

UNIPAC – Universidade Presidente Antônio Carlos
Instituto de Estudos Tecnológicos



CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Cláudia Kelmer Mendes Ribeiro

Denilson Dias Venturelli

Juiz de Fora - MG

Julho de 2003



UNIPAC – Universidade Presidente Antonio Carlos
Instituto de Estudos Tecnológicos

CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Cláudia Kelmer Mendes Ribeiro

Denilson Dias Venturelli

Monografia de conclusão de curso apresentado ao Curso de Tecnologia de Meio Ambiente do Instituto de Estudos Tecnológicos da Universidade Presidente Antônio Carlos como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Meio Ambiente.

Orientador: Prof. José Fernando Miranda.

Juiz de Fora - MG

Julho de 2003

UNIPAC – Universidade Presidente Antonio Carlos
Instituto de Estudos Tecnológicos

CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Cláudia Kelmer Mendes Ribeiro
Denilson Dias Venturelli

Monografia de conclusão de curso apresentado ao Curso de Tecnologia de Meio Ambiente do Instituto de Estudos Tecnológicos da Universidade Presidente Antônio Carlos como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Meio Ambiente.

Prof. José Fernando Miranda (Orientador)
Universidade Presidente Antônio Carlos

Juiz de Fora - MG

Julho de 2003

À Deus pela oportunidade dessa
vida!

Aos nossos cônjuges e filho(a)s,
pais, irmã(o)s e amigos pelo apoio
e incentivo.

AGRADECIMENTOS

À UNIPAC – Universidade Presidente Antônio Carlos, pela oportunidade de obter o título de Graduação em Tecnologia em Meio Ambiente.

Ao Prof. José Fernando, pelo apoio, dedicação e confiança em nós depositada.

Aos demais professores do Curso de Tecnologia em Meio Ambiente, pelos conhecimentos transmitidos, pela paciência e amizade.

Aos colegas de turma, pela força, pelas brincadeiras e, sobretudo para aqueles que souberam ser amigos e uma equipe.

À toda nossa família, que souberam entender nossa ausência, nosso mau-humor e nossos conflitos.

Água que nasce na fonte serena do mundo e
que abre um profundo grotão. Água que faz
inocente riacho e deságua na corrente do
ribeirão.

Águas escuras dos rios que levam a fertilidade
ao sertão. Águas que banham aldeias e matam
a sede da população. Águas que caem das
pedras no véu das cascatas, ronco de trovão. E
depois dormem tranqüilas no leito dos lagos,
no leito dos lagos.

Água dos igarapés, onde Iara, a mãe d'água é
misteriosa canção. Água que o sol evapora, pro
céu vai embora, virar nuvens de algodão.

Gotas de água da chuva, alegre arco-íris sobre
a plantação. Gotas de água da chuva, tão
tristes, são lágrimas na inundação.

Águas que movem moinhos são as mesmas
águas que encharcam o chão. E sempre voltam
humildes pro fundo da terra, pro fundo da terra.

Terra planeta água...

Terra planeta água!

Guilherme Arantes

SUMÁRIO

RESUMO	8
INTRODUÇÃO.....	9
CICLO HIDROLÓGICO.....	10
AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO PLANETA.....	11
AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL.....	13
Histórico.....	13
Ocorrências.....	13
Utilização das Águas Subterrâneas no Brasil.....	16
FORMAS PARA UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	19
MEIOS DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	20
Fontes pontuais de poluição.....	23
Fontes lineares de poluição.....	24
Fontes difusas de poluição.....	24
CONTAMINAÇÕES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	25
Contaminação Doméstica.....	25
Contaminação Agrícola.....	25
Contaminação por Atividades Mineradoras.....	26
Contaminação por Necro-Chorume.....	26
Contaminação por Gasolina e Derivados do Petróleo.....	27
Contaminação de Origem Industrial.....	28
Contaminação através de Lixões.....	28
CONSEQÜÊNCIAS DA CONTAMINAÇÃO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	29
A vulnerabilidade intrínseca do Aquífero.....	30
Os tipos de contaminantes.....	30
Grau de contaminação.....	30
CONCLUSÃO – Cláudia Kelmer Mendes Ribeiro.....	32
CONCLUSÃO – Denilson Dias Venturelli.....	34
BIBLIOGRAFIA.....	36

1. RESUMO

A água é um recurso fundamental para a vida no planeta, seja para consumo humano, navegação, irrigação, dessedentação de animais e outros. A sociedade está começando a reconhecer a importância desse recurso.

Com a diminuição das águas superficiais de qualidade, e as diversas formas de contaminação das mesmas, as águas subterrâneas se tornaram uma alternativa para o abastecimento terrestre.

Existem várias formas de captação das águas subterrâneas, os tipos de perfuração de poços dependem da localização, do tipo de solo e do recurso econômico disponível.

O motivo que nos leva a ver as águas subterrâneas como uma solução para escassez de água é a sua qualidade, sua extensão (m^3) e a sua dificuldade de contaminação, pois as camadas de solo contribuem para filtrar as águas de recarga.

Porém existe uma possibilidade de contaminação que não pode ser desconsiderada, visto que a descontaminação das águas subterrâneas, dependendo do tipo e da qualidade de contaminante, pode levar até milhões de anos. A dificuldade de penetração de contaminantes é favorável para a qualidade das águas subterrâneas, mas em caso de contaminação esta dificuldade torna-se um problema para as ações de correção (descontaminação).

Os órgãos públicos competentes têm criado Deliberações Normativas e Leis, visando o gerenciamento e monitoramento das águas, com o intuito de garantir a qualidade da água consumida e dos corpos receptores.

O reconhecimento da importância das águas subterrâneas para abastecimento ainda é incipiente, contudo no futuro esse recurso será a solução para o problema de escassez de água.

Palavras chaves: Captação, Contaminação, Incipiente, Qualidade, Água Subterrânea.

2. INTRODUÇÃO

A água tem se tornado um elemento de disputa entre nações. Um relatório do Banco Mundial, datado de 1995, alerta para o fato de que "as guerras do próximo século serão por causa de água, não por causa do petróleo ou política".

