Condições aeróbicas
(água quente)



Condições anaeróbicas
(água fria > 4°C)



ESCALA pE

pE = - log a (electroes na água)

Mede o caracter redutor da água

pE baixo – electrões libertam-se facilmente das substancias dissolvidas na água

MEIO MUITO REDUTOR

pE elevado – poucos electrões estão disponiveis

MEIO MUITO OXIDANTE

Quando há uma quantidade de DO significativa na água o processo dominante é a redução do **oxigenio** a água



$$\gggg \text{pE}_m = \text{pE}^0 - \log(Q) \quad \text{pE}_m = 20,75 + \log([\text{H}^+] \text{p}_{\text{O}_2}^{1/4})$$

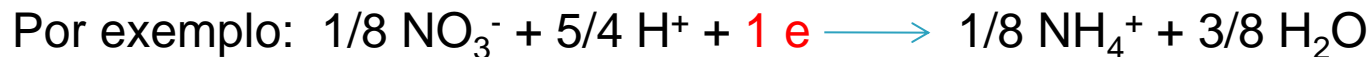
$$\text{pE}_m = 20,75 - \text{pH} + \frac{1}{4} \log(\text{p}_{\text{O}_2})$$

Se $\text{pH}=7$ e saturada com oxigenio $\text{p}_{\text{O}_2} = 0,21 \text{ atm}$ $\text{pE}_m = 13,9$

Se E^0 potencial normal de redução

$$\text{pE}^0 = \text{E}^0 / (RT/F) = \text{E}^0 / 0,0591 \quad (\text{ processo de redução com } \mathbf{1} \text{ electrão})$$

$$\text{pE}^0(\text{O}_2) = 20,75 \quad (+1,23/0,0591)$$



$$\text{E}^0 = +0,836 \text{ V}$$

$$\text{pE}^0 = \text{E}^0 / 0,0591 = + 14,15$$

$$\text{pE}_m = \text{pE}^0 - \log([\text{NH}_4^+]^{1/8} / [\text{NO}_3^-]^{1/8} [\text{H}^+]^{5/4}) = 14,15 - 5/4 \text{pH} - 1/8 \log([\text{NH}_4^+]/[\text{NO}_3^-])$$

Em casos de baixo DO >>> os processos dominantes são os dos Nitratos e Sulfatos < 1-2 mg/L que determinam o pE_m

Em casos de DO= 0 - condições anóxicas (anaerobicas) >>> o processo dominante é a fermentação da materia organica (ou nos oceanos a redução pelos sulfatos) e a relação entre os 2 produtos que se formam

Semi-reação de redução $1/8 \text{ CO}_2 + \text{H}^+ + e \longrightarrow 1/8 \text{ CH}_4 + 1/4 \text{ H}_2\text{O}$

Por exemplo:
 $p\text{CO}_2 = p \text{ CH}_4$
 $\text{pH} = 7$
 $pE = -4,1 < 0$

$$pE_m = 2,87 - \text{pH} + 1/8 \log (p\text{CO}_2 / p \text{ CH}_4)$$

Aplicação do pE



$$pE_m = 13,2 + \log ([\text{Fe}^{3+}] / [\text{Fe}^{2+}])$$

Para uma água com $pE_m = -4,1$ >>>> $\log ([\text{Fe}^{3+}] / [\text{Fe}^{2+}]) = -17,3$
 $[\text{Fe}^{3+}] / [\text{Fe}^{2+}] = 5 \times 10^{-18}$

