

**PROGRAMA SOBRE PREVENÇÃO E CONTROLE  
DA CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS:  
UM VALIOSO RECURSO QUE REQUER PROTEÇÃO**

ROSA BEATRIZ GOUVÊIA DA SILVA

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA / DAEE

SÃO PAULO

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE

ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE

PROGRAMA DE SAÚDE AMBIENTAL

CENTRO PANAMERICANO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA E CIÊNCIAS DO AMBIENTE

**PROGRAMA  
SOBRE PREVENÇÃO E CONTROLE  
DA CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS:  
UM VALIOSO RECURSO QUE REQUER PROTEÇÃO**

**Dra. ROSA BEATRIZ GOUVÊA DA SILVA  
DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA / DAEE  
SÃO PAULO / BRASIL**

**LIMA, NOVEMBRO DE 1986**

**ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE  
ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE  
PROGRAMA DE SAÚDE AMBIENTAL  
CENTRO PANAMERICANO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA E CIÊNCIAS DO AMBIENTE**

Título do original em espanhol

**LAS AGUAS SUBTERRANEas:  
UN VALIOSO RECURSO QUE REQUIERE PROTECCION**

Traduzido para o português da edição em espanhol publicada  
pelo CEPIS, Lima, Peru, 1986

Impresso no Brasil

S586a Silva, Rosa Beatriz Gouvêa da  
As águas subterrâneas: um valioso recurso que  
requer proteção. São Paulo, DAEE, 1987.  
26p. il. 11cm.

1. Águas subterrâneas 2. Poluição de águas sub-  
terrâneas I. Centro Panamericano de Engenharia  
Sanitária e Ciências do Meio Ambiente II. Departa-  
mento de Águas e Energia Elétrica III. Ventura,  
Miguel, colab. IV. Salas, Henry, colab.

CDD 628.1686

## APRESENTAÇÃO

O Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS), consciente da problemática de preservar a saúde pública, estruturou o Projeto sobre Avaliação e Controle da Poluição de Águas Subterrâneas.

Um dos objetivos deste programa é a elaboração de manuais sobre a preservação e controle da poluição do recurso hídrico subterrâneo. Este **Folheto de Alerta** pretende difundir, em linguagem simples, a problemática da degradação da qualidade das águas subterrâneas, a fim de que se tome consciência do problema e sejam adotadas as medidas preventivas e corretivas pertinentes.

Esta edição em Português é uma contribuição do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) para a adoção destas medidas de proteção das águas subterrâneas.



## RECONHECIMENTO

ROSA BEATRIZ GOUVEA DA SILVA nasceu em 25 de fevereiro de 1952 e faleceu em 25 de junho de 1986.

Geóloga e Doutora em Ciências pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo; Doutorada, Terceiro Ciclo, na Universidade Pierre e Marie Curie, Paris; Hidrogeóloga do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), de São Paulo.

Ao iniciar-se o Programa Regional sobre Prevenção e Controle da Poluição de Águas Subterrâneas, contou-se com a inestimável colaboração da Dra. Rosa Beatriz Gouvêa da Silva como integrante do Programa de Profissionais Jovens do CEPIS, cujos conhecimentos e dedicação no campo da hidrogeologia foram importantes fatores para o desenvolvimento do Programa.

A qualidade humana e a autêntica vocação profissional de Rosa motivaram o profundo reconhecimento de todos os seus companheiros de trabalho; nós tivemos a sorte de compartilhar da sua presença, otimismo e alegria, qualidades que recordaremos em nosso dia-a-dia.

## **PARTICIPANTES**

**Eng<sup>o</sup> ALBERTO FLÓRES MUÑOZ**  
Diretor do CEPIS

**Eng<sup>o</sup> HENRY SALAS**  
Assessor em Poluição de Águas / CEPIS

**Eng<sup>o</sup> MIGUEL VENTURA**  
Programa sobre Prevenção e Controle da Poluição de  
Águas Subterrâneas / CEPIS

**Sra. SONIA DE VICTORIO**  
Secretária / CEPIS

**Sra. ISABEL DELGADO DE RISSO**  
Mecanógrafa Bilingue e Operadora em Processamento  
de Dados / CEPIS

**Srta. JESSICA FARFÁN**  
Programa Ciências da Comunicação / Universidade de Lima

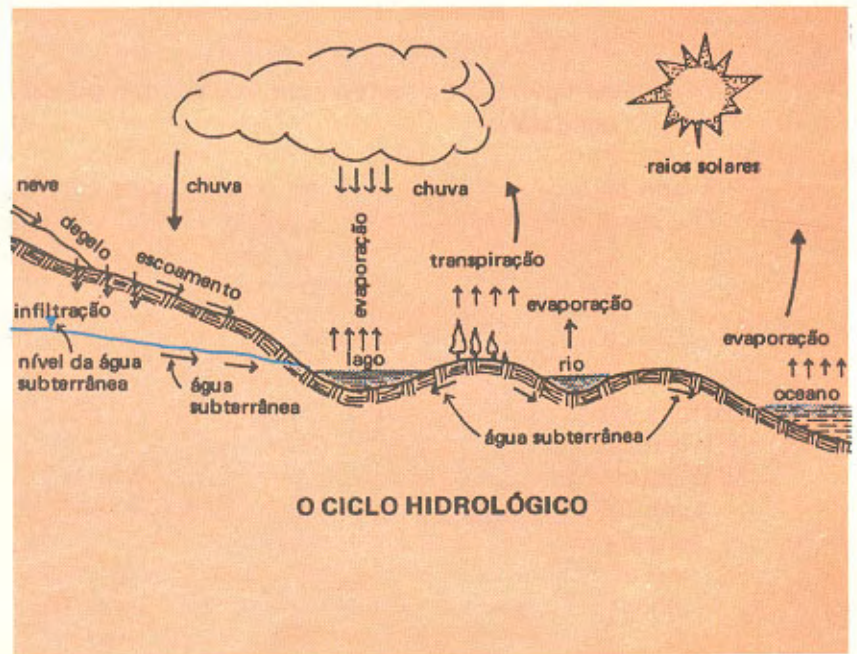
## VOCÊ SABIA QUE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS SÃO PARTE INTEGRANTE DO CICLO HIDROLÓGICO?