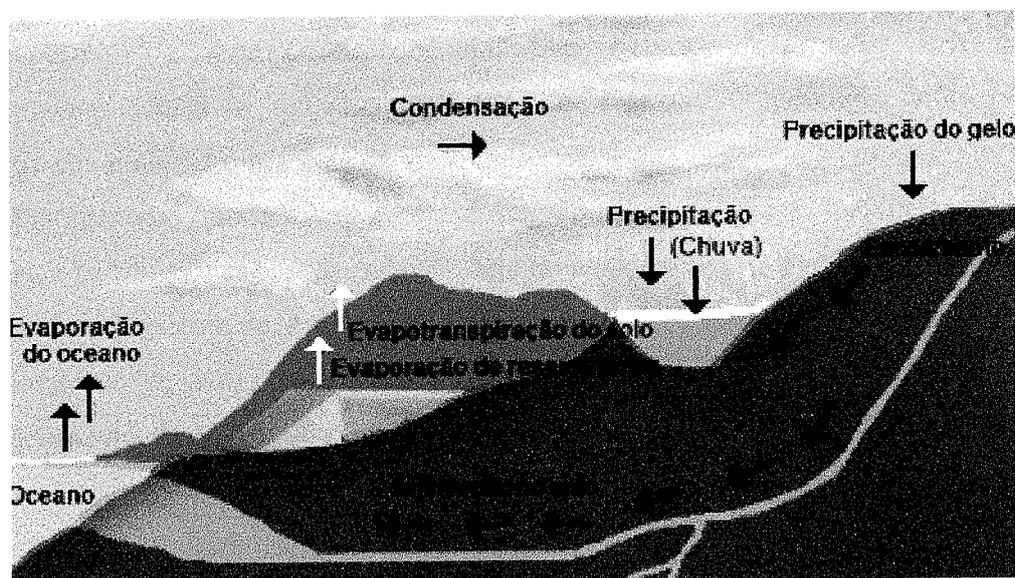
Hoje, cerca de 250 milhões de pessoas, distribuídos em 26 países, já enfrentam escassez crônica de água. Em 30 anos, o número de pessoas saltará para 3 bilhões em 52 países. Nesse período, a quantidade de água disponível por pessoa em países do Oriente Médio e do norte da África estará reduzida em 80%. A projeção que se faz é que, nesse período, 8 bilhões de pessoas habitarão a terra, em sua maioria concentradas nas grandes cidades. Daí, será necessário produzir mais comida e mais energia, aumentando o consumo doméstico e industrial de água. Essas perspectivas fazem crescer o risco de guerras, porque a questão das águas torna-se internacional.

Em 1967, um dos motivos da guerra entre Israel e seus vizinhos foi justamente a ameaça, por parte dos árabes, de desviar o fluxo do rio Jordão, cuja nascente fica nas montanhas no sul do Líbano. O rio Jordão e seus afluentes fornecem 60% da água necessária à Jordânia. A Síria também depende desse rio. A populosa China também sofre com o problema. O grande crescimento populacional e a demanda agroindustrial estão esgotando o suprimento de água. Das 500 cidades que existem no país, 300 sofrem com a escassez de água. Mais de 80 milhões de chineses andam mais de um quilômetro e meio por dia para conseguir água, e assim acontece com inúmeras nações.

Um levantamento da ONU aponta duas sugestões básicas para diminuir a escassez de água: aumentar a sua disponibilidade e utilizá-la mais eficazmente. Para aumentar a disponibilidade, uma das alternativas seria o aproveitamento das geleiras; a outra seria a dessalinização da água do mar. Esses processos são muito caros e tornam-se inviáveis para a maioria dos países que sofrem com a escassez. É possível, ainda, intensificar o uso dos estoques subterrâneos profundos, o que implica utilizar tecnologias de alto custo e o rebaixamento do lençol freático.

2. CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é a contínua circulação de água em nosso planeta. As águas dos oceanos, rios, lagos, a capa superficial dos solos e a transpiração das plantas evaporam-se por ação dos raios solares. O vapor formado vai constituir as nuvens que, em condições propícias, condensam-se, precipitando-se em 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 no solo e uma última parte volta a formar nuvens, regressando à atmosfera através da evaporação. É um ciclo sem fim. Assim como a esponja absorve a água, os solos fazem o mesmo durante a infiltração, constituindo o que chamamos de águas subterrâneas. As águas se armazenam em diferentes profundidades e são alimentadas por rios, lagoas, canais e águas provindas de degelo.



Fonte: <http://www.ambientebrasil.com.br/>

3. AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO PLANETA

As águas subterrâneas constituem uma porção do sistema circulatório de água da Terra. O seu aproveitamento data de tempos antigos e sua evolução tem acompanhado a própria evolução da humanidade.

O volume total de água na Terra é de $1,6.109\text{km}^3$, estando aí incluída a água de cristalização (230.106km^3) quimicamente associada às rochas. Resta um total de $1,37.109\text{km}^3$, suficiente para formar uma capa de 2.700m envolvendo todo o planeta. Esse quadro de aparente abundância de água toma aspecto completamente diferente se levarmos em conta que 97,2% do total correspondem à água salgada dos oceanos, impréstável para a maioria dos usos. Subtraindo-se a água em forma de gelo e o vapor de água na atmosfera, ficarão apenas 6%, ou $8,2.106\text{km}^3$, do total de água doce na fase líquida disponível para ser utilizada pelo homem.

As águas subterrâneas constituem importante fonte de abastecimento de água em todo o mundo, tendo-se verificado, nas últimas décadas, uma grande atividade no aproveitamento desses recursos e, como consequência, tem ocorrido expressivo incremento nos conhecimentos científicos, tecnológicos e legais na área da hidrogeologia, comparativamente maior que em qualquer outra área da hidrologia.

Praticamente todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades, seja no atendimento total ou apenas suplementar do abastecimento público e de atividades como irrigação, produção de energia, turismo, indústria etc. O início dessa utilização perde-se no tempo, e o seu crescimento tem acompanhado o desenvolvimento do homem na Terra. Consistia inicialmente no aproveitamento da água de nascentes e de lençóis freáticos rasos, estes captados através de escavações rudimentares, que com o tempo evoluíram para cacimbas revestidas de pedra e, posteriormente, também de tijolo. Com o advento da era industrial e a evolução dos equipamentos de perfuração, tornou-se possível a construção de poços de maior consistência técnica em tempo cada vez menor e com profundidades cada vez maiores. Estima-se em 300 milhões o número de poços perfurados no mundo nas três últimas décadas, 100 milhões dos quais nos Estados Unidos, onde são perfurados cerca de 400 mil poços por ano.

A UNESCO tem registrado um crescimento acelerado na utilização das águas subterrâneas e, conseqüentemente, de problemas decorrentes da má utilização dos aquíferos em várias partes do planeta, problemas estes com tendência de expansão, caso não sejam implantadas políticas consistentes de uso e conservação dos recursos. A relação em termos de

demanda entre os vários usos varia entre os países e, nestes, de região para região, constituindo, de modo geral, o abastecimento público a maior demanda individual. A Europa, por exemplo, tem 75% de sua população atendidos com água do subsolo, podendo esse percentual atingir 90% em alguns países (Suécia, Holanda, Bélgica etc.).

