

GEOLOGIA MÉDICA

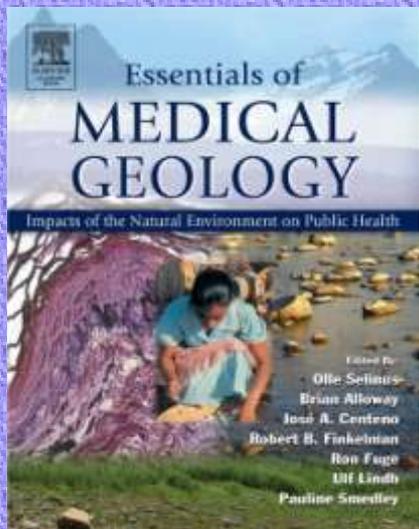


Wilson Scarpelli
wiscar@terra.com.br

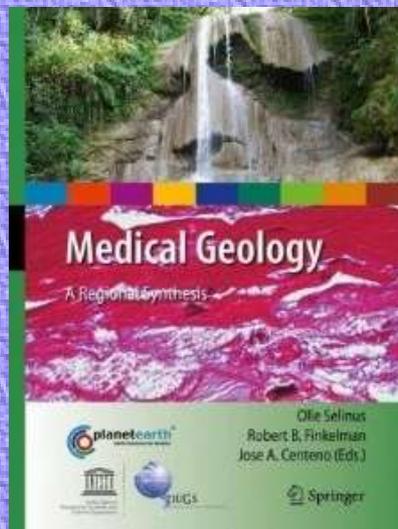
Geólogo
Geologia USP 1960
Grupo Figueira da Glete



referências

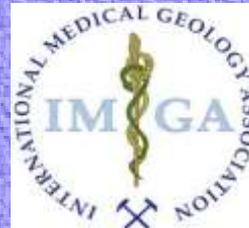


IMGA – UNESCO – IUGS
Elsevier, 2004



Selinus, Finkelman, Centeno

INTERNATIONAL MEDICAL GEOLOGY ASSOCIATION IMGA



www.medicalgeology.org



CPRM
Serviço Geológico do Brasil

**Programa Nacional de Pesquisa em
Geoquímica Ambiental e Geologia Médica**

www.cprm.gov.br

GEOLOGIA MÉDICA NO BRASIL

Workshop Internacional de Geologia Médica, Rio de Janeiro, 2005

Disponível integralmente em

www.cprm.gov.br

link: Geologia Médica

link: Livro – Geologia Médica no Brasil



**ASTDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry
(produtos orgânicos e inorgânicos)**

www.atsdr.cdc.gov/

**Regagem – Grupo de Pesquisas em Geologia Médica
No Instituto de Geociências da Unicamp**

<http://listas.ige.unicamp.br/mailman/listinfo/regagem>

GEOLOGIA MÉDICA ou GEOMEDICINA É **CIÊNCIA DE EQUIPE**

principal contribuição geológica:

GEOLOGIA E GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS

- **VARIAÇÕES REGIONAIS NA DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS**
- **COMPORTAMENTO GEOLÓGICO - GEOQUÍMICO DOS ELEMENTOS**
- **CONTAMINAÇÕES NATURAIS OU PROVOCADAS**
- **AFETAÇÕES DA SAÚDE ANIMAL E/OU VEGETAL POR EXCESSOS OU DEFICIÊNCIAS**

Você é o que você come.

ELEMENTOS ESSENCIAIS A ANIMAIS E PLANTAS

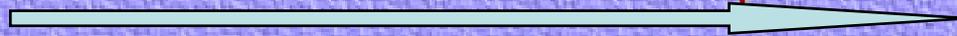
A TODOS	A VÁRIAS CLASSES	A VÁRIAS ESPÉCIES	A ALGUMAS ESPÉCIES	TALVEZ ESSENCIAIS
H, C, N	Si, V, Co	B, F, Cr	Li, Al, Ni	Rb, Sn
O, Na, Mg	Mo, I	Br	Sr, Ba	
P, S, Cl				
K, Ca, Mn				
Fe, Cu, Zn, Se				

ELEMENTOS MAIORES

ELEMENTOS MENORES

PADRÕES DE EFEITOS DOS ELEMENTOS

aumento da assimilação



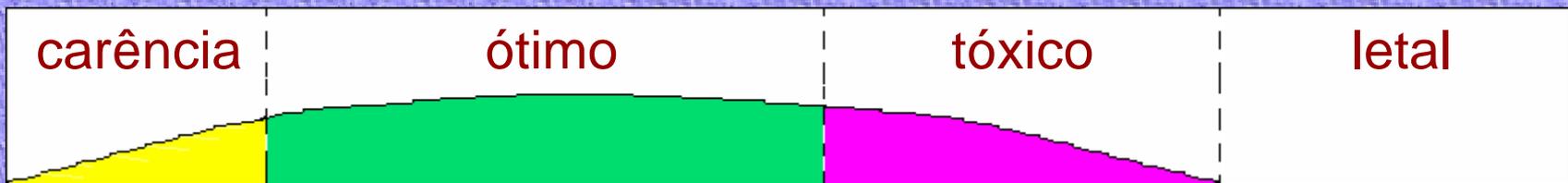
MACRONUTRIENTES

(C, Ca, Cl, P, Mg, K, N, Na, S, O, H)



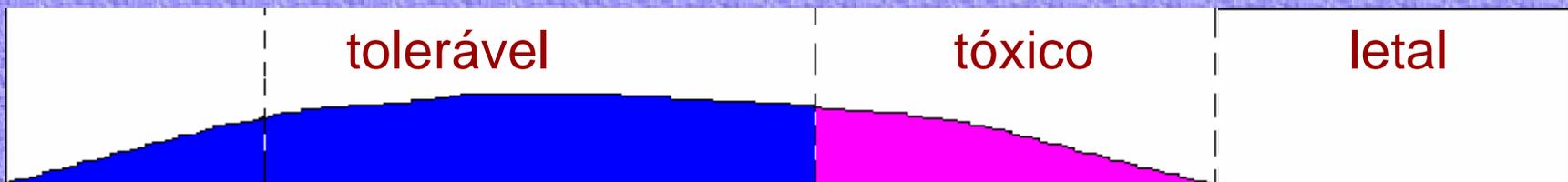
MICRONUTRIENTES ESSENCIAIS

(As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn, F, I, Si)



NÃO ESSENCIAIS

(Be, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti etc.)



“Tudo é venenoso, nada é venenoso. É questão de dosagem.”

FUNÇÃO DE MACRONUTRIENTES

C	Fundamental aos organismos vivos. Cianetos ou CO são tóxicos; cinzas de carvão podem ser tóxicas.
Cl	Importante no aporte de Na, Mg e Ca. Controle de contração de músculos. Balanço hídrico e pressão. Na digestão, como ácido. Como gás é tóxico e carcinogênico.
N	Constituintes das células de DNA, vitaminas, relaxante muscular. Nitratos reduzem capacidade da tiróide; nitritos reduzem eficiência de transporte de oxigênio.
O	Constituinte das células de DNA e da maioria dos compostos orgânicos importantes. Excesso ou pureza demasiada pode danificar pulmões.
S	Em enzimas, proteínas e em amino ácidos que transportam metais para os órgãos e retiram restos tóxicos. Excesso danifica sistema vascular, coração, partes do cérebro e rins.

FUNÇÃO DE MACRONUTRIENTES

Ca	Fortalecimento de ossos e dentes; atividade muscular; coagulação do sangue; permeabilidade celular. Excesso pode dar pedras nos rins e insuficiência renal.
K	Regula balanço dos fluidos corpóreos; atua em contrações musculares e impulsos nervosos.
Mg	Com o cálcio, nos ossos; ativa contrações musculares e temperatura corpórea; melhora memória, parte de enzimas
Na	Atuação no equilíbrio hidrossalino; transmissão de impulsos nervosos e transporte de metabolitos.
P	Constituinte dos ossos, como fosfatos; participa de todas as reações químicas do corpo. Excesso torna quebradiço cabelos e unhas.

Cortecci, G. – *Geologia e Saúde*
Siegel, F.R. – *Environmental Geochemistry*
Selinus, O. e Frank A. – *Medical Geology*

FUNÇÃO DE MICRONUTRIENTES

Co	Ativo na vitamina B₁₂; participação em reações químicas. Deficiência causa anemia. Excesso causa falhas cardíacas.
Cr	Metabolismo de açúcares. Sua falta induz a diabetes, a intolerância a glicose etc. Excesso provoca falhas renais, sendo que excesso de Cr⁶ provoca cancer.
Cu	Atua em enzimas oxidantes no metabolismo energético; ativo na síntese de hemoglobina, queratização e pigmentação da pele e cabelo. Sua falta leva à osteoporose, falta de glóbulos brancos e redução da defesa imunológica. Excesso danifica o fígado e causa envenenamento.
F	Fortalecimento de ossos e dentes, evitando cáries dentárias e osteoporose. Excesso causa fluorose de dentes e ossos.
I	Necessário ao hormônio tireoidal; controle da temperatura, crescimento, reprodução etc. Deficiência causa papeira.