O ciclo hidrológico é a contínua circulação da água sobre o nosso planeta.

As águas dos oceanos, rios, lagos, da camada superficial dos solos e da transpiração das plantas se evaporam por ação dos raios solares. O vapor d'água resultante vai formar nuvens que em condições propícias se condensam, precipitando-se na forma de chuva, neve ou granizo.

Quando as precipitações caem no solo, uma parte da água escorre pela superfície, alimentando os rios, lagos e oceanos; outra se infiltra e uma última volta a formar as nuvens, retornando à atmosfera por evaporação. É um ciclo sem fim. Assim como uma esponja absorve a água, os solos durante a infiltração fazem o mesmo, armazenando o que chamamos de águas subterrâneas. As águas subterrâneas também são alimentadas por rios, lagoas, canais e água de degelo.

8-9



## AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS SÃO ARMAZENADAS NOS AQUÍFEROS

Quando a água se infiltra no solo, ela avança verticalmente por gravidade, através de poros (vazios) existentes entre os grãos, até chegar ao reservatório subterrâneo.

O reservatório subterrâneo é constituído pelos espaços vazios ou poros das rochas. Estes se encontram conectados entre si como se fosse um sistema de pequenos canais, onde a água é armazenada e circula muito lentamente.

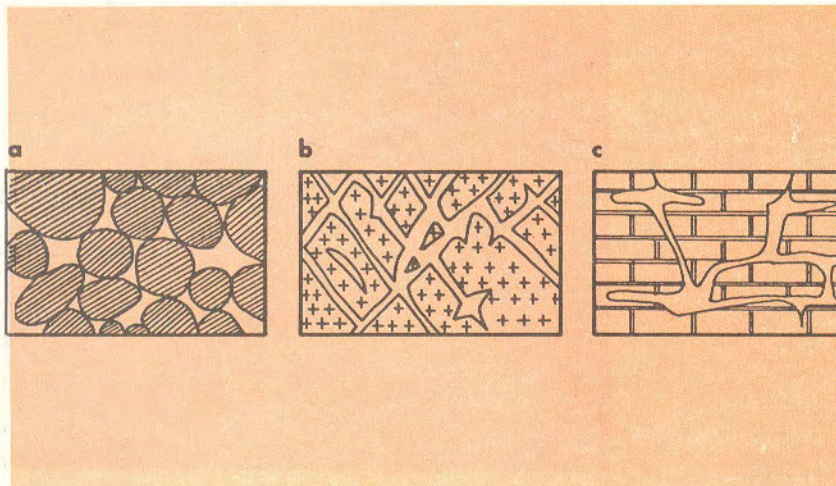
Existem rochas que são menos resistentes (ou brandas) e são compostas por materiais argilosos, grãos de areia ou cascalhos.

Assim como os solos, estas rochas apresentam porosidade primária, constituída pelos vazios entre os grãos, como na figura a.

As rochas mais resistentes (ou duras) são impermeáveis, mas muitas vezes se encontram fraturadas e então a água pode se armazenar nos espaços de fraturas, tal como se vê na figura b.

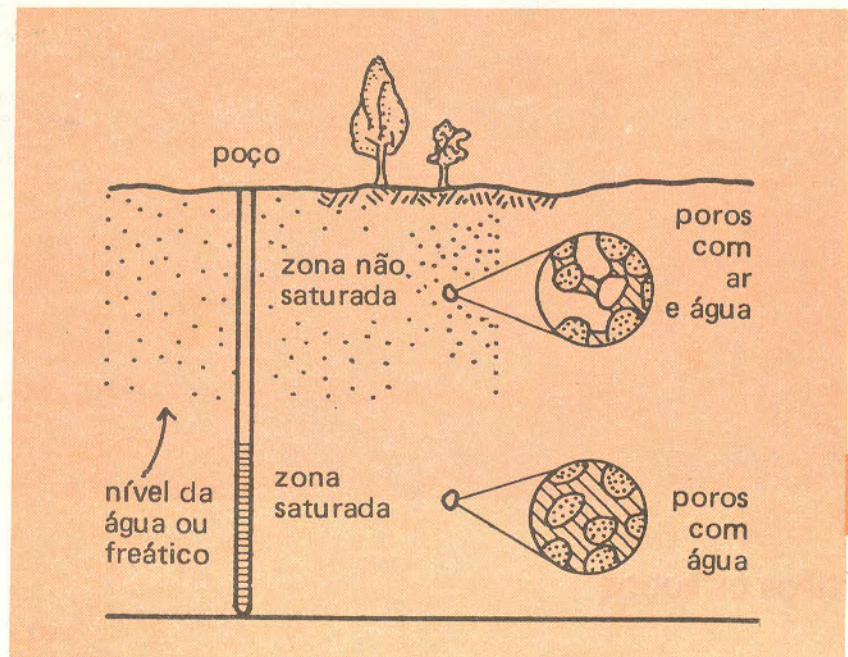
Existem também rochas, chamadas calcários, onde se formam cavernas e canais pela contínua ação de dissolução da água, como mostra a figura c.