Imagina-se que existam no mundo 270 milhões de hectares irrigados com água subterrânea, 13 milhões destes nos Estados Unidos e 31 na Índia.

Nos Estados Unidos são disponibilizados, através de poços, cerca de 345 milhões de m^3 /dia de água para atender aos vários tipos de demanda, sendo que mais de 60% desse total destinam-se à irrigação. A partir da década de 50, tem-se atribuído aos reservatórios hídricos subterrâneos, em todo o mundo, um papel de destaque no equacionamento do problema de água em regiões áridas e semi-áridas, como o Nordeste do Brasil e a Austrália, e mesmo desérticas, como na Líbia, onde cidades e grandes projetos de irrigação têm a demanda de água atendida por poços tubulares perfurados em pleno deserto do Saara, a mais de 300km de distância. Os poços com profundidades em torno de 300m apresentam vazões superiores a $300m^3/h$, sendo a água transportada pela adutora conhecida como "Grande Rio Feito pelo Homem".

4. AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL

4.1. Histórico

A água subterrânea é utilizada desde o início da colonização, em decorrência da expansão dos colonos portugueses para o interior, principalmente na região de rochas cristalinas do Nordeste, com grandes áreas desprovidas de água em superfície. Inicialmente, aproveitava-se a água das coberturas inconsolidadas, principalmente das aluviões, suficientes para atender às necessidades de então. Com o crescimento da população e, principalmente, com o surgimento dos primeiros aglomerados humanos e com a expansão da pecuária, as principais fontes de abastecimento tornaram-se insuficientes para o atendimento das necessidades. Essa situação se fazia mais evidente na região Nordeste, tomando o aspecto de calamidade em períodos de seca. Maiores volumes de água tornaram-se necessários, e, entre 1845-1846, foram perfurados em Fortaleza (CE) os três primeiros poços tubulares do Brasil.

4.2. Ocorrências

No Brasil, as águas subterrâneas ocupam diferentes tipos de reservatórios, desde as zonas fraturadas do embasamento cristalino até os depósitos sedimentares cenozóicos. Dessa diversificação, resultaram sistemas aquíferos que, pelo seu comportamento, podem ser reunidos em:

- a) Sistemas porosos (rochas sedimentares);
- b) Sistemas fissurados (rochas cristalinas e cristalofílicas);
- c) Sistemas cársticos (rochas carbonáticas com fraturas e outras descontinuidades submetidas a processos de dissolução cárstica).

O sistema aquífero fissural ocupa uma área de cerca de 4.600.000km², correspondente a 53,8% do território nacional. Compreende as províncias hidrogeológicas dos escudos Setentrional (região Norte), Central (regiões Norte e Centro-Oeste), Oriental (regiões Nordeste e Sudoeste) e Meridional (região Sul). Esse sistema apresenta reservas de águas subterrâneas da ordem de 10,08.103km³ (Rebouças, 1988), que, devido à heterogeneidade do meio, encontram-se distribuídas irregularmente por sua área de ocorrência.

Hidrogeologicamente, as melhores possibilidades estão ligadas à presença de juntas e fraturas densas, associadas a coberturas inconsolidadas mais ou menos expressivas e clima úmido. Nesses casos, a zona aquífera principal pode, não raro, ser representada pelo sistema

superficial. Essa situação é predominante nos terrenos cristalinos das regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, onde as condições hidroclimáticas favoreceram o desenvolvimento de coberturas sedimentares inconsolidadas, às vezes muito espessas. Podem ocorrer vazões de várias dezenas de m^3/h , com média em torno de $12m^3/h$. As águas são de boa qualidade química, podendo ocorrer localmente teores de ferro acima do permitido.

No domínio do embasamento cristalino aflorante, como na região Nordeste, o reservatório é representado quase que exclusivamente pelas fraturas. As reservas são reduzidas e as vazões dos poços apresentam média inferior a $3m^3/h$. As águas são, normalmente, salinizadas, com resíduo seco médio acima de $2.500mg/l$.

Os sistemas cársticos mais importantes correspondem aos domínios do calcário do grupo Bambuí (provincia hidrogeológica do São Francisco, com mais de $350.000km^2$ nos estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais) e da formação Jandaíra (subprovincia Potiguar). Nos terrenos calcários do Bambuí, os carstes são, em geral, nus e desenvolvem-se nas fraturas situadas nas charneiras das dobras e nos contatos com as zonas margosas. Por outro lado, no aquífero Jandaíra, os carstes estão relacionados às variações faciológicas. As profundidades do desenvolvimento cárstico são muito variáveis, com média em torno de $150m$. Enquanto o Bambuí pode fornecer vazões superiores a $200m^3/h$, o Jandaíra, com pequeno desenvolvimento cárstico, apresenta vazões muito baixas (geralmente inferiores a $3,5m^3/h$).

Existem cerca de 20 bacias ou grupo de bacias sedimentares que ocupam uma área da ordem de $3.600.000km^2$, correspondente a 42% da superfície do país. A estruturação geológica, com alternância de camadas permeáveis e impermeáveis, assegura-lhes condição de artesianismo. Entre elas se destacam, pela extensão e potencialidade, as bacias do Paraná, Amazonas, Parnaíba e Potiguar-Recife.

A mais extensa, a bacia sedimentar do Paraná, cobre uma área da ordem de $1.600.000km^2$, sendo $1.000.000km^2$ no Brasil, apresentando uma espessura máxima de $7.825m$. O principal sistema aquífero é o Botucatu, também conhecido por sistema aquífero Guarani, que representa cerca de 80% das reservas da provincia do Paraná. Esta, por sua vez, detém cerca de 45% das reservas de água subterrânea do território nacional. As reservas exploráveis do sistema Botucatu são de $56.109m^3/ano$, tocando à região Sul cerca de $21,2.109m^3/ano$, tocando à região Sul cerca de $21,2.109m^3/ano$.

As maiores espessuras de sedimento são encontradas nas bacias de São Luís-Barreirinhas (MA) e do Tucano (BA). Essa última, pertencente à subprovincia hidrogeológica Recôncavo-Tucano-Jatobá, constitui um meio-gráben com profundidade que pode ultrapassar os $10.000m$ em sua margem oriental. Os principais aquíferos são Marechal, São Sebastião

(com espessura de mais de 3.000m) e Ilhas (2.500m). Esses aquíferos apresentam vazão específica média dos poços da ordem de 3m³/h/m. As águas até uma profundidade de 800m são normalmente de boa qualidade.