Para uma água com $pE_m = +13,9$ >>>> $[\text{Fe}^{3+}] / [\text{Fe}^{2+}] = 5$

Diagrama de Pourbaix do ferro

Ver livro Rayner pag 157

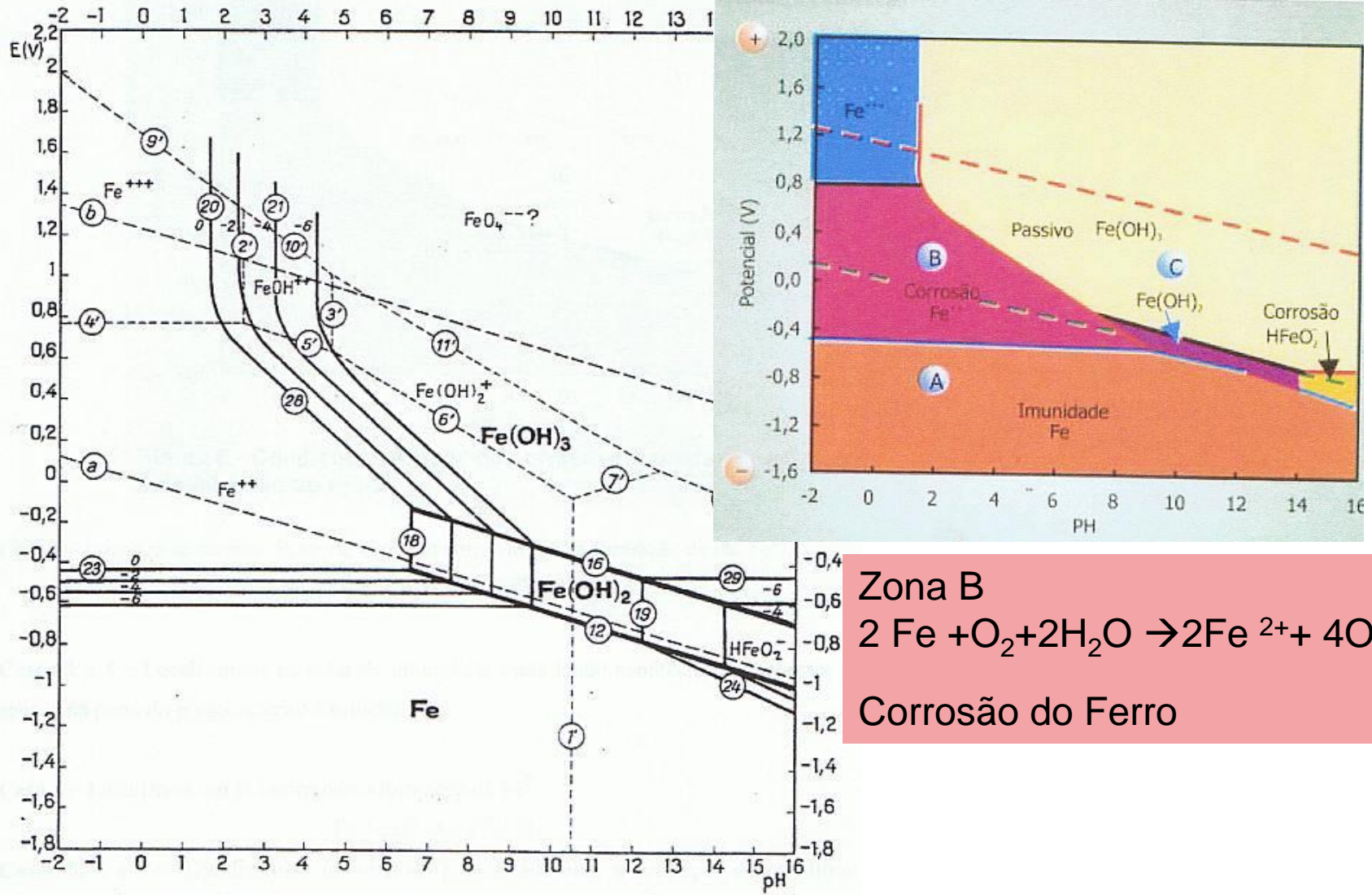
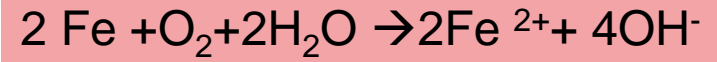


DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO, POTENCIAL X pH PARA O SISTEMA FERRO - ÁGUA A 25 °C (CONSIDERANDO COMO SUBSTÂNCIAS SÓLIDAS APENAS Fe, Fe(OH)₂ E Fe(OH)₃) (POURBAIX, 1974)

Zona B



Corrosão do Ferro

Compostos de Enxofre na Água

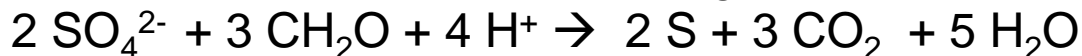
Estados de oxidação	-2	- 1	+4	+6
	H ₂ S		H ₂ SO ₃	H ₂ SO ₄
	HS ⁻		HSO ₃ ⁻	HSO ₄ ⁻
	S ²⁻	S ₂ ²⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻

Em condições anaeróbicas a decomposição de **moléculas orgânicas e bio** produzem compostos com estado de oxidação **0** ou **-2** (**sulfato é o oxidante**)
(ácido sulfídrico, metanotiol, sulfureto de dimetilo CH₃SCH₃)



(decomposição anaeróbica de fitoplâncton marinho)

Sulfato + **bactérias** + matéria orgânica → enxofre



mais importante em água do mar porque tem um elevado teor em sulfatos



Compostos de Azoto na Água

Estados de oxidação	-3	0	+3	+5
	NH_4^+	N_2	NO_2^-	NO_3^-
	NH_3			
	condições anaerobicas		solos alagados	condições aerobicas

Nitratos originam um problema ambiental proveniente da agricultura

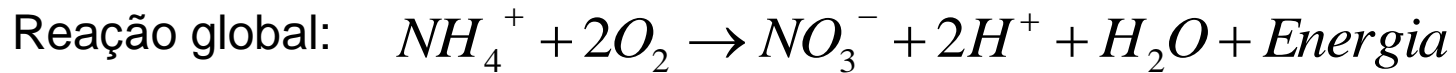
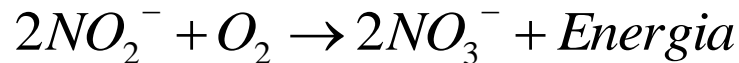
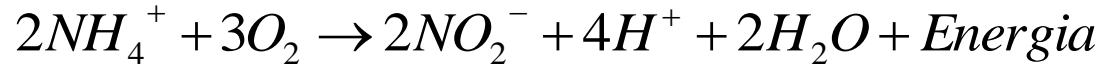
Fertilizantes
Adubos

Agricultura intensiva
(facilita o arejamento e a
humidade do solo)

excesso de nitratos em **efluentes** conduzem ao florescimento descontrolado de algas no oceano (ex o Mar Baltico)

Em **água doce** os Nitratos no geral não são o nutriente limitante
---- > são os Fosfatos

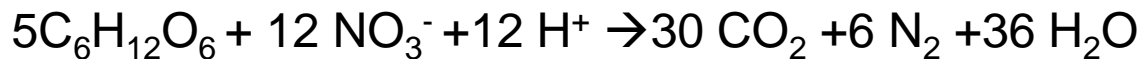
Nitrificação aeróbica:



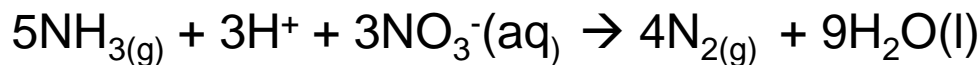
Desnitrificação aeróbica:



Bactérias também usam **nitratos** (tal como os sulfatos) para oxidar matéria orgânica em ambiente anóxico e anaeróbico:



e desnitrificação anaeróbica:



Condições de Oxigênio para haver Nitrificação:

Pela estequiometria da reacção:

$$M(N) = 14 \text{ g/mol}$$

$$M(O) = 16 \text{ g/mol}$$

$$\frac{1000\text{g} \times 64 \text{ g/mol}}{14\text{g/mol}} = 4571\text{g} = 4,57\text{Kg de } O_2$$

por cada Kg de nitrogênio formado

$$O_{2necessário(kgO_2/d)} = 4,57 \left(\frac{kgO_2}{kgNH_4^+} \right) \times NH_4^+ \text{ oxidado} \left(\frac{kgNH_4^+}{d} \right)$$

Exemplo:

Calcular o requisito de oxigênio para a nitrificação em um reator de mistura completa com concentração de amônia = 250 kg/d

$$O_{2necessário(kgO_2/d)} = 4,57 \left(\frac{kgO_2}{kgNH_4^+} \right) \times 250 \left(\frac{kgNH_4^+}{d} \right) = 1.143 \frac{kgO_2}{d}$$

Condições de temperatura

$$\mu_{\max(T)} = \mu_{\max(20^{\circ}\text{C})} \times \Theta^{(T-20)}$$

$$\Theta \approx 1,10$$

Condições de pH

$$\mu_{\max(\text{pH})} = \mu_{\max(7,2)} \times [1 - 0,83(7,2 - \text{pH})]$$

$$6,5 < \text{pH} < 8$$

μ_{\max} (taxa de nitrificação) em d^{-1}

Organismos aeróbios estritos (consumo de O_2 na respiração)