As figuras b e c representam rochas com porosidade secundária.





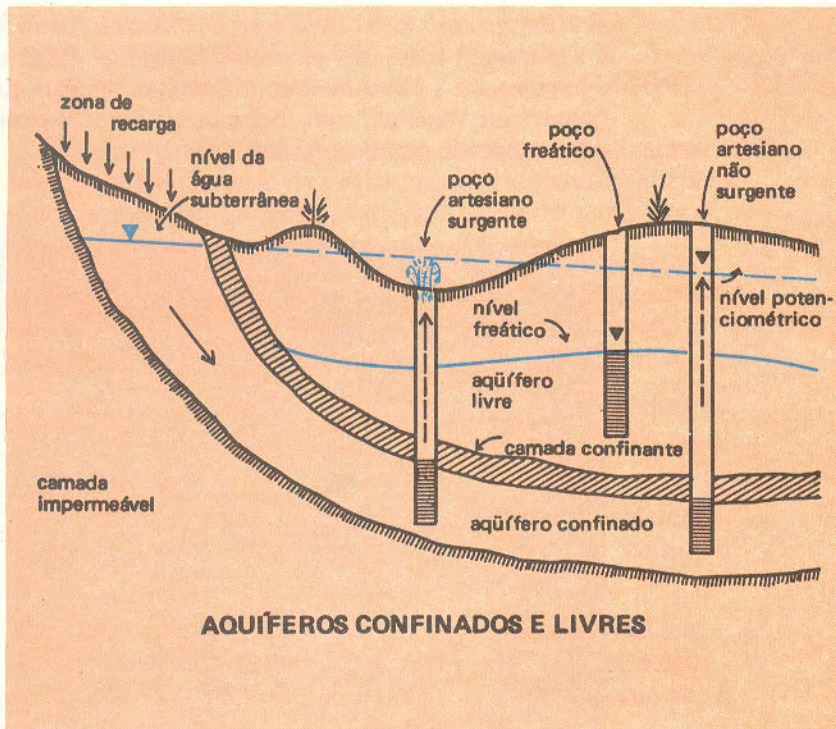
A zona de solo localizada acima do reservatório subterrâneo é a chamada **zona não saturada**. Nesta, os poros contém água e ar. Já a camada abaixo do nível de água subterrânea (superfície freática) tem todos os seus poros cheios de água e é conhecida como **zona saturada**.



Chama-se **aquífero** o reservatório subterrâneo do qual é possível extrair uma quantidade apreciável de água.

## TIPOS DE AQUÍFEROS

Na natureza existem principalmente dois tipos de aquíferos: a) livres (ou freáticos) e b) confinados (ou artesianos). Os aquíferos livres encontram-se mais próximos da superfície e os aquíferos confinados se apresentam, geralmente, a uma maior profundidade e intercalados entre camadas impermeáveis. Neste caso, a água está sob pressão nos poros e quando se constroem um poço, a água ascende, algumas vezes até a superfície.

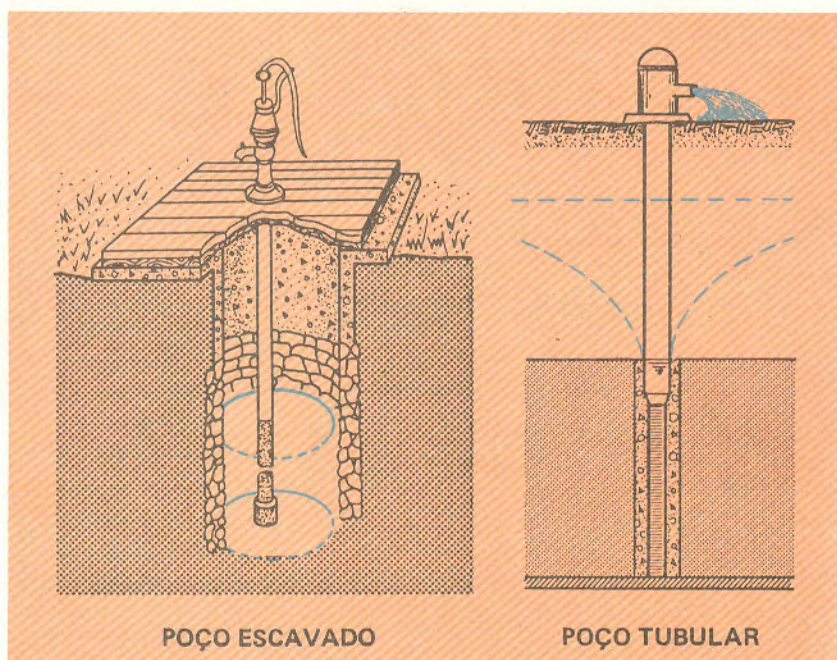


## TIPOS DE POÇOS

Para utilizar as águas subterrâneas, o homem dispõe de fontes ou mananciais (de onde a água brota espontaneamente) e, principalmente, de poços que são perfurados. Os tipos de poços mais comuns são:

**Poços escavados:** apresentam grandes diâmetros com profundidades geralmente inferiores a 25 metros e normalmente revestidos com cimento, ladrilhos ou pedras. A água é geralmente extraída com baldes, bombas de pequena potência e cataventos.

**Poços tubulares:** apresentam pequenos diâmetros e profundidades que variam de dezenas a centenas de metros, muitas vezes revestidos com tubos intercalados com filtros. A água é geralmente extraída com bombas elétricas e compressores. São denominados de poços artesianos quando exploram aquíferos confinados.