Cortecchi, G. – *Geologia e Saúde*
Siegel, F.R. – *Environmental Geochemistry*
Selinus, O. e Frank, A. – *Medical Geology*

FUNÇÃO DE MICRONUTRIENTES

Fe	Componente da hemoglobina e complexos enzimáticos necessários à respiração, geração de energia e transporte de metais aos órgãos, ativo no sistema imunológico.
Mn	Promove crescimento, desenvolvimento e funções celulares; em ossos e cartilagens; participa de reações enzimáticas ativas nos metabolismos. Excesso leva a elevada concentração de sangue. Aspirado ao pulmão pode causar doenças neurológicas.
Se	Prevenção de doenças vasculares e outras; evita oxidação e envelhecimento por radicais livres. Excesso torna quebradiços unhas e cabelos.
Zn	Ocorre em todos os tecidos, principalmente em ossos, músculos e pele; atua no sistema imunológico; regula crescimento corpóreo, proteção ao fígado, produção de testosterona. Deficiência reduz crescimento corpóreo.

Cortecci, G. – *Geologia e Saúde*
Siegel, F.R. – *Environmental Geochemistry*
Selinus, O. e Frank, A. – *Medical Geology*

OUTROS ELEMENTOS

V	Essencial. Prolonga vida dos dentes. Excesso pode provocar doenças de pulmão.
Ni	Essencial a plantas, talvez também a animais
Al	Não essencial, apesar da abundância na crosta. Pode reduzir assimilação de fosfato e fluor, causando demineralização óssea. Suspeito de causar mal de Alzheimer.
As	Essencial? Tratamento de leucemia. Excesso é carcinogênico.
Ti	Não essencial.
Sb	Não essencial. Uso médico – leishmaniose.
Sn	Não essencial.
Be	Não essencial. Tóxico, por inalação de pó.
Pb	Não essencial e tóxico.
Cd	Não essencial. Tóxico e carcinogênico. Interfere com ação de Zn e Ca, inclusive reduzindo assimilação desses metais.
Hg	Não essencial. Venenoso, originando neuropatias.

GASES

O	Absolutamente essencial. Excesso ou pureza demasiada pode danificar os pulmões.
NO	Permite melhor fluxo sanguíneo, por distensão do sistema venoso. Excesso é venenoso.
H₂S	Permite melhor fluxo sanguíneo, por distensão do sistema venoso. Excesso é venenoso.

Vocês podem continuar inserindo informações nessas tabelas

EXEMPLOS DE DIFERENÇA DE TOXICIDADE DE ELEMENTOS EM FUNÇÃO DE SUA ESPECIAÇÃO

ELEMENTO	MENOS TÓXICO	MAIS TÓXICO
As	As ³⁺	As ⁵⁺ (como arsenato)
	Orgânico	Inorgânico
Cr	Cr ³⁺	Cr ⁶⁺ (como cromato)
Mo	Mo ²⁺	Mo ⁶⁺ (como molibdato)

INTERFERÊNCIAS

Mo	Cu	Aumento do pH do solo aumenta a mobilidade de Mo em relação à de Cu, reduzindo a capacidade das plantas assimilar Cu, com efeitos em animais e humanos.
Cu	Fe	Presença de Cu, e possivelmente Ni, é necessária para apropriado metabolismo de Fe.
P₂O₅	Zn	Aumento de P₂O₅ no solo restringe a capacidade das plantas assimilarem Zn, com efeitos em animais e humanos.
Zn	Cd	Aumento do teor de Zn reduz assimilação de Cd por plantas, animais e humanos.
S	Se	Uso de fertilizantes ricos em S reduz a capacidade das plantas em assimilar Se do solo, com efeitos em animais e humanos.

USO DOS ELEMENTOS

“ Metais de transição, como Fe e Cu, com suas múltiplas valências, são vitais para as muitas transferências de elétrons que caracterizam os processos celulares. Sem Fe a vida seria irreconhecível, pois ele é a chave do transporte de oxigênio, fotossíntese, fixação de nitrogênio e respiração em muitos organismos.

Células normais e sadias devem conter altos níveis de alguns metais e, para evitar envenenamento, os metais devem ser isolados e transportados por algumas proteínas, em processo bem coordenado.

Como isso começou é ignorado, mas pode haver relação com a preponderância de grupamentos de Fe-S em importantes enzimas, nos quais os metais são transportados a onde são necessários. ”

DISPONIBILIDADE NATURAL

Com o intemperismo das rochas hospedeiras, os elementos são liberados, no solo, em água e na atmosfera, em minerais residuais, em minerais novos, em solução, adsorvidos, complexos orgânicos e inorgânicos e em vapores.

O intemperismo é fortemente dependente do clima e da interação com organismos vivos.

Carbonatos e óxido-hidróxidos de Fe e Mn predominam entre as novas formas cristalinas e têm grande capacidade de absorção de outros elementos.

Argilo-minerais constituem importantes centros de adsorção de metais e metalóides.

BIODISPONIBILIDADE

disponibilidade dos elementos para a biota

Dependente de variações climáticas, pH, potencial de oxidação, biota (vegetação, microorganismos etc.), mineralogia, temperatura, especiação dos elementos, interferências entre elementos (aumenta a de Cu onde há menos Zn, Fe, Mo) etc.

A formação de sais solúveis aumenta a disponibilidade dos metais

maior



menor

Pb – oxalato

Pb – carbonato

Pb – acetato

Pb – sulfato

Pb – sulfeto

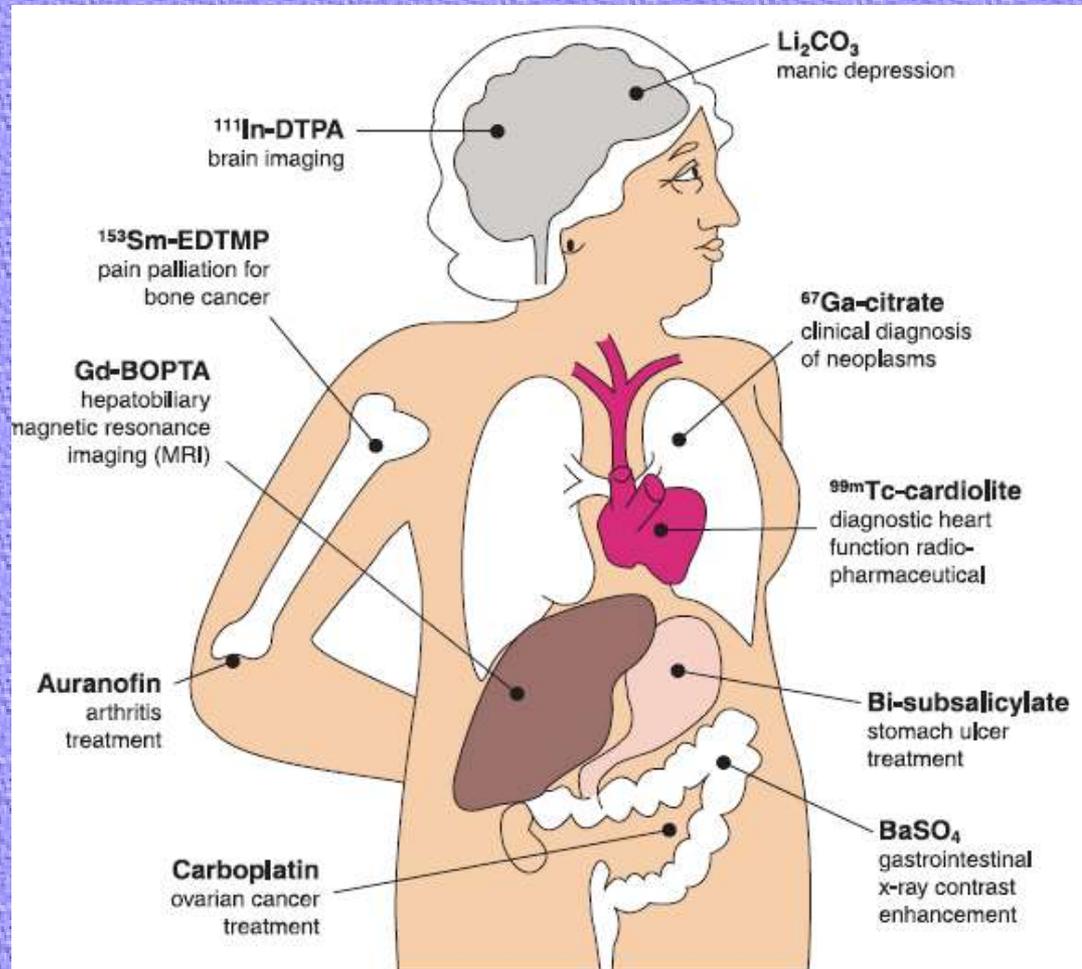
Metais solubilizados como cátions são mais disponíveis em águas ácidas.

Metais solubilizados como oxi-ânions (como As^5 , Mo^{6-} , CrO_4^{6-}) são mais disponíveis em águas básicas.

USO MÉDICO DE ELEMENTOS NÃO ESSENCIAIS

tratamentos
(para funções diferenciadas)

Au
Bi
Li
Pt
Sm
Sb



diagnósticos
(por baixa disponibilidade absoluta)

Ba
Gd
Ga
In
Tc

CICLO DOS ELEMENTOS ATÉ ALCANÇAR CADEIAS ALIMENTARES



Sem considerar poluições antrópicas.

ÁGUAS E ALIMENTOS

Águas correntes refletem a composição química das rochas do substrato.