Organismos anaeróbios estritos (consumo de SO_4^{2-} ou CO_2 na respiração)

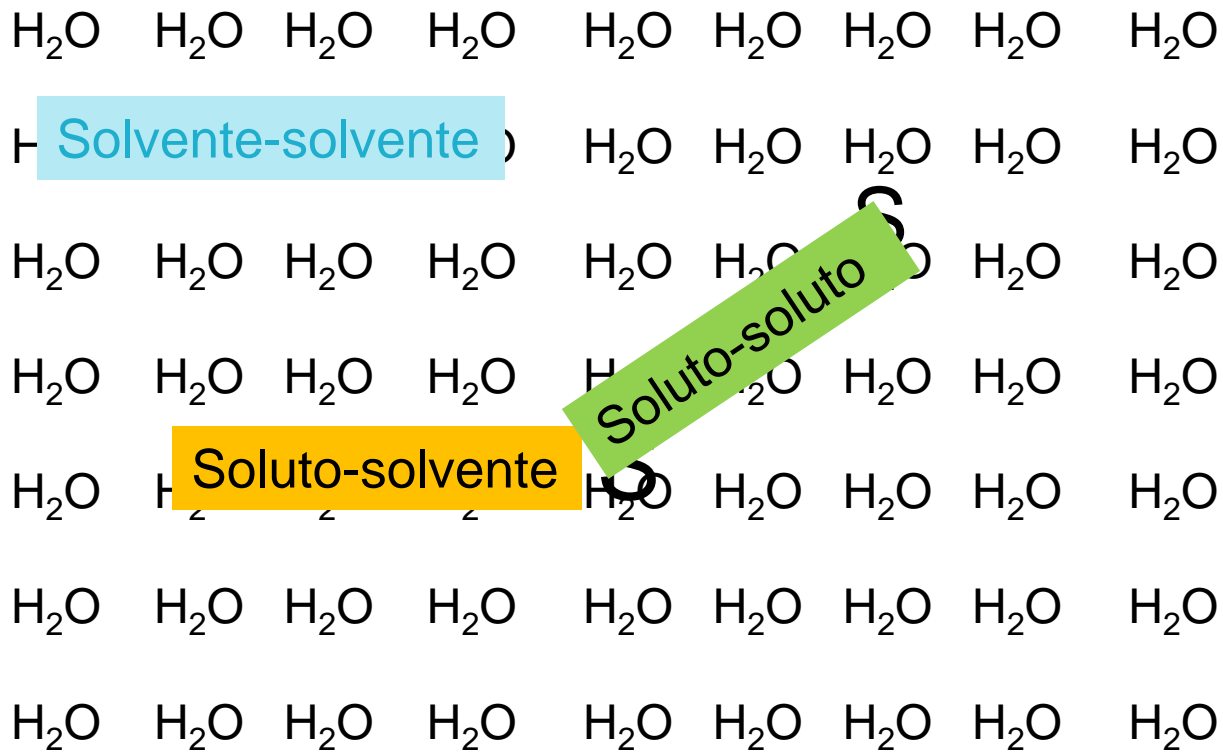
Organismos facultativos (consumo de O_2 ou NO_3^- na respiração)

Recursos Oceanicos- o futuro

ENERGIA

ÁGUA POTAVEL

Soluções aquosas de simples moleculas:



E Potencial
TOTAL
↓

Soluto-Soluto
↓
Propr vs conc

Soluto-Solvente
Hidratação
↓
Diluição infinita

Conc ?

RESERVA ENERGÉTICA

METANO

Solvente S	$\Delta\mu_t (S \rightarrow W)$	ΔH_t°	$T\Delta S_t^\circ$
ciclohexano	7,61	- 9,95	-17,56
1,4 dioxano	6,05	- 11,89	- 17,94
etanol	6,72	- 8,18	- 14,90
metanol	6,68	- 797	-14,65

ΔH_t° energia de interacção >>>> processo exotérmico
Processo de hidratação para o metano é mais favorável

Mas ΔS_t° muito <0 $\Leftrightarrow \Delta G_t^\circ >0 \rightarrow$ **não solúvel** ??