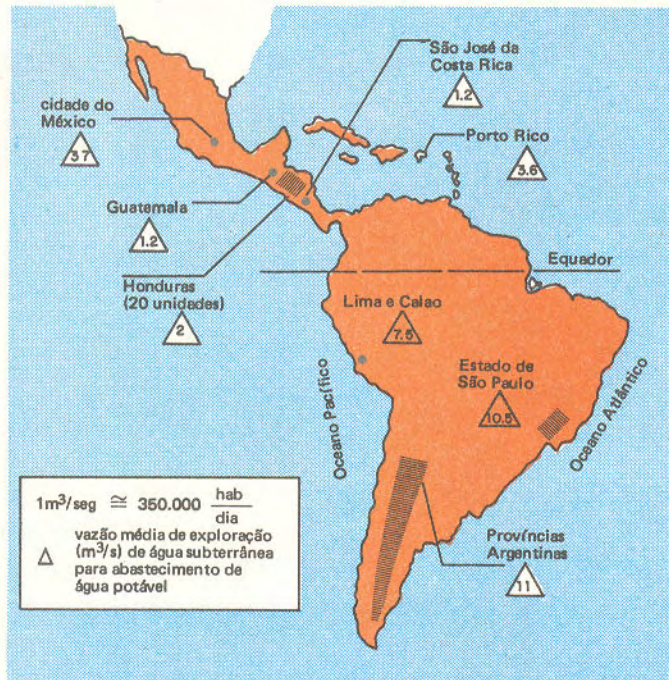
## A IMPORTÂNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas constituem cerca de 95% da água doce disponível em nosso planeta. Apenas 5% formam os rios, lagos e represas. Estes números dão às águas subterrâneas uma importância fundamental.

O aproveitamento das águas subterrâneas tem aumentado muito nos últimos 20 anos devido ao incremento da demanda e, também, em função da degradação da qualidade das águas superficiais, como consequência do crescimento populacional e do desenvolvimento industrial e agro-pecuário.

A figura a seguir mostra alguns dos numerosos exemplos de lugares onde a utilização das águas subterrâneas é importante para o abastecimento público na América Latina e Caribe.



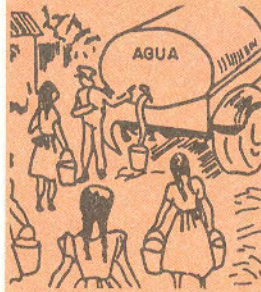


As principais vantagens da utilização das águas subterrâneas são:

- custo de construção de poços geralmente menor que o custo das obras de captação de água superficial, tais como represas, diques e estações de tratamento;
- na maioria das vezes, sua qualidade é adequada ao consumo humano, sem a necessidade de tratamento (salvo em casos de contaminação natural e / ou artificial);
- é uma alternativa de abastecimento muito conveniente no caso de pequenas e médias populações urbanas ou em comunidades rurais.

Por outro lado, as águas subterrâneas não são somente importantes do ponto de vista da quantidade, mas também no aspecto de qualidade. Sua deterioração pelo efeito de poluição pode acarretar consequências imprevisíveis e onerosas chegando, em alguns casos, a situações irreversíveis.

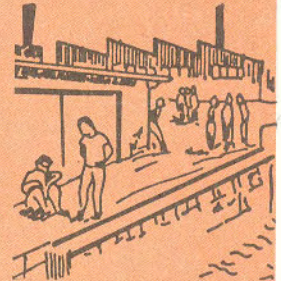
## CONSEQUÊNCIAS DA CONTAMINAÇÃO



na cidade



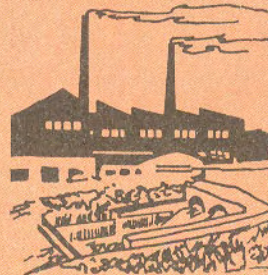
no campo



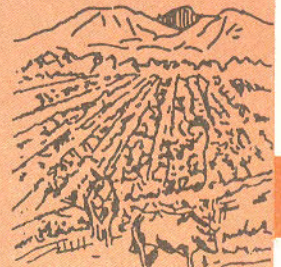
na industria



doméstico



industrial



agropecuário

Apesar de sua importância, as águas subterrâneas, estão abandonadas, "ao-Deus-dará".

Apesar de toda a importância das águas subterrâneas no contexto da América Latina e Caribe, existe muita pouca (e às vezes nenhuma) preocupação com sua preservação.

Atualmente existem cidades abastecidas, em parte ou totalmente por águas subterrâneas e que começam a experimentar basicamente dois tipos de problemas:

- superexploração de aquíferos: a perfuração de um número excessivo de poços ou poços muito próximos uns dos outros e que funcionam continuamente está provocando um abatimento dos níveis de água nos aquíferos. Isto acarretará um aumento dos custos de bombeamento, diminuição do rendimento dos poços,

possibilidade de recalque nos terrenos e, em casos extremos, exaustão dos aquíferos.

- contaminação das águas subterrâneas: é talvez o problema mais grave e nem por isso tem recebido a devida atenção.

## **DE QUE FORMA OCORRE A POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS?**

A poluição das águas subterrâneas ocorre quando os poluentes chegam ao solo, podendo este absorvê-los como se fosse uma esponja; porém, muitas vezes, estes poluentes chegam até a água subterrânea.

A poluição das águas subterrâneas pode-se dar por duas vias distintas: uma pelo transporte dos poluentes pelas águas de chuva, que rapidamente se infiltram até alcançar os níveis de água subterrânea; ou quando os poluentes já atingiram o aquífero, e se locomovem lateralmente.