Plantas refletem a composição química dos solos onde crescem.

Os animais, pelas águas e alimentos, refletem a composição química da região em que vivem.

Populações que alimentam-se exclusivamente de produtos locais são mais afetadas por anomalias geoquímicas localizadas.

Há casos clássicos de problemas de saúde devido à abundância ou falta de elementos como I, As, F, Se, Zn e outros.

**CONVENIÊNCIA DE CONSUMIR ÁGUA
E ALIMENTOS DE ORIGENS VARIADAS**

TEORES DOS MATERIAIS GEOLÓGICOS

TOTAL

(teor do material in situ)

BIODISPONÍVEL

(fração de teor disponível para assimilação por seres vivos)

BIODISPONIBILIDADE ABSOLUTA (ESPECÍFICA) (teor assimilável por cada organismo vivo)

(Elementos mais examinados: Al, As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se e Sb; mais Ag, Ba, Co, Mn, Mo, Na, Tl, V e Zn)

CONTEÚDO INICIAL
TOTAL

BIODISPONÍVEL

DISPONIBILIDADE
ABSOLUTA ESPECÍFICA

BIODISPONIBILIDADE ABSOLUTA ESPECÍFICA

Corresponde o teor efetivamente absorvível por organismo vivo específico, animal ou vegetal.

É função da forma de ocorrência dos elementos, especiação, concentração, pH, EH, clima, temperatura, interferência entre elementos, granulometria do meio etc.

Determinação a partir de análises em meios muito variados, não raro incluindo plantas e cobaias que habitam o ambiente da amostra.

Para replicar condições de humanos, feitos ensaios *in vitro* ao pH de 1,5, correspondendo ao do estômago.

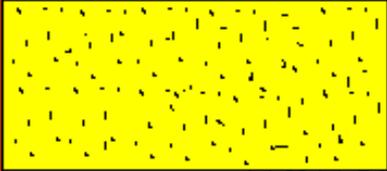
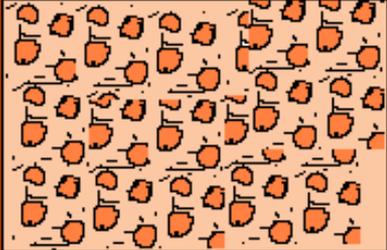
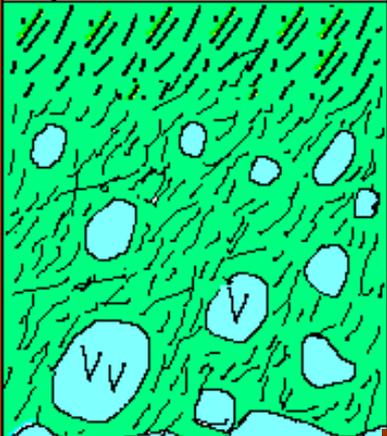
EXEMPLO DE BIODISPONIBILIDADE



Máxima produtividade agrícola coincide com maior biodisponibilidade de potássio.

Nos solos, o máximo de K solúvel ocorre próximo às rochas da base.

BAIXA BIODISPONIBILIDADE ESTERILIZAÇÃO POR LATERIZAÇÃO

	<p>Zona A – argila amarela, rica em SiO_2. Lixiviada de Mg, Ca, K, Na, Cu, Zn e outros.</p>
	<p>Zona B – argilosa e concrecional, rica em Al e Fe, com Mn, As, Co, Se, Zn, Ni sendo retidos com limonita. Lixiviada de Mg, Ca, K, Na e outros.</p>
	<p>Zona C – saprolito argiloso, gradando física e quimicamente para a rocha fresca abaixo. Os teores de Mg, Ca, K, Na, Cu, Ni e outros elementos aumentam para a base.</p> <p>Água com metais dissolvidos na base.</p>
	<p>Rocha fresca.</p>

BIOFORTIFICAÇÃO

A Embrapa estuda ocorrência e biodisponibilidade específica de metais para diversos produtos agrícolas e nos diversos solos do país, buscando regiões, produtos e variedades que garantam máximo de aproveitamento de elementos como Fe, Zn, Se, Ca e outros.

Estudos iniciais feitos com feijão, milho, mandioca, batatas, arroz, trigo e outros.

PADRÕES BRASILEIROS PARA ÁGUAS E SOLO

CONAMA

www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html

www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620

CETESB

www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf

TOXICIDADE – NORMAS DE DEFINIÇÃO

ENSAIOS DE SOLUBILIZAÇÃO

ABNT – NBR 10006

Ensaio em solução neutra, de pH 7,0.

Ensaio em duplicata, cada uma com 100 g.

Após agitação inicial, permanência de 7 dias.

Ao final, solução é diluída até 400 ml com água deionizada.

Mede-se o teor do elemento na solução.

ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO

ABNT – NBR 10005

Ensaio em meio ácido natural, usando-se ácido acético 0,5 N.

Agitação contínua de 50 g da amostra em pH 5,0 +/- 0,2.

Período mínimo de 25 horas.

A acidez é mantida com novas adições de ácido acético.

Ao final, a solução é diluída até 800 ml com água deionizada.

Mede-se quantidade de ácido usada e teor do elemento na solução.

MODELO DE PADRÕES - CHUMBO

Água para consumo humano	< 0,010 µg/L	Ministério da Saúde, Portaria 1469/GM, Art. 14, 29.12.2000
Água de subsolo	< 0,010 µg/L	CETESB 2005
Efluente descarregável em drenagem	< 0,500 mg/L	CONAMA, Resolução 20/1986

Solo de qualidade	72 ppm	CETESB e CONAMA
Solo agrícola	180 ppm	
Solo residencial	300 ppm	
Solo industrial	900 ppm	

Produto Inerte	< 0,050 mg/L na solubilização	ABNT, Normas NBR-10004 e 10006
Produto Não Inerte	< 5,000 mg/L na lixiviação >0,050 mg/L na solubilização	ABNT , Normas NBR-10004, 10005 e 10006
Produto Tóxico	> 5,000 mg/L na lixiviação	ABNT, Normas NBR-10004 e 10005