TABELA 1 – AS RESERVAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO BRASIL

Domínios Aqüíferos	Áreas (km²)	Sistemas Aqüíferos Principais	Volumes Estocados (km³)
Embasamento Aflorante	600.000	Zonas fraturadas	80
Embasamento Alterado	4.000.000	Manto de intemperismo e/ou fraturas	10.000
Bacia sedimentar Amazonas	1.300.000	Depósitos clásticos	32.500
Bacia sedimentar do Maranhão (Parnaíba)	700.000	Corda-Grajaú, Motuca, Poti-Piauí, Cabeças e Serra Grande	17.500
Bacia Sedimentar Potiguar-Recife	23.000	Grupo Barreiras, Jandaíra, Açu e Beberibe	230
Bacia Sedimentar Alagoas-Sergipe	10.000	Grupo Barreiras Muribeca	100
Bacia Sedimentar Jatobá-Tucano- Recôncavo	56.000	Marizal, São Sebastião, Tacaratu	840
Bacia Sedimentar Paraná	1.000.000	Bauru-Caiuá, Serra Geral, Botucatu, Piranboia-Rio do Rastro, Aquidauana	50.400
Depósitos Diversos	823.000	Aluviões, Dunas (Q)	411
Total	8.512.000		112.000

Fonte: <http://www.estado.dogurgueia.nom.br/pesquisa/aguassubterraneas.htm>

4.3. Utilização das Águas Subterrâneas no Brasil

No Brasil, da mesma forma que em outras partes do mundo, a utilização das águas subterrâneas tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas, e as indicações são de que essa tendência deverá continuar. A comprovar esse fato temos um crescimento contínuo do número de empresas privadas e órgãos públicos com atuação na pesquisa e captação dos recursos hídricos subterrâneos. Também é crescente o número de pessoas interessadas pelas águas subterrâneas, tanto nos aspectos técnico-científico e sócio-econômico como no administrativo e legal.

As águas subterrâneas, mais do que uma reserva de água, devem ser consideradas como um meio de acelerar o desenvolvimento econômico e social de regiões extremamente carentes, e do Brasil como um todo. Essa afirmação é apoiada na sua distribuição generalizada, na maior proteção às ações antrópicas e nos reduzidos recursos financeiros exigidos para sua exploração.

Conhecer a disponibilidade dos sistemas aquíferos e a qualidade de suas águas é primordial ao estabelecimento de política de gestão das águas subterrâneas.

No Brasil, os estudos das águas subterrâneas sempre estiveram mais vinculados à investigação geológica que à hidrológica. A hidrogeologia tem sido tratada mais como uma ciência da terra do que da água. Isso deve-se, provavelmente, a uma política de utilização das águas voltada quase que exclusivamente para os recursos de superfície e a uma organização gerencial que separa as águas superficiais das águas subterrâneas.

A exploração de água subterrânea está condicionada a três fatores:

- a) Quantidade - intimamente ligada à condutividade hidráulica e ao coeficiente de armazenamento dos terrenos;
- b) Qualidade - influenciada pela composição das rochas e condições climáticas e de renovação das águas;
- c) Econômico - que depende da profundidade do aquífero e das condições de bombeamento.

As reservas temporárias correspondem ao escoamento de base dos rios, ou seja, às reservas reguladoras dos sistemas aquíferos. A relação entre o volume do escoamento natural e as reservas permanentes constitui o coeficiente de realimentação, importante na definição das condições de exploração. As reservas exploráveis, ou reservas hídricas, correspondem ao volume de água que se pode extrair anualmente do aquífero sem provocar resultados indesejáveis. O seu valor é obtido somando às recargas anuais um percentual, normalmente de 20%, das reservas permanentes, a ser utilizado por um período de 50 anos.

A avaliação dos recursos de água subterrânea do Brasil, por falta de maior precisão dos estudos locais, ainda é muito aproximativa. O valor das infiltrações é determinado a partir da vazão do escoamento de base. Ela é rápida nas bacias que drenam o cristalino da região Nordeste (cerca de 33 horas) e demorada nos demais domínios (vários meses e mesmo interanuais). O escoamento de base das reservas hidrogeológicas tem sido estimado entre $5.103 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{km}^2$ e $250.103 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{km}^2$ e o coeficiente de renovação para o conjunto das bacias, em cerca de 10-3.

Nos terrenos sedimentares, os volumes acumulados até uma profundidade de 2.000m, considerando 1/3 produtivo, é da ordem de 102.1012m^3 . Esse volume, todavia, está distribuído irregularmente, sendo que mais de 81% encontram-se estocados apenas em duas bacias: do Paraná e do Amazonas.

Estima-se em mais de 200.000 o número de poços tubulares em atividade no Brasil, utilizados para diversos fins, como a irrigação, a pecuária, o abastecimento de indústrias, os condomínios, etc. O maior volume de água ainda é, todavia, destinado ao abastecimento público. O número de poços perfurados por ano é estimado em 12.000, o que pode ser considerado irrisório diante das necessidades de água potável das populações e se comparado com outros países. Os estados com maior número de poços são: São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul, Ceará e Piauí.

Ao reduzido número de poços tubulares, relativamente ao tamanho da população e à dimensão territorial do país, soma-se a sua distribuição irregular no espaço, com densidade por estado variando de 1 hab./51.050 km^2 (AC) a 1 hab./6 km^2 (SP), com valores intermediários de 1 hab./12,2 km^2 (CE), 1 hab./26,2 km^2 (PI), 1 hab./3.990 km^2 (AP) etc. Essas densidades são pouco representativas se considerarmos que a grande maioria dos poços se encontra nas sedes municipais, principalmente nas maiores. A utilização da água subterrânea no meio rural é, de um modo geral, pouco representativa.

Em algumas zonas, todavia, as águas subterrâneas já são intensamente aproveitadas e constituem o recurso mais importante de água doce. Mesmo em casos de elevado teor salino, como nas áreas de ocorrência dos sistemas aquíferos fissurados do semi-árido nordestino, constituem, não raro, a única fonte de suprimento de água permanente.

O crescente uso das águas subterrâneas deve-se ao melhoramento das técnicas de construção de poços e dos métodos de bombeamento, permitindo a extração de água em volumes e profundidades cada vez maiores e possibilitando o suprimento de água a cidades, indústrias, projetos de irrigação etc., que, pelo porte, eram impossíveis na prática. Relacionam-se como fatores desencadeadores do uso das águas subterrâneas a crescente

oferta de energia elétrica e a poluição das fontes hídricas de superfície, cujo uso está exigindo a disponibilização de recursos financeiros em quantidades cada vez maiores.

Embora não se disponha de um banco de dados de poços completo, sabe-se que no sistema das rochas basálticas da formação Serra Geral encontram-se em uso cerca de 9.000 poços tubulares. Admitindo-se para o sistema uma vazão média da ordem de $13\text{m}^3/\text{h}$, teremos um volume de água disponibilizado anualmente através dos poços da ordem de $1,08.109\text{m}^3$.