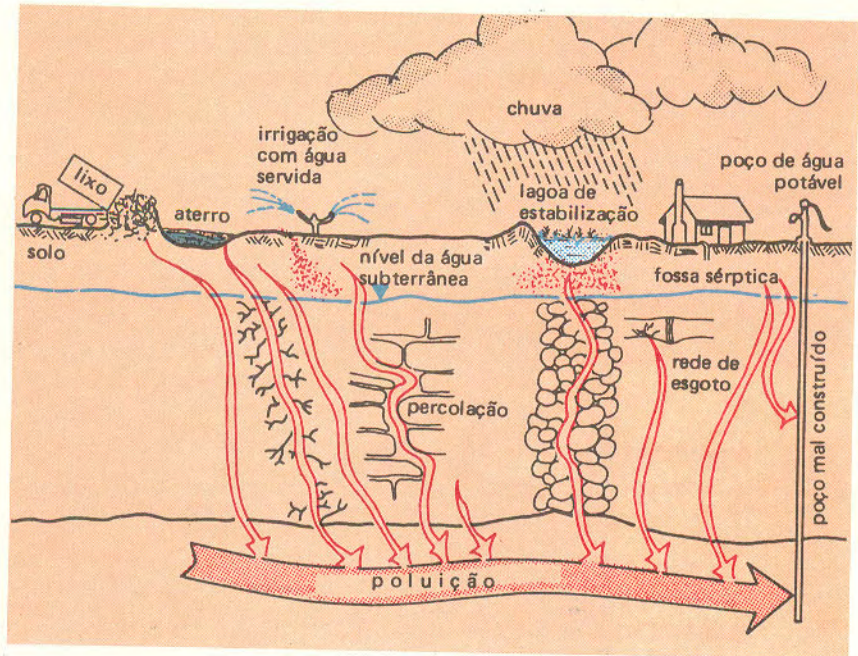
Como o que ocorre no subsolo não pode ser visto, não existe preocupação com o que está acontecendo.

“O que os olhos não vêem, o coração não sente”.

Os poluentes são produto da ação do homem devido principalmente às atividades domésticas, industriais, agrícolas e de extração mineral

## **POLUIÇÃO DE ORIGEM DOMÉSTICA**

Por se tratar de matéria orgânica, os resíduos domésticos ao contaminarem as águas, se transformam em nitratos, causadores de metahemoglobinemia (doença dos bebês azuis) e potencialmente cancerígenos. Os resíduos podem conter também outros sais e organismos transmissores das denominadas enfermidades de origem hídrica (diarréia, tifo e cólera, entre outras). Os aquíferos freáticos estão muito mais ameaçados em lugares onde não há rede de esgoto e estas águas são lançadas em fossas ou latrinas de diversos tipos.



Quando existe rede de esgoto, a preocupação é onde lançar os resíduos coletados e se há algum tipo de tratamento.

Os aquíferos também podem ser poluídos a partir de lagoas de estabilização, rios receptores de resíduos e irrigação com águas servidas. Do mesmo modo, os aterros sanitários e principalmente os "lixões", podem ser fontes de poluição de origem doméstica.

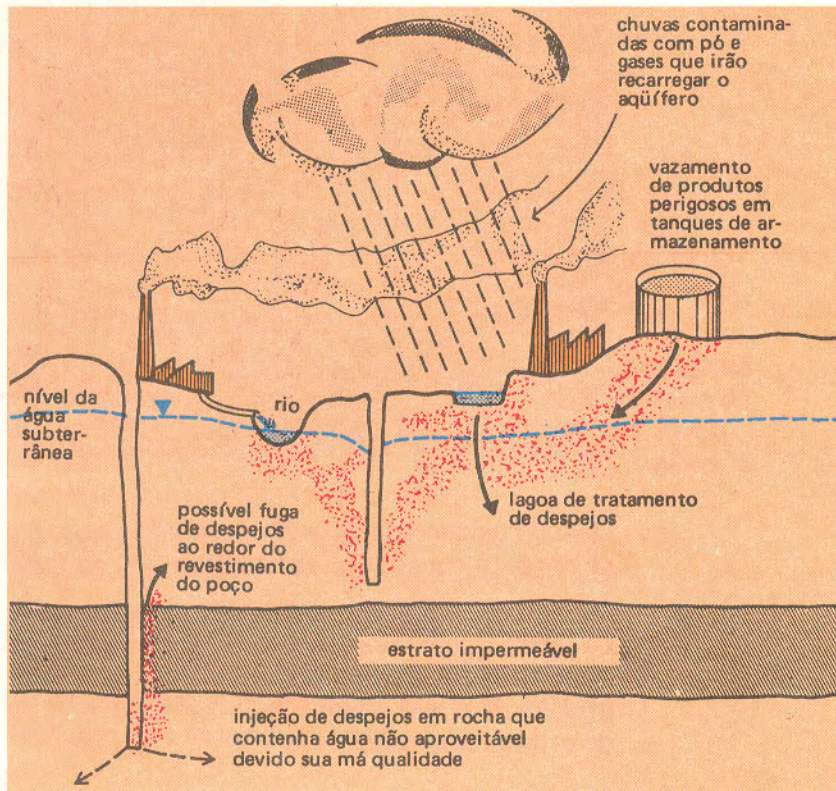
### ONDE A ÁGUA VAI, AS ENFERMIDADES SEGUEM SEUS PASSOS

### POLUIÇÃO DE ORIGEM INDUSTRIAL

Muitas indústrias podem contribuir para a poluição das águas subterrâneas com metais pesados e compostos químicos orgânicos, entre outros, que, mesmo em pequenas quantidades, podem ser altamente tóxicos, causadores de câncer e de mutações genéticas.