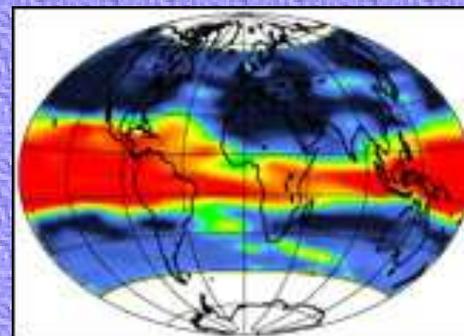
CAUSAS NATURAIS DE ANOMALIAS

Vulcanismo

VULCANISMO



Chaitén, Chile



10 bmt magma
20 mmt SO₂

Pinatubo

Tempestades de pó

TEMPESTADES DE PÓ



África



Sudão

Intemperismo

Erosão e transporte

Concentrações minerais

Terremotos

CAUSAS ANTRÓPICAS DE ANOMALIAS

Atividades industriais

Acumulação de rejeitos urbanos e industriais

Acumulação de rejeitos de mineração

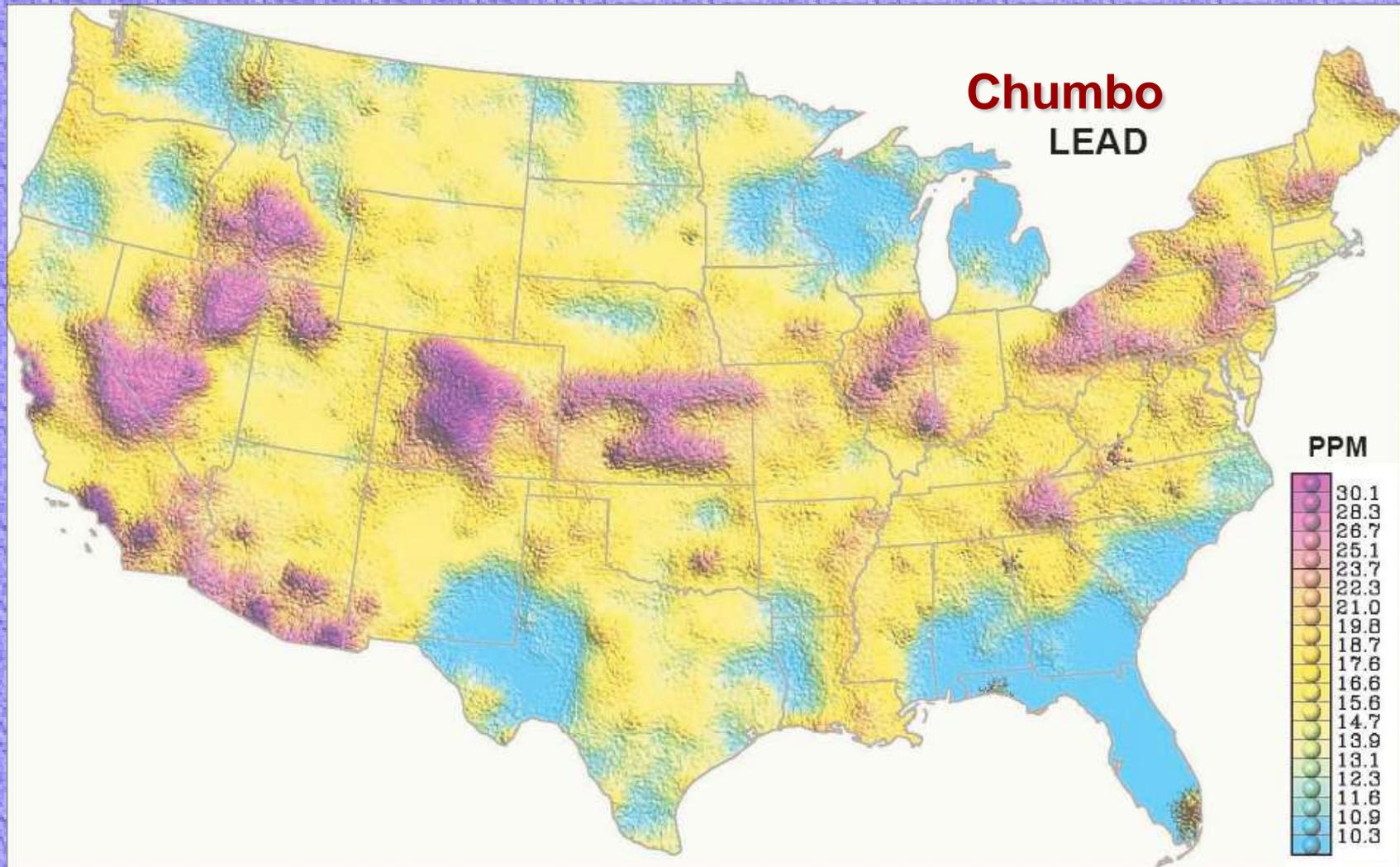
Uso intensivo de inseticidas agrícolas

Devastação de matas e desertificação

Uso intensivo de fontes energéticas poluentes

Outras

A DISTRIBUIÇÃO NATURAL DOS ELEMENTOS NÃO É REGULAR



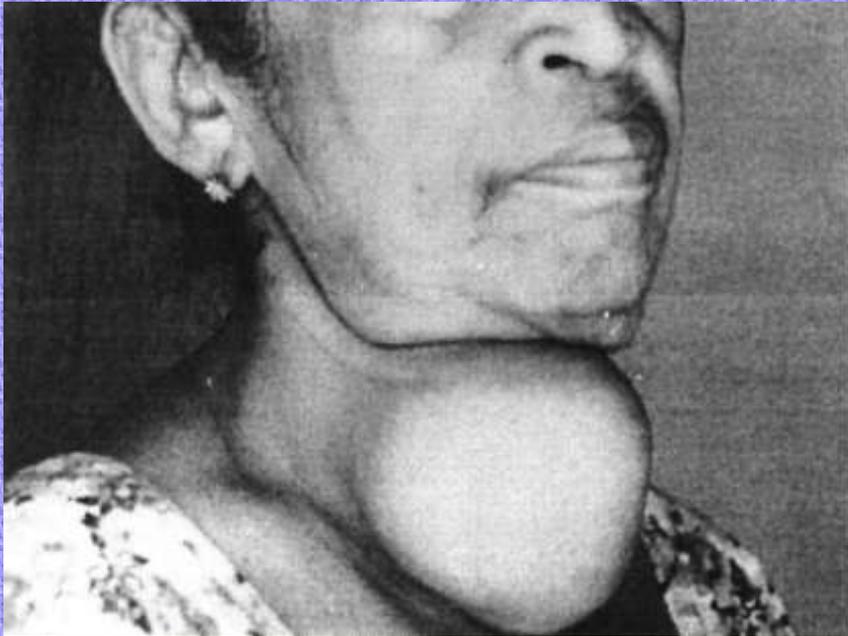
**AFETAÇÕES DEVIDO A
DISTRIBUIÇÃO NATURAL DE
MATERIAIS GEOLÓGICOS**

iodo – fluor – metais básicos – selênio

(Arsênio será apresentado a parte)

iodo

Falta de iodo causa hiperatividade da tiróide, refletida por papeira.



Com iodo a tiróide produz hormônios que controlam o metabolismo e geração de energia corporal.

Antes da introdução do sal iodado, a papeira atingia vastas regiões do planeta, em clara relação com a geologia.

FLUOR

Componente essencial de fosfatos como a hidroxifluorapatita, constituinte do esmalte dos dentes.

Essencial para formação de dentes e ossos fortes e saudáveis, também ajudando a evitar osteoporose.



Excesso causa fluorose, dentes mais duros, quebradiços, manchados e calcificações do esqueleto.



Fluorose é encontrada em regiões com alto teor de fluor em água de drenagem usada para o consumo.



Fluorose do esqueleto, quando há crescimento ósseo nas juntas, originando mal formações e dores.

Mais de 8.000.000 pessoas em todo o mundo sofrem de fluorose, principalmente na Índia, China, Taiwan e Sri Lanka.



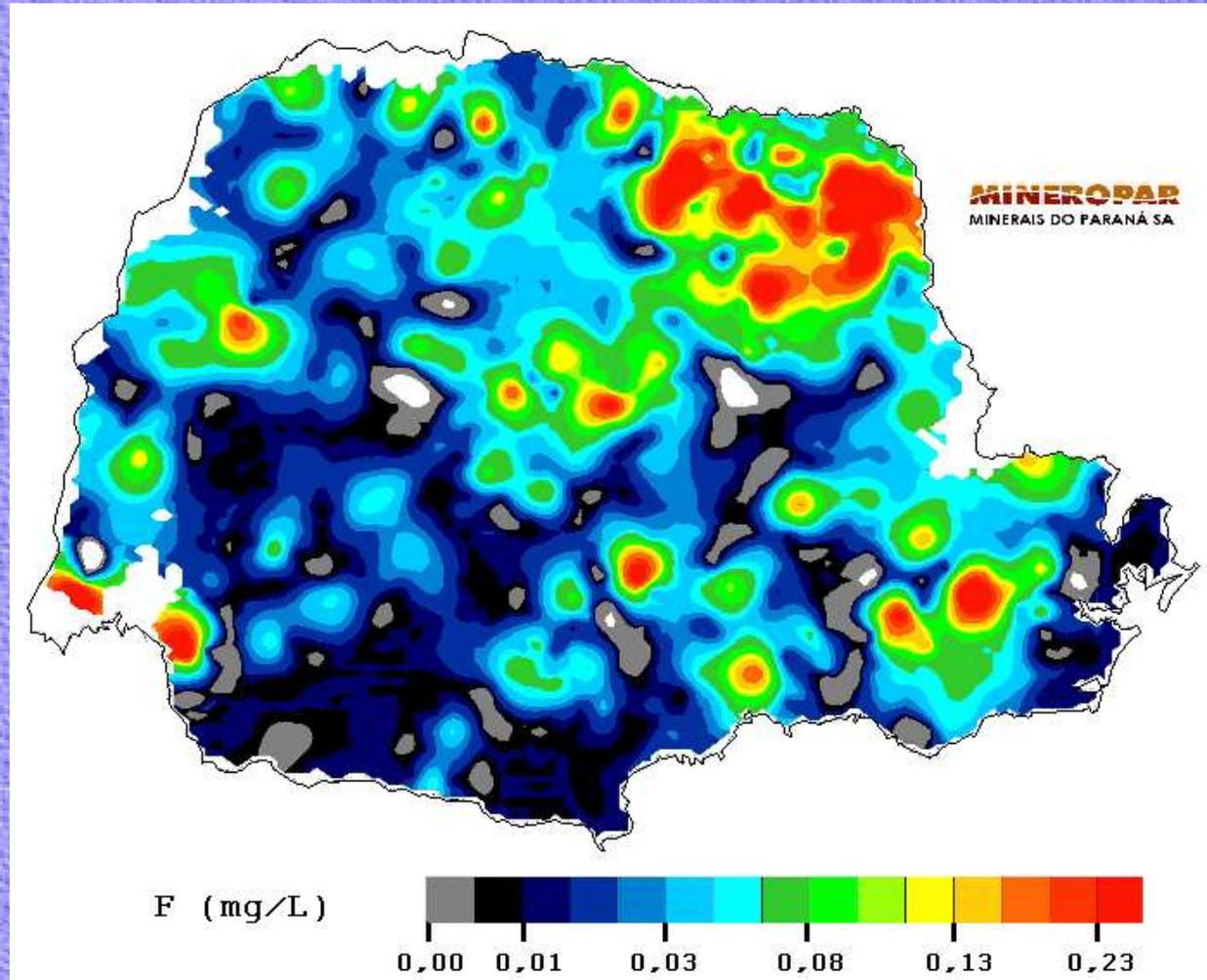
Devido à fluorose, há fortes campanhas contra adição de flúor à água potável sem estudo prévio de sua presença na água a ser tratada.

No Brasil, há casos em SP, MG, SC, CE e outros estados. Em MG, no vale do Rio São Francisco, teores altos de flúor relacionam-se à presença de mineralizações de sulfetos em rocha calcária.