O volume de água disponibilizado pelos poços públicos é de $1,588.109\text{m}^3/\text{ano}$, correspondente a menos de 8% das reservas exploráveis do Botucatu.

5. FORMAS PARA UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os primeiros vestígios da utilização das águas subterrâneas são de 12.000 anos antes de Cristo. Acredita-se que os chineses foram os primeiros a dominar a técnica de perfurar poços, e na Bíblia existem relatos de escavações para obtenção de água potável.

As águas subterrâneas correspondem a 97% de toda a água doce encontrada no planeta (excetuando-se as geleiras e calotas polares). As reservas subterrâneas geralmente são formadas e realimentadas pelas águas de chuvas, neblinas, neves e geadas, que fluem lentamente pelos poros das rochas. Normalmente esses reservatórios possuem água de boa qualidade para o uso humano (água potável), devido ao processo de filtragem pelas rochas e por reações biológicas e químicas naturais. Por não ficarem na superfície, ficam mais protegidas de diversos agentes poluentes do que as águas de rios e lagos.

A formação desses aquíferos subterrâneos pode ocorrer de formas variadas: com centenas de metros de espessura, quilômetros de extensão, poucos ou centenas de metros de profundidade e até mesmo entre camadas de rochas pouco permeáveis - os aquíferos confinados.

A utilização das águas subterrâneas para abastecimento público é muito mais prática, rápida e barata que o uso de águas superficiais. Modernas tecnologias e equipamentos ajudam os técnicos a encontrar os reservatórios naturais com mais facilidade, e os poços podem retirar água de qualquer profundidade.

Para utilizar as águas subterrâneas, o homem dispõe-se dos afloramentos ou mananciais de onde a água brota espontaneamente ou através de poços. Destes os mais comuns são: **poços escavados** com aproximadamente 25 metros e os **poços tubulares ou artesianos** com profundidades que variam de dezenas a centenas de metros.

6. MEIOS DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Inúmeras atividades do homem introduzem no meio ambiente substâncias ou características físicas que ali não existiam antes, ou que existiam em quantidades diferentes. A este processo chamamos de poluição. Assim como as atividades desenvolvidas pela humanidade são muito variáveis, também o são as formas e níveis de poluição.

Estas mudanças de características do meio físico poderão refletir de formas diferentes sobre a biota local, podendo ser prejudicial a algumas espécies e não a outras. De qualquer forma, considerando as interdependências das várias espécies, estas modificações levam sempre a desequilíbrios ecológicos. Resta saber quão intenso é este desequilíbrio e se é possível ser assimilado sem conseqüências catastróficas. Recentemente, a grande imprensa noticiou que em países europeus o uso intensivo de defensivos agrícolas levou a uma diminuição dos microorganismos e insetos do solo a ponto de estar retardando a reciclagem das fezes animais. No geral os depósitos de água subterrânea são bem mais resistentes aos processos poluidores dos que os de água superficial, pois a camada de solo sobrejacente atua como filtro físico e químico. A facilidade de um poluente atingir a água subterrânea dependerá dos seguintes fatores:

a) Tipo de aquífero

Os aquíferos freáticos são mais vulneráveis do que os confinados ou semiconfinados. Aquíferos porosos são mais resistentes dos que os fissurais, e entre estes os mais vulneráveis são os cársticos.

b) Profundidade do nível estático: (espessura da zona de aeração)

Como esta zona atua como um reator físico-químico, sua espessura tem papel importante. Espessuras maiores permitirão maior tempo de filtragem, além do que aumentarão o tempo de exposição do poluente aos agentes oxidantes e adsorventes presentes na zona de aeração.

c) Permeabilidade da zona de aeração e do aquífero

A permeabilidade da zona de aeração é fundamental quando se pensa em poluição. Uma zona de aeração impermeável ou pouco permeável é uma barreira à penetração de poluentes no aquífero. Aquíferos extensos podem estar parcialmente recobertos por camadas impermeáveis em algumas áreas enquanto em outras acontece o inverso. Estas áreas de maior

permeabilidade atuam como zona de recarga e têm uma importância fundamental em seu gerenciamento.

Por outro lado, alta permeabilidade (transmissividade) permitem uma rápida difusão da poluição. O avanço da mancha poluidora poderá ser acelerado pela exploração do aquífero, na medida que aumenta a velocidade do fluxo subterrâneo em direção às áreas onde está havendo a retirada de água. No caso de aquíferos litorâneos, a superexploração poderá levar à ruptura do frágil equilíbrio existente entre água doce e água salgada, produzindo o que se convencionou chamar de intrusão de água salgada.

d) Teor de matéria orgânica existente sobre o solo

A matéria orgânica tem grande capacidade de adsorver uma gama variada de metais pesados e moléculas orgânicas. Estudos no Estado do Paraná, onde está muito difundida a técnica do plantio direto, têm mostrado que o aumento do teor de matéria orgânica no solo tem sido responsável por uma grande diminuição do impacto ambiental da agricultura. Têm diminuído a quantidade de nitrato e sedimentos carregados para os cursos d'água. Segundo técnicos estaduais isto tem modificado o próprio aspecto da água da represa de Itaipu.

e) Tipo dos óxidos e minerais de argila existentes no solo

Sabe-se que estes compostos, por suas cargas químicas superficiais, têm grande capacidade de reter uma série de elementos e compostos.

Na contaminação de um solo por nitrato, sabe-se que o manejo de fertilizantes, com adição de gesso ao solo, facilita a reciclagem do nitrogênio pelos vegetais e, conseqüentemente, a penetração do nitrato no solo é menor. Da mesma forma, a mobilidade dos íons nitratos é muito dependente do balanço de cargas. Solos com balanço positivo de cargas suportam mais nitrato. Neste particular, é de se notar que nos solos tropicais os minerais predominantes são óxidos de ferro e alumínio e caolinita, que possuem significante cargas positivas, o que permite interação do tipo íon-íon (interação forte) com uma gama variada de produto que devem sua atividade pesticida a grupos moleculares iônicos e polares.

Algumas áreas, essencialmente os grandes centros urbanos ou as áreas vizinhas, apresentam ocorrências de poluição de águas subterrâneas que geram riscos potenciais para a saúde pública. A poluição mais comum das águas subterrâneas associa-se ao saneamento de áreas que não dispõem de redes de esgoto, à disposição final de efluentes líquidos industriais e às práticas atuais de cultivo agrícola.