Neste caso, as lagoas, poços de infiltração ou rios são

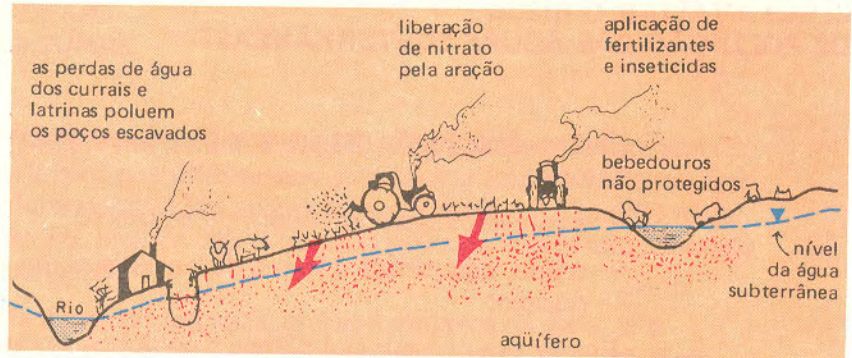
também o destino final preferido para os despejos industriais que muitas vezes são lançados sem nenhum tipo de tratamento prévio, o qual poderia diminuir seus efeitos nocivos.



## POLUIÇÃO DE ORIGEM AGRÍCOLA

As práticas agrícolas atuais apresentam-se como potencialmente poluidoras devido às formas mecanizadas de manejo do solo, à aplicação intensiva e prolongada, em extensas áreas, de fertilizantes inorgânicos, assim como ao uso de agrotóxicos. Soma-se a isto a irrigação excessiva do solo, que contribui com o arraste e infiltração de nutrientes (especialmente nitratos), sais e traços de compostos orgânicos.

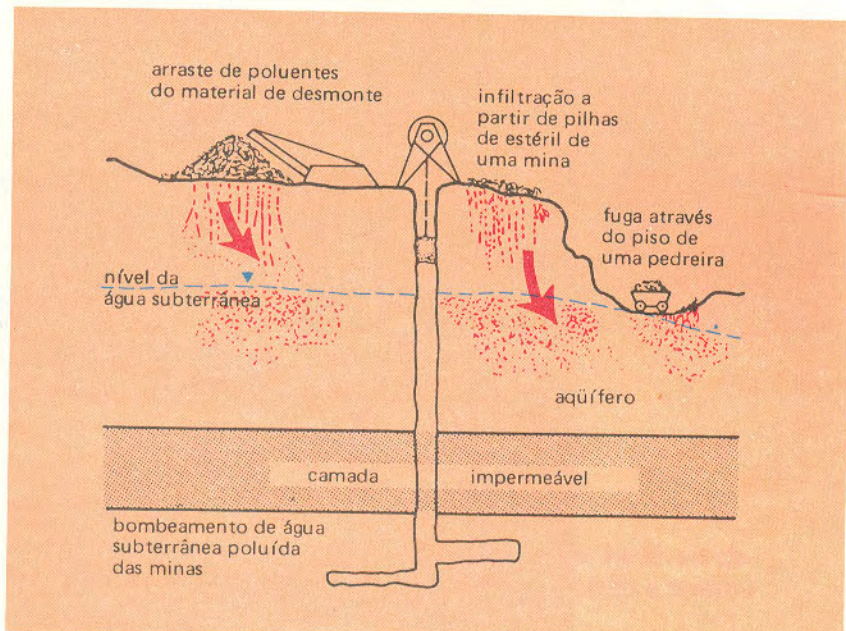




As atividades de extração mineral, exploração de petróleo e o destino final do lixo atômico são outros exemplos de fontes de poluição das águas subterrâneas.

Além destas fontes, os próprios poços podem constituir focos potenciais de contaminações, se no momento de sua construção, operação e/ou manutenção, não forem tomadas as devidas precauções. Isto é preocupante principalmente nas grandes cidades como, por exemplo, Lima, São Paulo ou cidade do México, onde o número de poços em operação varia entre 1.500 e 4.000.

18-19



## COMO AVALIAR O RISCO DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS?

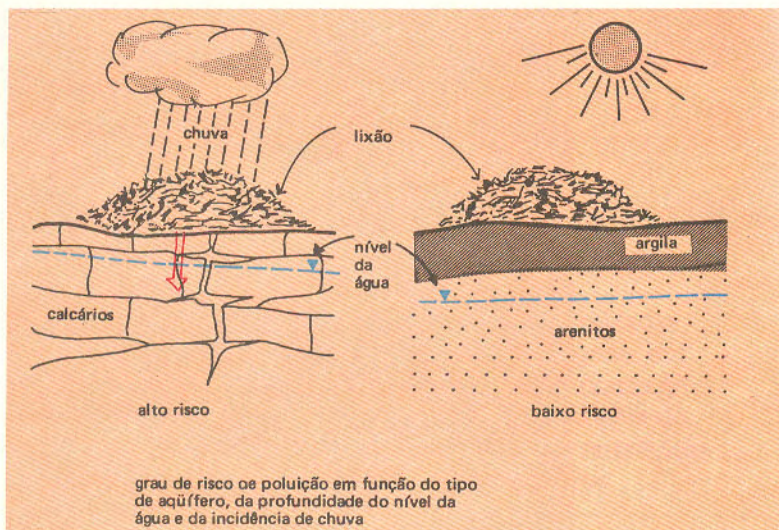
O risco de poluição das águas subterrâneas depende de dois fatores:

- a vulnerabilidade intrínseca do aquífero;
- o tipo, quantidade e forma de lançamento do poluente no solo.

Entende-se por vulnerabilidade o conjunto de características do aquífero que determinam o quanto ele poderá ser afetado pela ação de determinado poluente.