FLÚOR

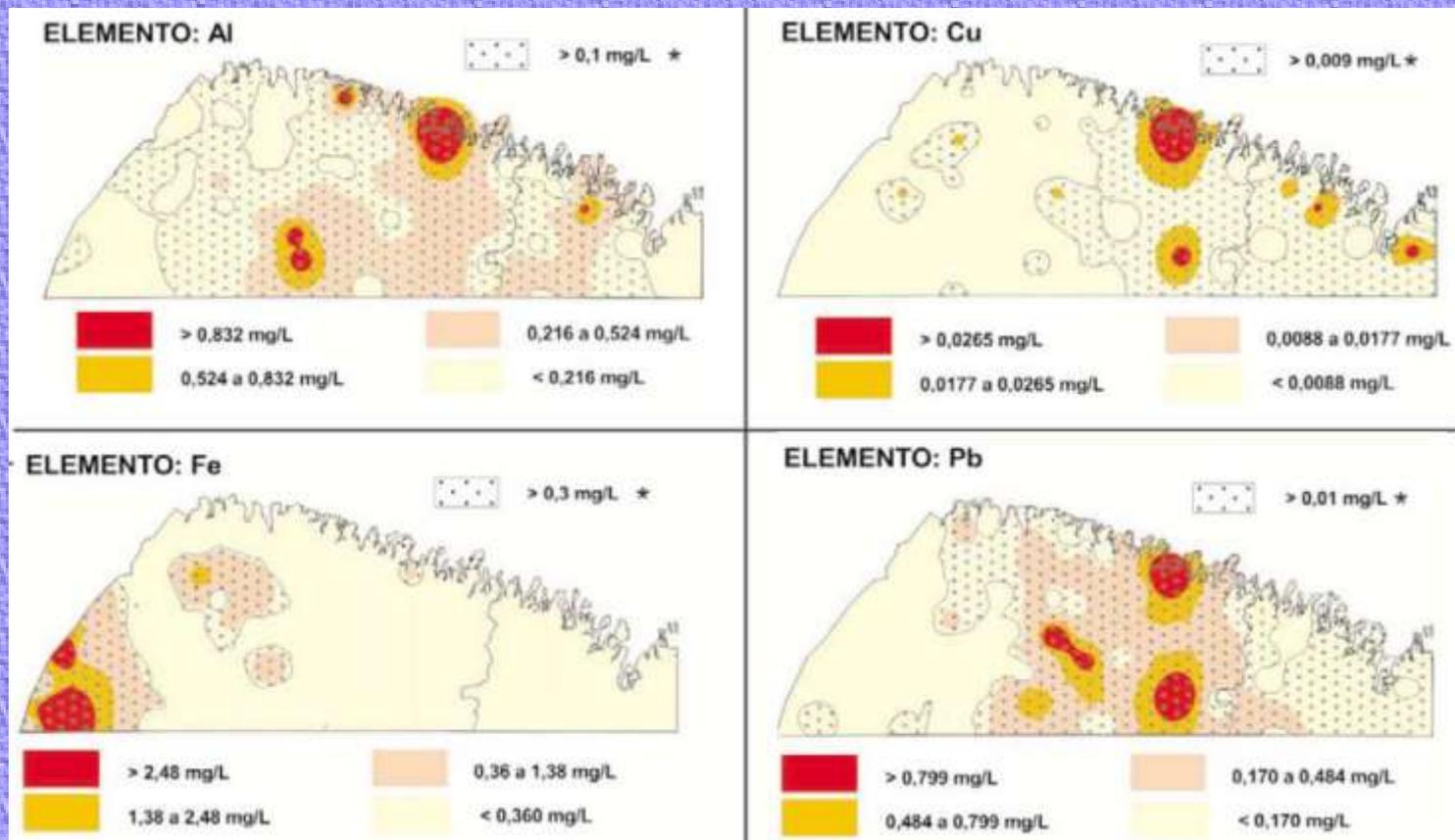
CONVÉM ESTUDAR A DISTRIBUIÇÃO DE FLÚOR NAS BACIAS DE DRENAGEM

Distribuição de flúor em microbacias de drenagem do Paraná.



METAIS BÁSICOS EM ÁGUAS NATURAIS

Teores altos de Al, B, Cu, Fe, Pb, Zn etc. em águas naturais usadas para abastecimento público, em municípios da costa paraense.



Máximos CONAMA: Al = 0,1 mg/L
Cu = 0,009 mg/L
Fe = 0,3 mg/L
Pb = 0,01 mg/L

SELÊNIO

Essencial em funções metabólicas e em enzimas antioxidantes, retardadoras de envelhecimento.

Doses diárias inferiores a 0,04 mg podem ser insuficientes e superiores a 0,10 mg podem ser tóxicas.

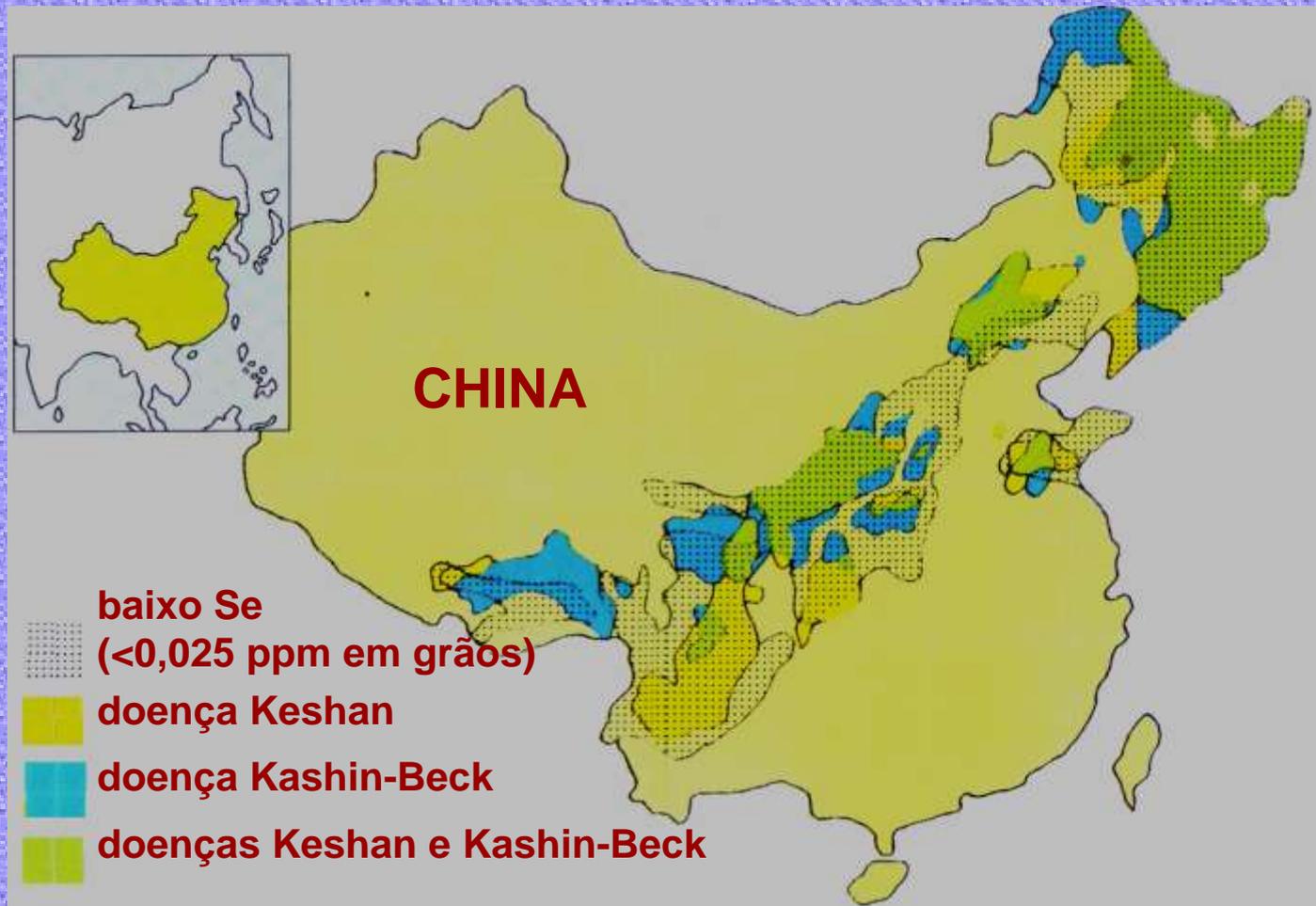
Doenças por falta de selênio ocorrem em vastas regiões da China, acompanhando estruturas geológicas.

Ocorre principalmente em sulfetos e tem comportamento geoquímico semelhante ao do enxofre.

Se^{6+} é mais disponível às plantas em solução, enquanto que Se^{4+} é retido em óxidos e hidróxidos de ferro.

SELÊNIO

Faixa de baixo teor deixa milhões com doenças crônicas



doença Keshan – enfraquecimento do músculo do coração

doença Kashin-Beck – inchaço das juntas, dores, doenças diversas

Selinus, O. e Frank A. - *Medical Geology*,
em *Environmental Medicine*, L.Moller

ÁGUAS PESADAS

Na Europa, foi observado haver menor incidência de enfartos em regiões de água pesada, aquelas com maiores concentrações de carbonatos dissolvidos, e principalmente onde a relação Mg:Ca é maior.

ALGUMAS AFETAÇÕES NATURAIS NO BRASIL



**AFETAÇÕES POR
MODIFICAÇÕES ANTRÓPICAS NO QUIMISMO
AMBIENTAL
E REDISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS,
COM EFEITOS NOCIVOS À SAÚDE**

**ÁGUAS ÁCIDAS
MERCÚRIO - CÁDMIO – CHUMBO
CARVÃO**

ÁGUAS ÁCIDAS

São águas fluviais tornadas excessivamente ácidas pela presença de ácido sulfúrico, formado por oxidação de sulfetos como pirita (FeS_2), pirrotita e outros.