O caso dos depósitos de lixo e a contaminação das águas subterrâneas também chamam atenção. A água da chuva dissolve os resíduos acumulados nesses depósitos e em seguida os carrega para o subsolo, poluindo os poços que servem ao abastecimento urbano. Por isso, os locais de escavação de poços e as áreas que os circundam devem ser muito bem escolhidos e precisam ficar protegidos de rejeitos e substâncias tóxicas. Naturalmente, algumas condições são mais favoráveis:

No caso de áreas onde ocorrem rochas ígneas, metamórficas ou mesmo rochas sedimentares impermeáveis, o risco de poluição é menor, em função das características físicas das rochas, que também não armazenam água subterrânea. Estes locais são os mais apropriados para a disposição de resíduos poluentes, tais como lixões e aterros sanitários. Fatores como "tipo de aquífero, espessura e constituição litológica do material de recobrimento, capacidade de infiltração do solo (relacionado ao teor de argila), e profundidade do nível d'água, são fatores importantes para o planejamento urbanístico de qualquer cidade". Por isso, é importante contar com uma assessoria técnica para a instalação de qualquer poço, mesmo os domésticos.

A maciça utilização de fertilizantes químicos e pesticidas na agricultura moderna é outra causa de poluição dos mananciais subterrâneos. Dejetos, substâncias químicas componentes das rações, sangue e pedaços de vísceras oriundas dos matadouros e detergentes utilizados na lavagem das pocilgas, estábulos e aviários, são lançados nos efluentes sem qualquer tratamento, gerando sérios riscos para graves contaminações através da infiltração desses produtos no solo.



Um poluente após atingir o solo, poderá passar por uma série de reações químicas, bioquímicas, fotoquímicas e inter-relações físicas com os constituintes do solo antes de atingir a água subterrânea. Estas reações poderão neutralizar, modificar ou retardar a ação poluente. Em muitas situações a biotransformação e a decomposição ambiental dos compostos

fitossanitários pode conduzir à formação de produtos com uma ação tóxica aguda mais intensa ou, então, possuidores de efeitos injuriosos não caracterizados nas moléculas precursoras.

Exemplos: Dimetoato, um organofosforado, degrada-se em dimetoxon, cerca de 75 a 100 vezes mais tóxico. O malation produz, por decomposição, o 0,0,0-trimetilfosforotioato, que apresenta uma ação direta extremamente injuriosa no sistema nervoso central e nos pulmões, provocando hipotermia e queda no ritmo respiratório.

Os processos que agem sobre os poluentes que atingem o solo podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- Adsorção-desorção
- Ácido-base
- Solução-precipitação
- Oxidação-redução
- Associação iônica (complexação)
- Síntese celular microbiana
- Decaimento radioativo

A poluição capaz de atingir as águas subterrâneas pode ter origem variada. Considerando que os aquíferos são corpos tridimensionais, em geral extensos e profundos, diferentemente portanto dos cursos d'água, a forma da fonte poluidora tem importância fundamental nos estudos de impacto ambiental.

6.1. Fontes pontuais de poluição

São as que atingem o aquífero através de um ponto.

Exemplos: sumidouros de esgotos domésticos, comuns em comunidades rurais, aterros sanitários, vazamentos de depósitos de produtos químicos, vazamentos de dutos transportadores de esgotos domésticos ou produtos químicos. Estas fontes são responsáveis por poluições altamente concentradas na forma de plumas.

6.2. Fontes lineares de poluição

São as provocadas pela infiltração de águas superficiais de rios e canais contaminados. A possibilidade desta poluição ocorrer dependerá do sentido de fluxo hidráulico existente entre o curso d'água e o aquífero subjacente. É necessário enfatizar que, ao longo de um mesmo curso, há lugares onde o fluxo se dá do aquífero para o talvegue e outros onde se passa o inverso, isto é, as águas do rio se infiltram em direção ao aquífero. A existência de poços profundos em funcionamento nas proximidades do curso d'água poderá forçar a infiltração de água contaminada no aquífero invertendo o seu fluxo ou aumentando sua velocidade.

6.3. Fontes difusas de poluição

São as que contaminam áreas extensas. Normalmente são devidas a poluentes transportados por correntes aéreas, chuva e pela atividade agrícola. Em aglomerados urbanos, onde não haja rede de esgotamento sanitário. As fossas sépticas e sumidouros estão de tal forma regularmente espaçadas que o conjunto acaba por ser uma fonte difusa de poluição. A poluição proveniente das fontes difusas se caracterizam por ser de baixa concentração e atingir grande áreas.

7. CONTAMINAÇÕES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

7.1. Contaminação Doméstica

Os resíduos domésticos são materiais orgânicos que podem contaminar as águas. Os resíduos se transformam em nitratos, substâncias potencialmente cancerígenas, que podem também conter organismos transmissores de enfermidades de origem hídrica (diarreia, tifo, cólera, entre outras).

Os aquíferos freáticos estão muito ameaçados em lugares onde não há tratamento e as águas servidas são evacuadas em fossas ou latrinas de diversos tipos.

Quando houver tratamento, a preocupação será onde evacuar os resíduos coletados, se há algum tipo de tratamento, etc. Os aquíferos também podem contaminar-se através de lagoas de estabilização, rios receptores de resíduos e irrigação com águas já servidas. Assim mesmo, os terrenos sanitários e principalmente os depósitos de lixo podem ser fonte de contaminação de origem doméstica.

7.2. Contaminação Agrícola

As práticas agrícolas atuais são potencialmente contaminantes, devido às formas mecanizadas de manejo do solo, à aplicação intensiva e prolongada de fertilizantes inorgânicos, em grandes áreas, assim como a utilização de praguicidas. Ainda há a irrigação excessiva dos solos, um agravante que contribui para o arraste e infiltração de nutrientes (especialmente nitratos), sais derivados de compostos orgânicos.

Os agrotóxicos são a maior ameaça às águas subterrâneas. A deposição de resíduos urbanos e industriais sem tecnologia adequada, bem como a aplicação descontrolada de insumos químicos na agricultura, constituem fontes de contaminação das águas subterrâneas em geral. O Aquífero Guarani pode ser atingido por fontes poluidoras, principalmente por agrotóxicos, dos quais o atrazine é um dos mais prováveis. Esta contaminação poderá penetrar no aquífero pelas áreas onde ele aflora e que estão nas bordas da Bacia Sedimentar do Paraná e que coincide com o importante cinturão verde de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, entre outros. A água tem uma relação vital com a saúde. Existem padrões muito bem conhecidos entre incidência de moléstia no homem, com abundância ou deficiência de elementos maiores, menores e traços no meio ambiente, particularmente nas águas. O relacionamento entre o teor dos elementos e substâncias químicas e a saúde do homem pode

ser dificultado por questões relativas à mobilidade e à dispersão destes elementos e substâncias, governadas pelos princípios da geoquímica das águas subterrâneas e superficiais.