Característico de soluções aquosas de moléculas apolares ou orgânicas com um só grupo funcional

Tesouros escondidos na costa portuguesa



► "Riquezas" estão ainda à espera de ser mapeadas

♦ É urgente explorar hidratos de metano ♦ Algarve é região mais rica

A Plataforma Continental marítima portuguesa esconde um tesouro à espera de ser mapeado, com depósitos de cobre, níquel, cobalto, ouro, prata, gás natural e metano, afirma o presidente da Partex.

O valor, localização e quantidade estão por quantificar, mas o empenho do Governo na expansão da Plataforma Continental, que, provavelmente em 2018, duplicará a área do País para quatro milhões de quilómetros quadrados, comprova o interesse nestas novas fronteiras.

Portugal pode ter um tesouro no fundo do mar e tudo aponta para que uma das jóias da coroa venha a ser a exploração dos hidra-

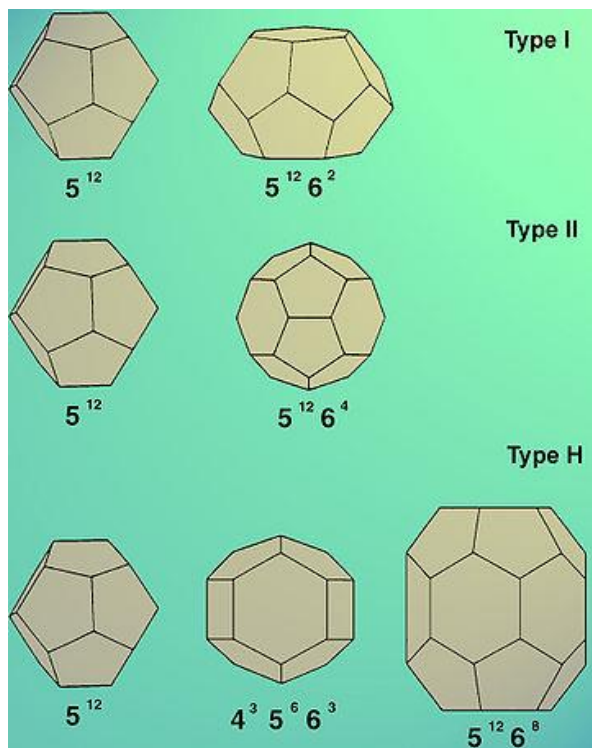
tos de metano, o combustível fóssil. Segundo António Costa Silva, o "off-shore" do Algarve é rico em gás natural e os dois blocos que fo-

Recursos no fundo do mar "podem ser imensos" e até mesmo "a solução do País", considera Costa Silva

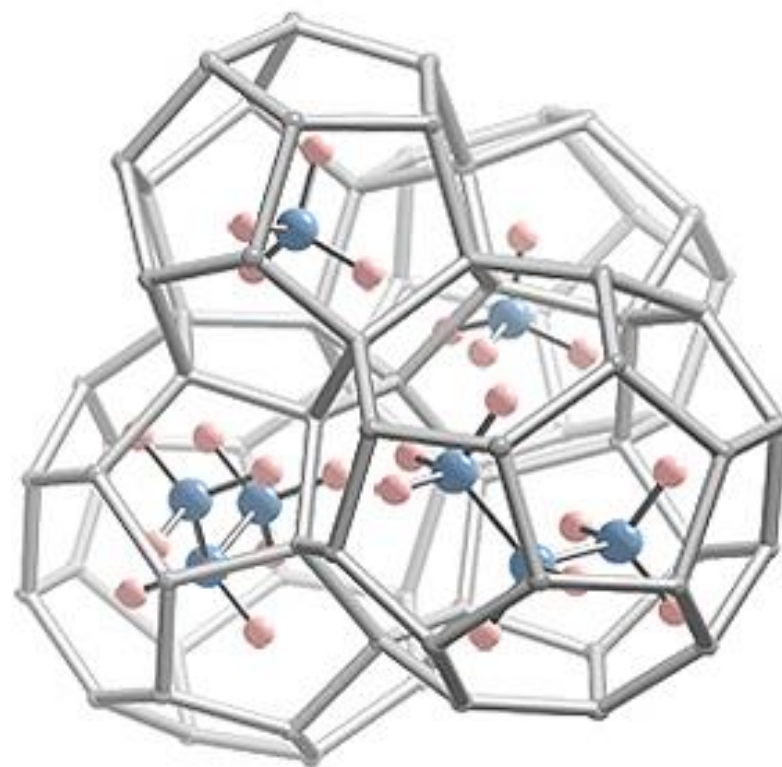
ram descobertos na zona podem assegurar as necessidades do País "entre 12 a 15 anos". "Há uma tendência geológica, que vem do sul da Espanha, do Golfo de Cádiz, e que vai para o off-shore do Algarve, onde há alguns blocos que poderão ter potencial", acrescenta.