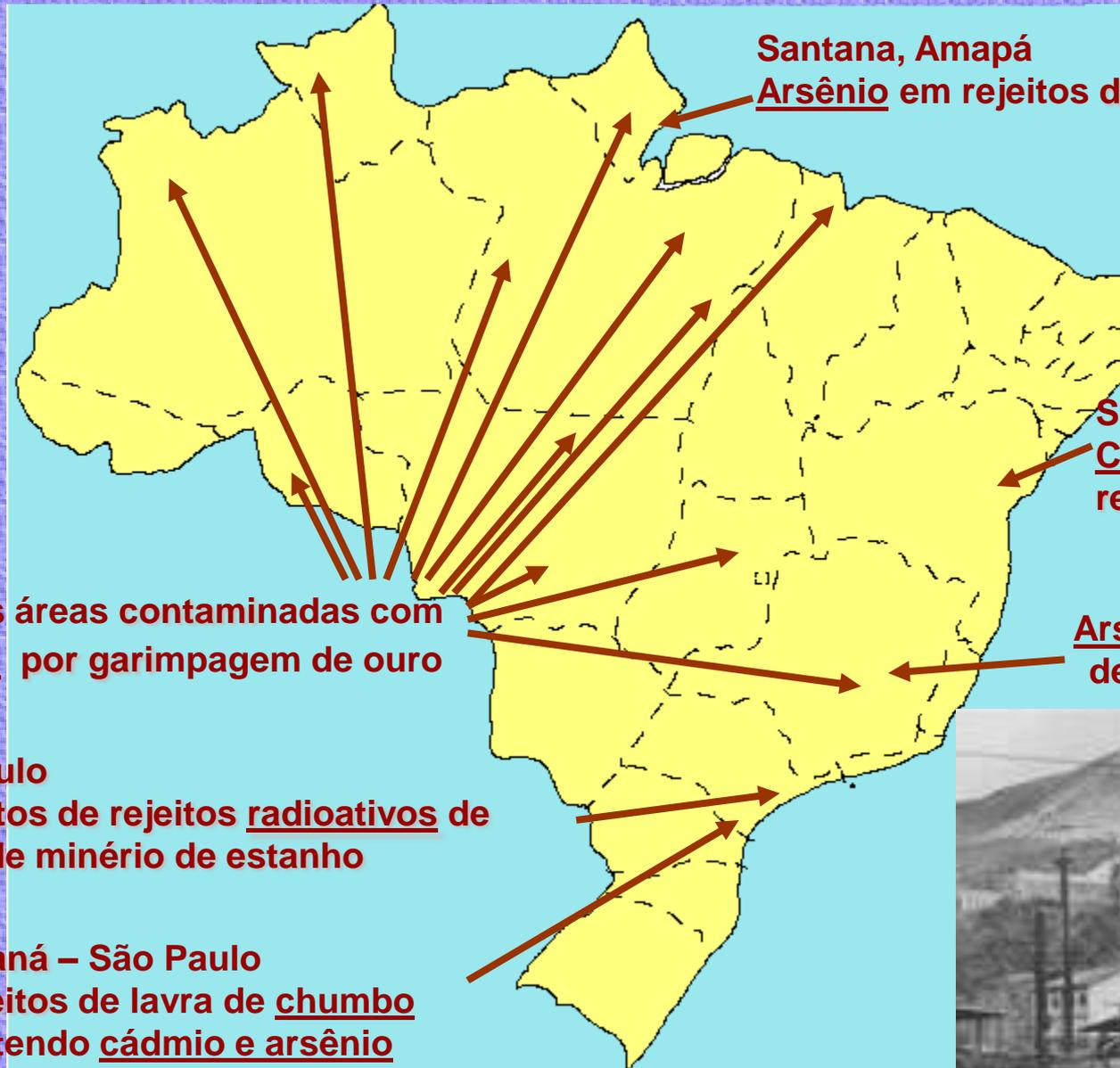
Ocorre em regiões de lavra de minérios contendo sulfetos e onde os rejeitos não são dispostos de forma apropriada.

Além da acidez, são tóxicas por conterem altas concentrações de metais como chumbo, cádmio, cobre, arsênio e outros, liberados pela dissolução de sulfetos e carbonatos.

Alerta para acusações infundadas de geração de águas ácidas a atividades mineiras que de forma alguma as produzem.



ALGUMAS AFETAÇÕES ANTRÓPICAS NO BRASIL



Santana, Amapá
Arsênio em rejeitos de pelotização

Santo Amaro, Bahia
Chumbo de rejeitos de refinaria

Quadrilátero
Arsênio em rejeitos de lavras auríferas

Extensas áreas contaminadas com mercúrio por garimpagem de ouro

São Paulo
Depósitos de rejeitos radioativos de refino de minério de estanho

Paraná – São Paulo
Rejeitos de lavra de chumbo contendo cádmio e arsênio



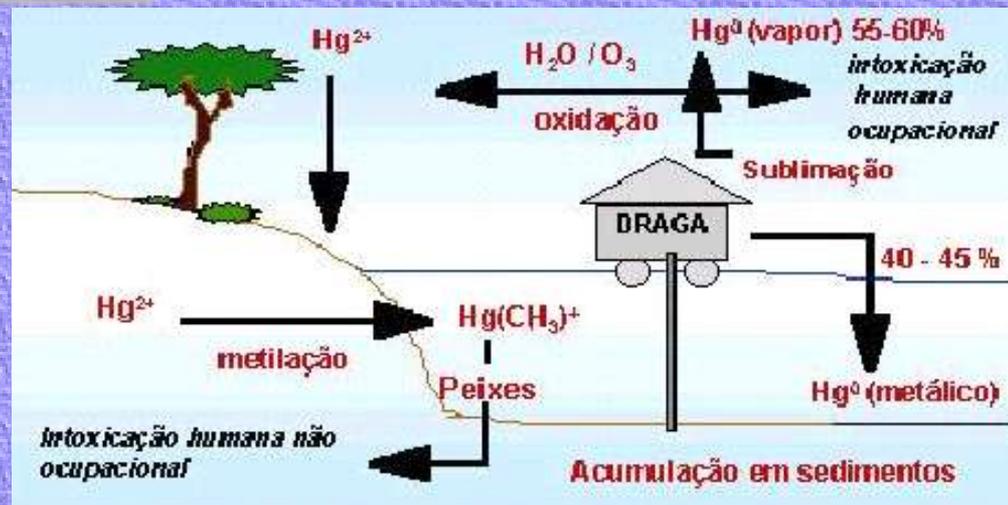
MERCÚRIO

Pouco nocivo como metal, é tóxico como gás ou em forma orgânica. Em ambiente ácido, é lentamente metilado em matéria orgânica. Acumula-se na cadeia alimentar (peixes).

É liberado por vulcanismo, intemperismo, termoelétricas queimando carvão queima de amálgamas em garimpos de Au usos industriais e seus rejeitos risco: amálgamas dentários

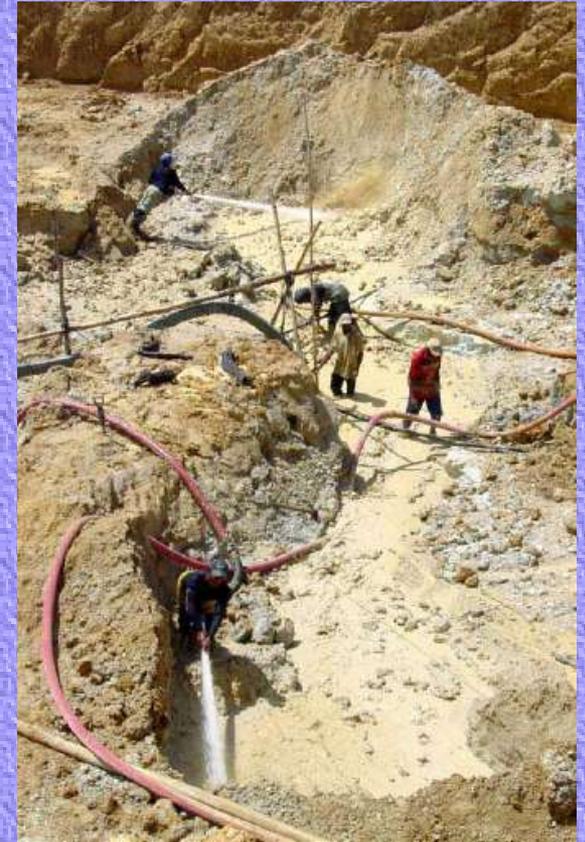


peixes concentram mercúrio metilizado



Danifica cérebro, sistema nervoso, rins e fetos
Doença de Minamata – ataca o cérebro