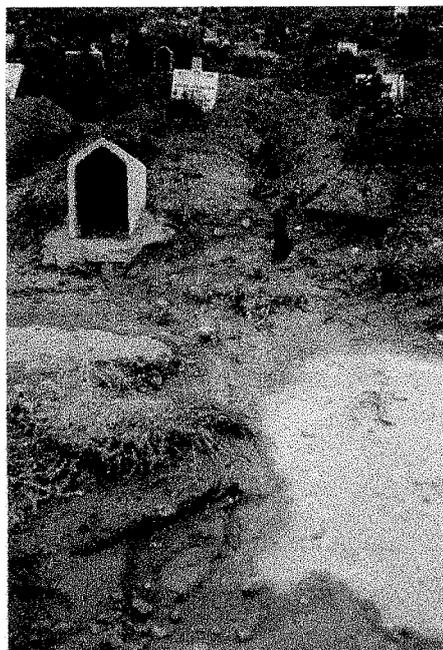
Uma boa parte das águas do aquífero Guarani é mineral. Águas minerais são aquelas que, por sua composição química, são consideradas benéficas à saúde. No entanto, toda água natural, por mais pura que seja, tem um certo conteúdo de sais. As subterrâneas, por sua vez, são especialmente enriquecidas em sais retirados das rochas e sedimentos por onde percolam muito vagarosamente.

7.3. Contaminação por Atividades Mineradoras

As atividades de extração mineral, exploração petrolífera e o destino final de dejetos nucleares são outros exemplos da contaminação das águas subterrâneas.

Além dessas fontes de contaminação, os poços perfurados em si, podem se constituir focos potenciais de contaminação se, no momento de sua perfuração, operação ou manuseio, não são tomadas as devidas precauções. Esse fato é muito preocupante, especialmente nas grandes cidades.

7.4. Contaminação por Necro-Chorume



A figura mostra o necro-chorume em um cemitério em São Paulo, Brasil.

Fonte: www.igc.usp.br/subsites/cemiterios/cemit.html

Os cemitérios podem ser fonte geradora de impactos ambientais. A localização e operação inadequadas de necrópoles em meios urbanos podem provocar a contaminação de mananciais hídricos por microrganismos que proliferam no processo de decomposição dos corpos. Se o aquífero freático for contaminado na área interna do cemitério, esta contaminação poderá fluir para regiões próximas, aumentando o risco de saúde nas pessoas que venham a utilizar desta água captada através de poços rasos.

Estudos de investigação no Cemitério Vila Nova Cachoeirinha e Cemitério Vila Formosa, São Paulo, Brasil, mostraram que o aquífero livre encontra-se contaminado por microrganismos. Em alguns locais, o nível freático encontra-se próximo da superfície (~ 0,50 m) fazendo com que alguns corpos fiquem imersos nas águas subterrâneas, propiciando a saponificação dos mesmos. Um projeto de apoio à pesquisa está sendo desenvolvido no Cemitério Vila Nova Cachoeirinha para verificar a extensão da contaminação. Sondagens elétricas, caminhamentos eletromagnéticos, furos de sondagem, coletas de amostras de solo e água para análises química, física e bacteriológica estão sendo realizados. Testes foram executados para obter a condutividade hidráulica em torno de furos e para estimar o fluxo das águas subterrâneas. Em laboratório, foram montadas colunas de solo coletado da área de estudo.

Traçadores químico e biológico foram injetados na coluna e o seu fluxo monitorado na saída da mesma.

7.5. Contaminação por Gasolina e Derivados do Petróleo

A contaminação de águas subterrâneas por vazamentos em postos de combustíveis vem merecendo atenção cada vez maior da população em geral como dos órgãos estaduais de controle ambiental. As indústrias do petróleo lidam diariamente com problemas decorrentes a vazamentos, derrames e acidentes durante a exploração, refinamento, transporte, e operações de armazenamento do petróleo e seus derivados.

Em um derramamento de gasolina uma das principais preocupações é a contaminação de aquíferos que sejam usados como fonte de abastecimento de água para o consumo humano. Por ser pouco solúvel em água, a gasolina derramada, contendo mais de uma centena de componentes, inicialmente estará presente no subsolo como líquido na fase não aquosa (NAPL). Em contato com a água subterrânea a gasolina se dissolverá principalmente. Os hidrocarboretos monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e os três xilenos chamados de compostos de BTEX, são os constituintes da gasolina que têm a maior solubidade em água

e, portanto, são os contaminantes que primeiro irão atingir o lençol freático (CORSEUIL, 1992). Estes contaminantes são considerados substâncias perigosas, por serem depressantes do sistema nervoso central e por causarem leucemia em exposições crônicas. Dentro os BTEX, o benzeno é considerado o mais.

7.6. Contaminação de Origem Industrial

Muitas indústrias podem contribuir para a contaminação das águas subterrâneas. Seus metais pesados e compostos químicos orgânicos, entre outros, apesar de em pequenas quantidades, podem ser altamente tóxicos, geradores de câncer e de mutações genéticas.

As lagoas, os poços e rios são também o destino final para os dejetos industriais que, muitas vezes, são despejados sem nenhum tratamento prévio, que poderia diminuir seus efeitos nocivos.

7.7. Contaminação através de Lixões

Atualmente, o homem tem gerado uma diversidade muito grande de embalagens e produtos, proporcionando, assim, uma grande quantidade de resíduos de difícil decomposição. Esta produção está diretamente relacionada à cultura, renda, atividades desenvolvidas e o hábito da população. Quanto ao descarte dos resíduos, a forma mais utilizada no Brasil ainda é uma destinação inadequada, segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública, 76% correspondem à deposição de rejeitos a céu aberto, ou chamados lixões, 13% em aterros controlados, 10% em aterros sanitários e 1% são destinados à incineração, compostagem e reciclagem.

A matéria orgânica presente no lixão sofre decomposição e gera o chorume, um líquido que concentra poluentes orgânicos e inorgânicos e que a partir da superfície pode migrar de duas maneiras: escoando superficialmente podendo atingir rios e lagos e infiltrando-se no solo e atingindo os aquíferos livres, poluindo e contaminando as águas subterrâneas. A composição do chorume está relacionada à quantidade de água disponível, ao tipo de resíduo depositado, aos processos físico-químicos reinantes e à atividade biológica que ocorre dentro dos materiais de rejeitos. Assim, a geração de chorume e gases são consequências inevitáveis da prática de descarte de resíduos sólidos. Mas, diferentemente do aterro sanitário, no lixão o chorume e os gases não sofrem nenhum tipo de tratamento, provocando vários problemas para o solo, e para as águas superficiais e subterrâneas.