HIDRATAÇÃO HIDROFÓBICA – a água torna-se estruturalmente mais “sólida”

Soluto - Água



Geometrias de hidratos de clatrato



Hidrato duplo metano-propano

Clatratos são "misturas", onde uma molécula pequena ou átomo grande, como CH_4 , Xe, NO_2 fica preso em cavidades de cristais quando a solução é arrefecida e um dos componentes cristaliza.

São conhecidos clatratos de gases nobres com ÁGUA ou QUINOL (1-4 dihidroxibenzeno) atingindo proporções como 3 quinol para 1 de gás nobre e 6 de água para 1 de gás nobre. (estudos termodinâmicos, de NMR e de simulação computacional)

A formação dos clatratos de metano, tipo SI, requer condições extremas de P e T (2-35 MPa e 273-288K)

O mais importante é o hidrato de **METANO**, que é componente de parte do sedimento do oceano e poderia ser usado como fonte de energia. Este mesmo clatrato poderia ser usado para facilitar o transporte de metano, (que actualmente é feito através de gasodutos ou liquefeito a $-182,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou em alta pressão (200 bar). 50% do C está no fundo dos oceanos nesta forma. A composição média de um hidrato de metano é de 1 mole de metano por cada 5,75 moles de água

- O clatrato de propano é estável a pressões e temperaturas menos extremas.
- Este clatrato contém pequenas gaiolas disponíveis para acomodar moléculas de metano.
- Deste modo o metano pode ser armazenado nestes hidratos duplos de clatrato a temperaturas e pressões quase próximas das ambientais.

Capacidade do hidrato de propano para armazenar METANO: aproximadamente 68% de água é completamente convertida com sucesso neste hidrato de propano, tipo SII. Este é depois carregado com várias pressões de gás metano, capaz de preencher 50% das gaiolas. O hidrato binário resultante (propano-metano) é estável a T até 288 K

Hidratos de metano

- Fisicamente similar ao gelo
- 1 L de hidratos contem cerca de 168 L de metano / 10^4 Gigaton de C
- Mais instável, devido à inexistência de ligações covalentes entre a água e o metano
- Principal problema associado à exploração deste recurso é o risco da possível intensificação do fenómeno de efeito de estufa e a estabilidade dos taludes continentais
- A reserva neozelandesa de hidratos de metano é potencialmente das maiores do mundo, com uma área comercialmente promissora de cerca de 50.000 km². O Japão começou a perfuração em alto mar, Mar Cáspio, em 2011. (Navio pesqueiro Ocean Selector recuperou, em 2002, com uma rede de arrasto a 800 m de profundidade cerca de 1 ton de fragmentos destes hidratos junto a ilha de Vancouver)





Varro : "Se todo o metano for libertado, nós vamos ver um cenário de filme Mad Max. Mesmo usando estimativas conservadoras sobre as reservas de metano, isso faria todo o CO₂ dos recursos fósseis parecer uma piada. Ninguém sabe por quanto tempo o gradual aquecimento global pode prosseguir sem libertar o metano, mas quanto mais ele avança, mais perto chegamos de jogar roleta russa"

A principal fonte de energia para o século XXI.

A exploração pode, entretanto, provocar a libertação destes gases e causar o maior efeito estufa já visto no planeta.

O "gelo de metano" forma-se naturalmente nas **regiões profundas do oceano, de alta pressão e baixa temperatura** mas geralmente fica enterrado sob o sedimento marinho. **O Golfo do México é um dos poucos lugares onde pode ser encontrado exposto no fundo do oceano com variado colorido.**

Combustível no gelo

O hidrato de metano ocorre naturalmente no fundo do mar e no solo ártico. Sua alta concentração de gás faz dele uma possível fonte de energia.