USO DE MERCÚRIO NA GARIMPAGEM DE OURO



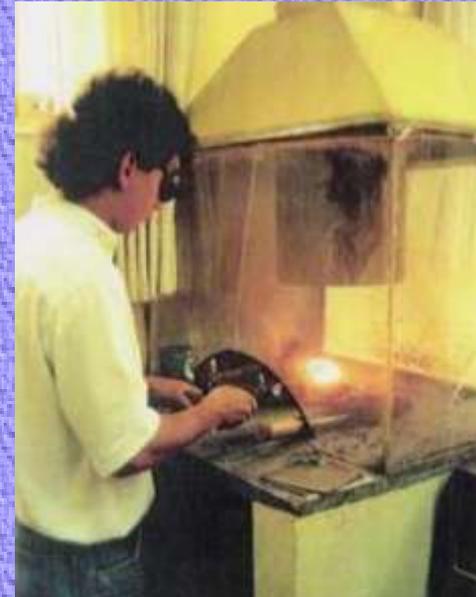
Processos rudimentares de lavra e tratamento do minério

MERCÚRIO NA GARIMPAGEM DE OURO



Separação do cascalho e areia e coleta do ouro com mercúrio

MERCÚRIO NA GARIMPAGEM DE OURO



**O ouro, amalgamado com mercúrio é separado em bateia.
O amálgama é aquecido, para evaporação do mercúrio,
restando o ouro livre.**



MERCÚRIO EM GARIMPOS

<u>Valores normais em cabelo, conforme OMS:</u>	<u>1 a 2 ppb</u>
Em Poconé, MT, valores fora do garimpo:	0,3 a 3 ppb
Em Poconé, na área de garimpo: (34 ppb após queimar amálgama por 16 anos)	1,3 a 34 ppb
Em Cumaru, PA, máximo encontrado:	14 ppb
No Rio Madeira, RO, máximo:	97 ppb
Em Rainha, Rio Tapajós, máximo:	34 ppb
Em São Luiz do Tapajós, máximo:	48 ppb
Em Barreiras, Rio Tapajós, máximo:	71 ppb
Em Paraná Mirim, Rio Tapajós, máximo:	15 ppb

CALAMIDADE NA AMAZÔNIA

**Fonte: Site Monitor Mercantil
(www.monitormercantil.com.br/)
(12/04/2005)**

O mercúrio encontrado nos peixes chega a exceder em até 40 vezes o estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que é de 0,5 mg de mercúrio por quilo de peixe. Dos trabalhadores examinados pelo Cetem e pelo IEC, 50% reclamaram de palpitação e 40% de sensações de formigamento, dormência ou ardência nas mãos e nos pés. Também foram registrados tremores e alta incidência de gosto metálico na boca.

ARSÊNIO EM SANTANA, AMAPÁ

Entre 1973 e 1983, a partir de finos do minério, foram produzidas 1.275.000 toneladas de pelotas. O aquecimento na pelotização reconstituiu em parte a mineralogia do protominério, instável nas condições atmosféricas locais. Do processo também resultaram 75.600 toneladas de rejeitos, depositados em bacia ao lado da planta de pelotização.

A relativa instabilidade mineral dos rejeitos levou à contaminação por As do lençol freático na área da bacia e algumas drenagens.

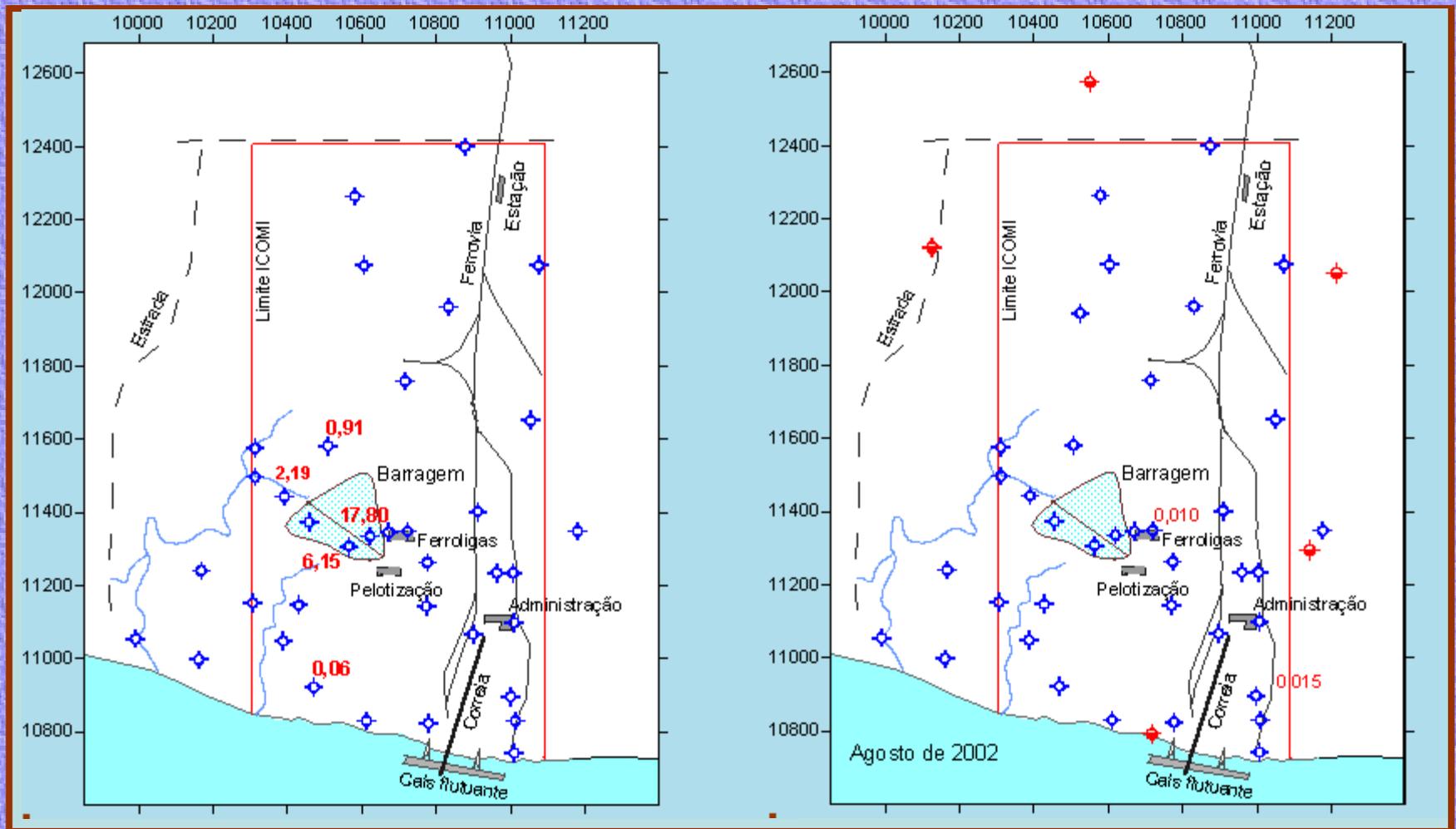
A retirada e o isolamento dos rejeitos da bacia reduziu de pronto o nível de contaminação da drenagem e do subsolo.

Os teores de arsênio no lençol freático caíram rapidamente, por sua absorção em óxidos e hidróxidos neoformados de manganês e de ferro, precipitados nas condições ácidas do nível freático, replicando a intemperização que causou a formação do minério.



ARSÊNIO EM ÁGUAS DE SUBSOLO

(valores de monitoramento de agosto de 1997 e de 2002)



Pontos sem valores: em 1997, < 0,05 mg/L
em 2002, < 0,01 mg/L

Valores em mg/L

CÁDMIO E CHUMBO

Cádmio

Presente em solo, vegetação e água.
Concentra-se com sulfetos de Pb, Zn e Cu.
Em solução, dissemina-se por drenagem e ar.
Concentra-se em alimentos vegetais e animais.
Liberado em rejeitos e atividades industriais.
Baterias, fumos de cigarros, queima de carvão.

Problemas renais sérios.
Prejudica a fixação de cálcio nos ossos.
Amolecimento e enfraquecimento de ossos.
Fraturas ósseas e osteoporose.

Não há tratamentos.
Não há reversão.

CÁDMIO E CHUMBO

Chumbo

**Rejeitos industriais e de mineração.
Grande dispersão devido a uso intensivo.
Maiores contaminações próximo a cidades.**

Afeta principalmente crianças e aves.

**Saturnismo (dores, anemia, úlceras)
Doenças no sistema nervoso.
Dores.**

AFETAÇÕES FÍSICAS

AGRESSÕES POR MATERIAIS GEOLÓGICOS TÓXICOS

- **Pó de sílica no pulmão – silicose**
(ocorre principalmente quando há grande quantidade de fragmentos recém-pulverizados de sílica)
- **Pó de manganês no pulmão – ataca sistema nervoso**
(ocorrência rara, mas possível, em local de muito pó de manganês e pouquíssima ventilação)
- **Amianto (asbesto)**
- **Radônio – gás radioativo**
- **Outros elementos radiativos**
- **Pó de carvão**

PÓS ALTAMENTE DANINHOS

Sílica – Quartzo cristalino em granulometria muito fina pode impregnar e ficar retido em alvéolos do pulmão, dificultando a respiração, criando inflamações e uma série de efeitos nocivos que caracterizam a silicose.

Manganês – Pó de óxidos de manganês inspirados aos pulmões podem levar a danos ao sistema nervoso, na doença manganose.

Essas afetações ocorrem principalmente em ambientes fechados, sem ventilação adequada.

AMIANTO (asbesto)

Minerais industrialmente atraente por

Serem reduzível a fibras, transformáveis em fios.