Desta forma, os aspectos que irão desempenhar um papel fundamental são: a espessura da zona não saturada (profundidade do nível da água), tipo de porosidade (primária ou secundária), tipo de rocha ou solo, velocidade das águas subterrâneas e o rendimento do aquífero.

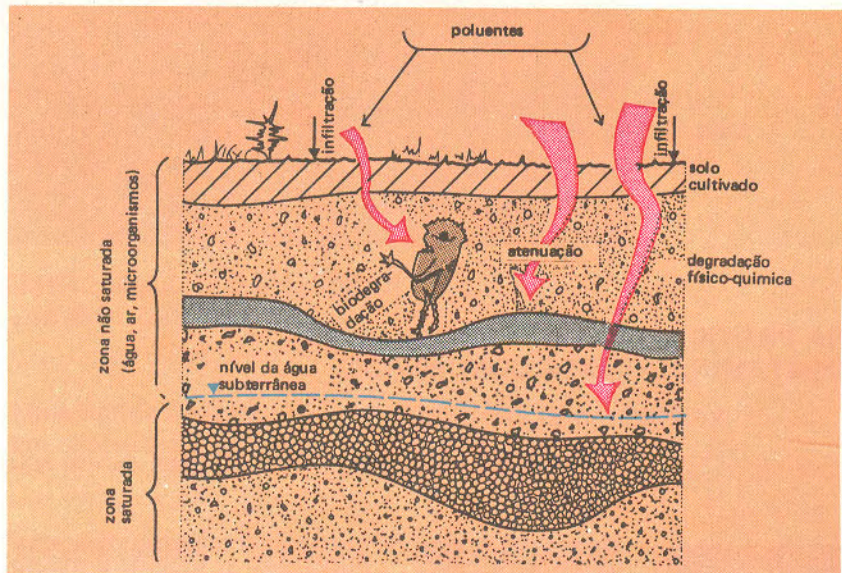
O tipo de poluente será mais perigoso quanto mais móvel e persistente for nos meios saturados e não saturados. Além disso, se a quantidade lançada de poluente for grande, poderá superar a capacidade atenuadora do solo. Em regiões muito chuvosas, mesmo uma pequena quantidade de poluentes pode chegar rapidamente ao aquífero por efeito de transporte das águas provenientes das chuvas.



## O SOLO: PARTE DE UM TRATAMENTO NATURAL

Para que um poluente chegue às águas subterrâneas, tem primeiro que infiltrar-se e atravessar o solo e a zona saturada. Muitas vezes é um processo muito lento e . . . quanto mais tempo, melhor. Neste período ocorrerá o processo chamado atenuação.

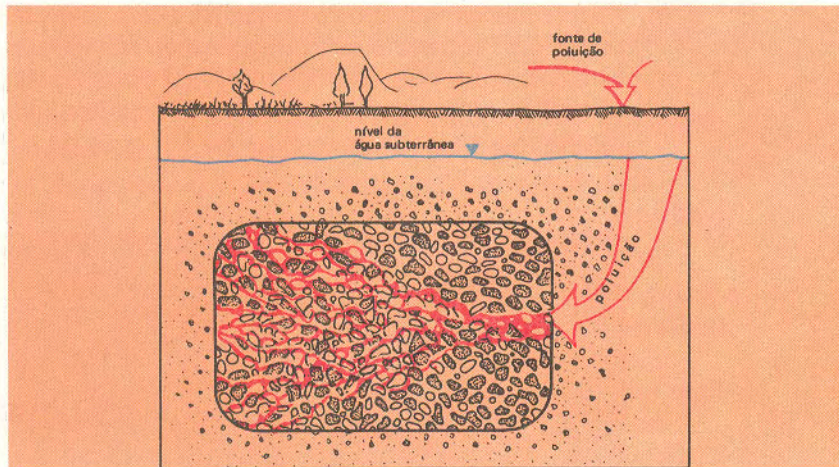
Na zona não saturada, graças à presença de água, ar e microorganismos, ocorrem reações que podem modificar poluentes, tornando-os inofensivos ou menos perigosos. Existem poluentes que ficam retidos nesta zona, já que o solo atua como um filtro natural. Além disso, os solos retardam a chegada dos poluentes até as águas subterrâneas.



## OS SOLOS NÃO FAZEM MILAGRES

Os solos apresentam características e espessuras variáveis de um lugar para outro e, portanto, nem sempre terão a mesma eficiência.

Desta forma, quando um determinado poluente não pode ser degradado pela zona não saturada (seja em virtude das características do solo e/ou do poluente, seja pela pequena espessura do solo), acaba chegando às águas subterrâneas. Aí também pode ocorrer uma atenuação do poluente, porém a zona saturada é menos eficiente que a zona não saturada. Na zona saturada, o poluente vai se espalhando aos poucos e, dependendo das condições de diluição, diminui sua concentração.



## NA PRÁTICA, UM AQUIFERO CONTAMINADO ESTÁ CONDENADO

Tudo se complica ante a possibilidade de um aquífero estar poluído.

Investigar o grau de poluição é oneroso, leva muito tempo e é difícil. Requer a construção de uma rede de poços de observação, a coleta sistemática de amostras de água e solos para análise, entre outras atividades.

Se investigar não é fácil, recuperar um aquífero poluído, nem pensar! As técnicas existentes até o momento têm um custo elevado e geralmente são trabalhosas ou pouco práticas. A recuperação deste aquífero poderia ocorrer de forma parcial ou total, mas só depois de um intenso tratamento ao longo de vários anos. Existem casos de

tamanho gravidade que seria melhor abandoná-los.

Não estamos falando hipoteticamente, mas de casos reais. Eis um deles:

No ano de 1982, ocorreu um derramamento acidental de produtos químicos altamente perigosos na costa norte de Porto Rico. O volume derramado foi de 57m<sup>3</sup>, poluindo o aquífero.