Exploração complicada

Os hidratos de gás são instáveis e podem fazer com que o metano escape para a atmosfera se não for coletado com cuidado.

Foto: Bloomberg News

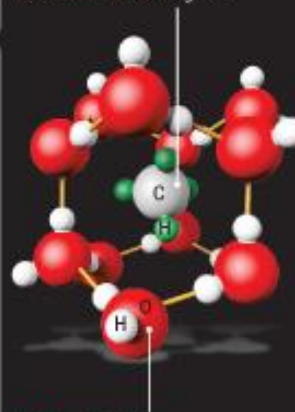
Fontes: USGS; Banco de Dados de Proteínas RCSB (estrutura molecular); Dept. de Energia dos EUA (reservas mundiais)



Composição

No nível molecular, os hidratos gasosos consistem de moléculas de metano cercadas por moléculas de água.

Molécula de gás
1 carbono e 4 hidrogênios



Moléculas de água
1 oxigênio e 2 hidrogênios

Onde é encontrado?

Os depósitos existem em ambientes de alta pressão e baixa temperatura, como as camadas rasas sob o leito marinho ou as camadas de gelo próximas do Polo Norte.

Ártico

Plataforma de perfuração



Depósito de hidrato de metano

Fundo do mar

Navio de perfuração



Mais de 500 metros

Reservas potenciais por região geográfica

Estimativas em trilhões de metros cúbicos

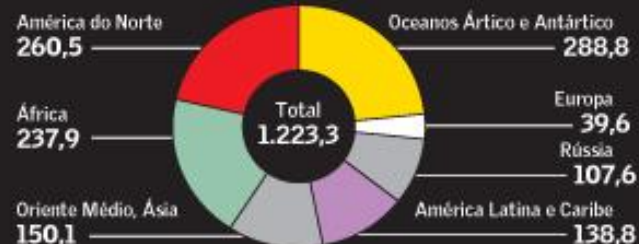


Gráfico por Alberto Cervantes; Pesquisa: Benjamin Lefebvre/The Wall Street Journal

Dessalinização

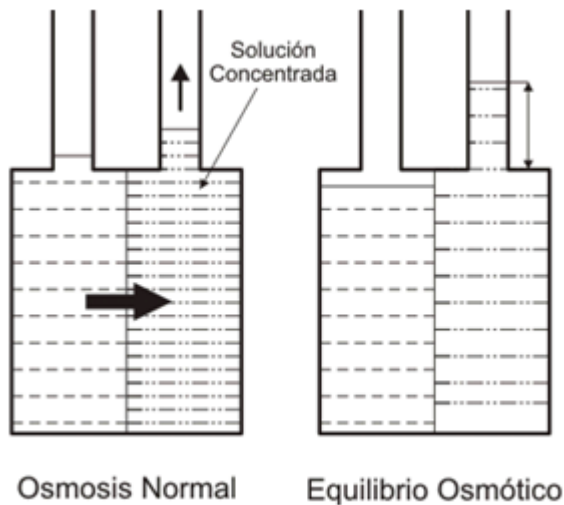
Dessalinização refere-se a processos de retirada de sal ou minerais da água

Como subproduto pode obter-se sal de cozinha.

Processos:

- ✓ **Osmose Inversa**
- ✓ Dessalinização térmica
- ✓ Congelamento ou **Descongelamento**
- ✓ **Destilação multiestágios**
- ✓ Destilação por forno solar

Osmose

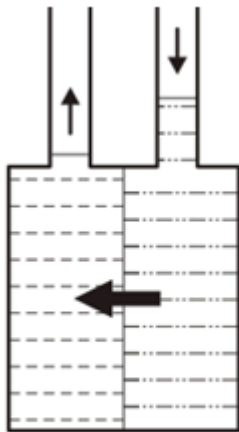


Quando duas soluções com concentrações diferentes estão separadas por uma membrana semipermeável, existe um movimento natural do solvente da solução menos concentrada para a mais concentrada de modo a igualar as concentrações. A altura obtida na coluna calibrada traduz a diferença das concentrações e dá o valor da pressão osmótica.