Resistirem a altas temperaturas.

Inatacáveis por quase todos os agentes químicos.

Minerais usáveis como amianto:

SERPENTINAS

crisotila - $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ANFIBÓLIOS FERRÍFEROS

$(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$
riebequita/crocidolita,
grunerita-cummingtonita,
antofilita, tremolita e actinolita



crisotila



tremolita

AMIANTO (asbesto)

O corpo humano tem mecanismos que retêm fragmentos inspirados durante a respiração antes que cheguem ao pulmão.

Fragmentos que chegam ao pulmão, geralmente $<10\ \mu$, são ali envolvidos por células macrofágicas, formando pequenas massas que são expelidas com leves tossidas.



A eliminação não é eficiente com partículas prismáticas e resistentes de amianto, que podem ser retidas no pulmão por maior tempo.

Fibras de anfibólio são rígidas e podem penetrar na pleura. As de serpentina são mais flexíveis.

AMIANTO (asbesto)

O ambiente úmido do pulmão é propício à alteração dos minerais nele retidos. Decomposição dos anfibólios produz hidróxidos de ferro, como ferrugem, que podem aderir à pleura, favorecendo inflamações que podem provocar câncer.



Serpentinas contém magnésio e não tem ferro. Em sua decomposição o magnésio não forma novos minerais, sendo lixiviado.

AMIANTO (asbesto)

Asbestose ocorre principalmente com fumantes, pois o calor nos pulmões acelera a alteração dos minerais.

Câncer aparece anos após a fixação das fibras nas paredes do pulmão e provocarem reações celulares daninhas.

Incidência de asbestose é perceptível em trabalhadores de minas e indústrias que manipulam amianto em grandes quantidades, principalmente quando fumantes.

Os primeiros casos de asbestose foram identificados na Europa, onde eram usadas tintas de parede contendo asbesto anfibólio ferrífero. Ao secarem, as tintas liberavam fibras de asbesto. Muitos casos ocorreram ao removerem essas tintas.

AMIANTO (asbesto)

Não só amianto industrial traz perigo.

Anfibólios ferríferos são minerais comuns em muitas rochas metamórficas e ígneas e se moídos e inspirados por respiração podem gerar câncer.

Há perigo em algumas formações ferríferas e em pedra sabão.

Em Minas Gerais, já foi reportada asbestose devida a fibras de actinolita em trabalhadores de pedra sabão. (Chamaram de *talco*)

Na foto, amostra de potencial minério de ferro de magnetita, contendo actinolita.



RADÔNIO

Sequência de rádio-isótopos da passagem de U^{238} a Pb^{206} , com os elementos intermediários e suas vidas médias.

O grau de alcance e penetração e consequentes danos aumenta das partículas α para as γ .

As partículas α são mais ionizantes que as partículas γ .

M.Svartengren – *Radon, a great health risk*, Environmental Medicine, L.Moller

		Urânio	^{238}U	4,5*10,9 anos
		↓		
α	+	Rádium	^{226}Ra	1.602 anos
		↓		
α	+	Radônio	^{222}Rn	3,8 dias
		↓		
α	+	Polônio	^{218}Po	3 minutos
		↓		
α	+	Chumbo	^{214}Pb	27 minutos
		↓		
$\beta\gamma$	+	Bismuto	^{214}Bi	20 minutos
		↓		
$\beta\gamma$	+	Polônio	^{214}Po	<1 segundo
		↓		
α	+	Chumbo	^{210}Pb	21 anos
		↓		
β	+	Bismuto	^{210}Bi	5 dias
		↓		
β	+	Polônio	^{210}Po	138 dias
		↓		
α	+	Chumbo	^{206}Pb	estável

RADÔNIO

Gás radioativo intermediário da transformação de U^{238} a Pb^{206} . Na transformação predominam fases sólidas e intensa emissão de raios alfa, beta e gama.

É encontrado em solo e águas de sub-solo em áreas de granitos, gnaisses, rochas alcalinas, folhelhos e outras rochas, principalmente as que contenham fosfatos.

A forma gasosa do radônio permite sua inalação pela respiração e ingestão com água.

Representa risco substancial em minas subterrâneas onde haja urânio, nesse caso requerendo forte ventilação.

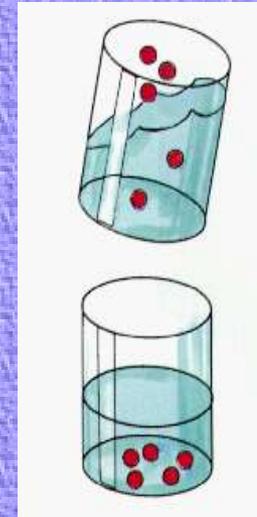
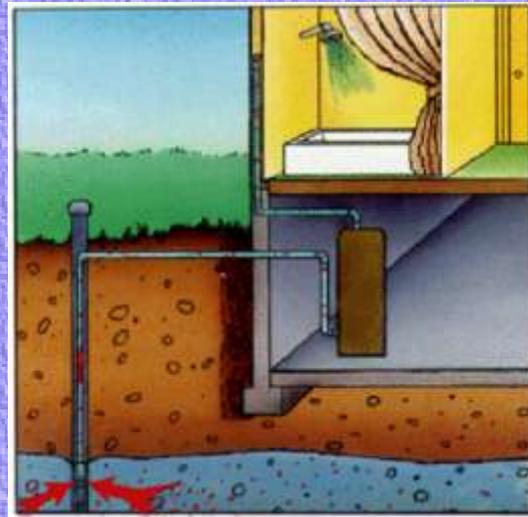
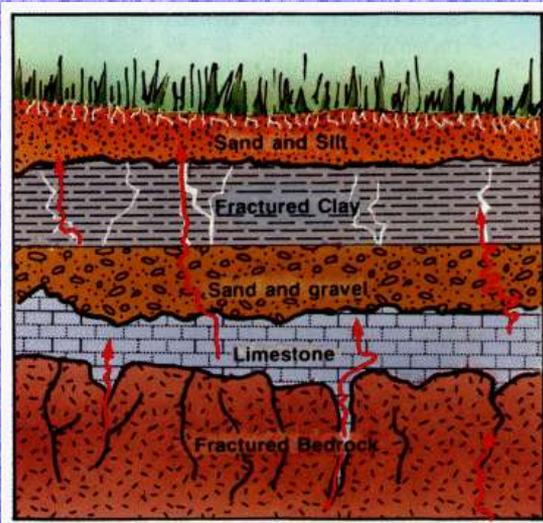
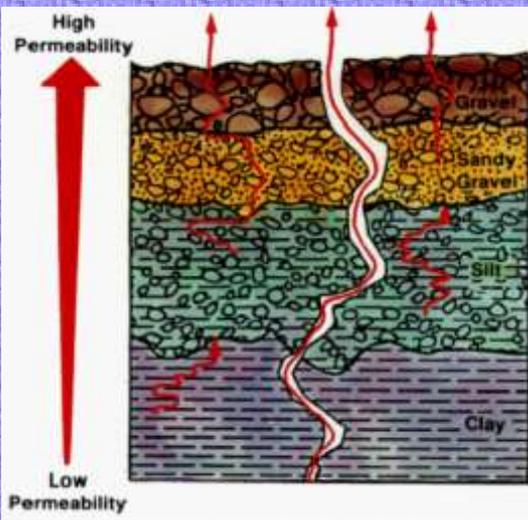
Em regiões frias, onde os ambientes são fechados para evitar perda de calor, penetra por pequenas fraturas no piso e concentra-se no ar. Daí a conveniência de, nesses locais, haver um porão arejado sob o piso. O risco é menor em ambientes bem arejados.

RADÔNIO

Solos muito permeáveis permitem rápido escape do radônio.

Solos impermeáveis retém o radônio, que pode alcançar grandes concentrações.

Águas de poços podem ter altas concentrações de radônio, convindo agitá-las para liberar o radônio para a superfície.



CARVÃO MINERAL

Carvão é mineral sem estrutura cristalina, amorfo, formado por átomos de carbono. Origina pela lenta decomposição e alteração de acumulação de massas vegetais e orgânicas, sob coluna de sedimentos e em ambiente sem oxigênio livre. Aparece em camadas contendo também materiais orgânicos, voláteis, fragmentos de rochas na forma de areias e seixos e minerais formados *in situ*, como sulfetos.



É usado como fonte de energia por sua capacidade de queimar gerando calor. Na queima libera CO_2 e uma variedade de compostos orgânicos e cinzas, entre as quais podem haver produtos tóxicos.

CARVÃO MINERAL

lavra a céu aberto



afioramento



lavra em subsolo



termoelétrica



CARVÃO MINERAL



Carvão em pó bem fino inspirado aos pulmões dificilmente é removido.

Pode reagir com às células macrofágicas que o envolve, podendo gerar compostos orgânicos maléficos.

Agregados de carvão e células macrofágicas formam massas negras que reduzem a capacidade respiratória, causam inflamações e necroses.

Essa situação ocorre essencialmente em lavras de subsolo com ventilação deficiente.

CARVÃO MINERAL

Em Xuan Wei, China, há grande incidência de câncer pulmonar devido a queima de carvão dentro das casas. O carvão do local é extremamente rico em partículas muito finas de sílica, que aderem às paredes dos pulmões.