Este acidente gerou um gasto de 10 milhões de dólares, investidos em 3 anos de estudos, tentativas de limpeza e busca de outras fontes de abastecimento que pudessem substituir os poços abandonados. Estas medidas resultaram na diminuição da poluição; porém, ela ainda persiste.

Por outro lado, abandonar um aquífero e ir buscar água em outra parte, também pode ser um procedimento oneroso.

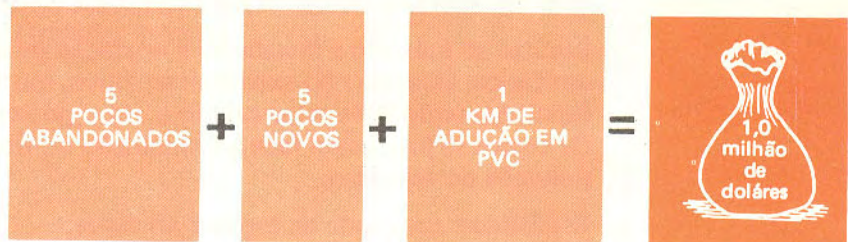
Podemos citar um exemplo:

Suponhamos que uma cidade com 50.000 habitantes é abastecida por 5 poços tubulares (30 l/s, 200 m de profundidade cada um, equipados com bombas); que o aquífero esteja poluído e que a alternativa mais viável para resolver o problema seja abandonar os poços e construir outros 5 do mesmo tipo, a 1 km de distância.

22-23

## AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS SÃO VALIOSAS, É TAREFA DE TODOS PROTEGÊ-LAS

Uma rápida avaliação de custos, para este caso, resultaria em despesas da ordem de:



É caro, não?

## **PROTEJA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Como vimos, a água subterrânea, como recurso natural renovável, pode degradar-se e converter-se em um recurso não utilizável devido à poluição.

Um primeiro passo para prevenir esta situação é que todos devemos tomar consciência da magnitude e gravidade do problema. Mas somente tomar consciência não é suficiente. Devemos agir e nos precaver.

Nas zonas urbanas, onde as águas subterrâneas são uma fonte importante de abastecimento - atual ou potencial - para a população, é necessário que se estabeleça um "zoneamento da vulnerabilidade à poluição", das águas subterrâneas, a partir das características naturais dos aquíferos. Desta forma, poderiam ser indicadas como zonas de alta vulnerabilidade, entre outras, as seguintes situações:

- aquíferos muito permeáveis (arenitos ou rochas com permeabilidade secundária desenvolvida) e com níveis de água pouco profundas;
- áreas de recarga de aquíferos confinados.

Algumas medidas necessárias seriam:

- Estrito controle e vigilância permanente, quando não for possível proibir a instalação de indústrias com grande volume de efluentes e/ou de efluentes perigosos à saúde;
- No caso em que já existam indústrias instaladas na área e com armazenamento de resíduos perigosos em seu pátio, realizar um inventário do tipo e volume dos efluentes e estabelecer requisitos severos para a planta de tratamento, com um acompanhamento contínuo de sua eficácia;
- Limitar ao máximo a instalação e operação de aterros sanitários. Quando não existir alternativas, seu funcionamento deve estar sujeito a um rígido controle. Os custos se justificam face a diminuição do risco de poluição do aquífero;
- Estabelecer uma rede de esgotos eficiente;
- Exercer fiscalização efetiva e constante.

Nas zonas rurais, do ponto de vista da agricultura, deve-se



implantar melhorias nas práticas agrícolas, a fim de controlar os tipos de fertilizantes e pesticidas aplicados e as quantidades máximas permitidas, bem como orientar sobre as formas e tipos de cultivos e os volumes de água a serem aplicados na irrigação.

Nas áreas mineradas, será necessário controlar o lançamento direto de rejeitos, principalmente aqueles provenientes da lavagem do minério, evitando que cheguem aos cursos d'água.

A população mesma, por meio de suas organizações, pode e deve indicar as possíveis fontes de poluição bem como os efeitos que estariam incidindo na saúde pública, exigindo assim das autoridades a atenção necessária e medidas concretas para solucionar os problemas.

Por outro lado, as autoridades devem fazer suas estas preocupações, assumindo as seguintes ações:

- À luz do uso da água subterrânea, analisar a legislação vigente com respeito à proteção dos aquíferos e adequá-la às necessidades do município, estado, região ou país;
- Exercer vigilância no cumprimento dos dispositivos legais referentes à proteção dos aquíferos; contar com organismos e recursos humanos e financeiros com os quais se possa enfrentar o problema;
- Estabelecer uma política e programas regionais de prevenção e controle da poluição e buscar soluções para os problemas já existentes. Além disso, será necessário desenvolver campanhas de divulgação e capacitação com o objetivo de evitar estes problemas em outras áreas.

**PRESERVAR AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
É CUIDAR DA SAÚDE DE TODOS**



## **TRADUÇÃO**

Gerônimo Albuquerque Rocha  
Ricardo César Hirata  
Rodrigo César de Araújo Cunha

## **PROJETO GRÁFICO**

Ana Elena Salvi  
Armando Fava Filho  
Maria de Fátima Vieira de Azevedo

## **COMPOSIÇÃO**

Rosângela Faria Valadão Castro

## **IMPRESSÃO**

**CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA**  
Tiragem: 10.000 exemplares  
Publicado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica  
Rua Riachuelo, 115, 4º andar  
01007 / São Paulo / SP  
Telex (011) 22211 DAEEBR

**SÃO PAULO / MAIO DE 1987**