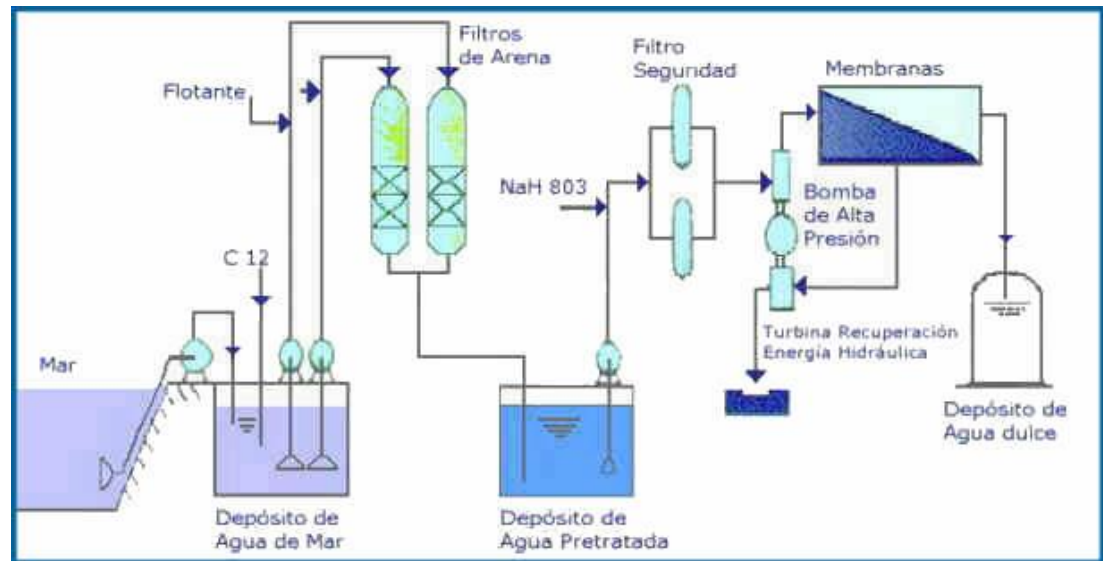
A aplicação de uma pressão externa maior que a pressão osmótica de uma solução faz que o processo possa ser invertido, fazendo circular o solvente da solução mais concentrada para a menos concentrada ou obtendo o solvente puro.

Osmose inversa

Energia Azul - é a energia obtida da diferença de concentração de sais entre a água do mar e a do rio com a utilização de osmose inversa. O resíduo deste processo é água salobra.



Osmosis Inversa



Membranas de osmose inversa são polímeros de poliestireno e divinilbenzeno, com espessura de menos de um milímetro. Específicas para os diferentes iões. Pressão osmótica da água do mar é de 30 atm.

Congelamento

Crioscopia

Quando a água do mar começa a congelar separa-se o gelo, apenas com água, da fase líquida com os sais.

Processo de arrefecimento secundário:

faz-se passar butano no estado líquido ($T_{eb} = -1^{\circ}\text{C}$) na água do mar que passa ao estado de vapor retirando energia e congelando a água. Lavagem da água.

Esta é descongelada circulando o butano gasoso que liberta energia ao passar ao estado líquido.

Descongelamento

Rebocando icebergs

O capitão James Cook foi o 1º a usar um iceberg para o abastecimento de água potável do seu navio em 1773.

Um plano para capturar e trazer icebergs para a Arábia Saudita foi concluída em 1977, mas nunca realizado pelos enormes custos do projeto e da logística em si:

Seria necessário um porto onde estacionar um iceberg de uma milha de comprimento

Uma equipa russa resgatou a ideia em 2009, para matar a sede da Península Arábica. Calculou-se que rebocar um iceberg da Antártida para o Golfo Pérsico custaria 30-50% mais barato do que a dessalinização da quantidade equivalente de água mesmo que mais de metade do iceberg derretesse pelo caminho.

Projecto IceDream : Georges Mougin (francês) com o auxílio de tecnologia 3D (3D Experience) conseguiu estabelecer todas as condições de correntes e ventos e pretende rebocar do leste do Canadá para as ilhas Canárias um icebergue de 100 milhões de toneladas.

Com um iceberg de 7 toneladas, seria possível saciar a sede de 35 mil pessoas, durante um ano.