As águas subterrâneas sofrem um impacto não visível envolvendo geralmente longos períodos de tempo, pois os contaminantes podem migrar a velocidades muito lentas, dependendo da composição litológica do aquífero. O chorume gerado em lixões localizados em terrenos relativamente permeáveis, como areia, cascalho ou rochas fraturadas, podem migrar e causar contaminação sobre áreas muitas vezes maiores que as áreas originalmente ocupadas pelos resíduos. Os processos físicos e químicos, que ocorrem durante a interação com o ambiente hidrogeológico, muitas vezes não são suficientes para causar uma atenuação sensível em muitas das substâncias contaminantes contidas dentro da pluma de poluição.

Várias pesquisas têm sido realizadas em aterros sanitários e lixões, enfatizando o estudo do chorume, solos, águas superficiais e subterrâneas. Na tentativa de caracterizar a pluma de poluição, diversos métodos têm sido utilizados sozinhos ou combinados. São eles: métodos geofísicos; modelagem matemática; análise química de solos, águas e chorume; monitoramento; estudos de traçadores; caracterização das condições redox; entre outros.

Em um país como o Brasil, que apresenta um percentual elevado de lixões, fazem necessários estudos dos níveis de contaminação e poluição ambiental e de sua conseqüente ação sobre a saúde da população de entorno.

8. CONSEQÜÊNCIAS DA CONTAMINAÇÃO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

É talvez o problema mais grave e ao qual tão pouco se presta a devida atenção. Os contaminantes são produtos da ação do homem em suas atividades domésticas, industriais, agrícolas e de extração mineral entre outros. A contaminação das águas subterrâneas ocorre quando os agentes contaminantes chegam ao solo. Isto pode ocorrer por duas vias distintas: através da água de chuva, que logo se infiltra pela parte inferior até alcançar os níveis de água ou por um movimento lateral dos agentes contaminantes, uma vez que tenham chegado à água subterrânea e como nada se pode ver do que sucede debaixo do terreno, então não existe preocupação por parte das autoridades competentes. O risco de contaminação das águas subterrâneas depende de dois fatores:

8.1. A Vulnerabilidade Intrínseca do Aquífero

Vulnerabilidade é o conjunto de características do aquífero, que determinam o quanto ele poderá ser afetado pela ação de um contaminante. Dessa forma, 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, o rendimento do aquífero, etc vão desempenhar um papel fundamental.

8.2. Os Tipos de Contaminantes

O tipo do contaminante será mais perigoso quanto mais móvel e/ou persistente sejam os meios não saturados e saturados. A partir daí, se a quantidade de contaminante descarregada for grande pode-se superar a capacidade atenuada do solo. Em regiões muito chuvosas, até mesmo pequenas quantidades de contaminantes podem alcançar rapidamente os aquíferos, através do transporte pelas águas provenientes da chuva e infiltração pelo solo.

8.3. Grau de Contaminação

Investigar o grau de contaminação é custoso, toma tempo e é difícil: requer a construção de uma rede de poços de observação, o recolhimento sistemático de amostras de água e solo para análises, entre outros.

Se investigar não é fácil, recuperar um aquífero contaminado é difícilíssimo. As técnicas

existentes até o momento têm o custo elevado e geralmente são pouco práticas. Sua recuperação poderia ocorrer após muitos anos de um amplo tratamento.

Existem casos de extrema gravidade que melhor seria abandoná-los. Não estamos falando de casos hipotéticos e sim de realidades.

Um caso prático: Em 1982, ocorreu o derramamento acidental de produtos químicos altamente perigosos na costa norte de Porto Rico. O volume derramado foi de 57m³ de produto, que contaminaram o aquífero.

A situação gerou um gasto de US\$ 10 milhões, investidos em três anos de estudos, tentativas de limpeza e buscas de outras fontes de abastecimento de recursos, que pudessem recuperar os poços abandonados. As medidas têm reduzido a contaminação. Porém ela ainda não acabou.

9. CONCLUSÃO – Cláudia Kelmer Mendes Ribeiro

Como se vê, a água subterrânea, como recurso natural renovável, pode degradar-se e converter-se em inutilizável devido a sua contaminação. O primeiro passo para prevenir essa situação é tomar consciência da magnitude e gravidade do problema. Mas isso não é o suficiente! É preciso tomar precauções e promover algumas ações.

Nas zonas urbanas, onde as águas subterrâneas são uma fonte importante de abastecimento - atuante ou potencial - para a população, é necessário que se estabeleçam áreas de " zoneamento da vulnerabilidade da contaminação ", a partir das características naturais dos aquíferos. Paralelo a isto, deveríamos desenvolver algumas modalidades que são de extrema necessidade:

Controle estrito e vigilância permanente, proibindo a instalação de indústrias portadoras de grandes volumes de efluentes perigosos para a saúde;

No caso de já existirem indústrias na área e com armazenamento de resíduos perigosos nos seus pátios, realizar um inventário do tipo e do volume do efluente e estabelecer requisitos estritos para as plantas de tratamento, com uma avaliação contínua de sua eficácia;

Limitar o máximo possível a instalação e operação de terrenos sanitários. Quando não houver alternativa, seu funcionamento deve estar sob medidas de controle estrito. Suas despesas se justificam ao diminuir o risco de contaminação do aquífero;

Fiscalização efetiva e constante.

Nas zonas rurais, desde o ponto de vista da agricultura, deve-se implantar regras nas práticas agrícolas a fim de controlar os tipos de fertilizantes e pesticidas, assim como orientar sobre as formas e tipos de cultivo e as adequados volumes de água aplicados na irrigação. Também é necessário controlar o despejo direto de resíduos minerais como os provenientes de lagoas de estabilização até os cursos de águas superficiais, principalmente.

A própria população, organizadamente, pode e deve apontar as possíveis fontes de contaminação e os efeitos que afetam a saúde pública, exigindo das autoridades interesse e, por outro lado, as autoridades deveriam promover as seguintes ações:

- Analisar a legislação vigente com respeito à proteção dos aquíferos e adequá-la às necessidades da região;

- Acompanhar o cumprimento dos dispositivos legais referentes à proteção dos aquíferos contando com organismos e recursos humanos e financeiros para resolver a situação;

- Estabelecer políticas e programas regionais de prevenção e controle da contaminação e para a busca de soluções dos problemas existentes. Assim mesmo, será necessário delinear campanhas de divulgação e capacitação, com o objetivo de prevenir problemas em outras áreas.

Desta forma estaríamos protegendo este tesouro vital para todas as espécies do nosso Planeta.

10. CONCLUSÃO – Denilson Dias Venturelli

Como vimos, a água é um excelente solvente e pode conter inúmeras substâncias dissolvidas. Durante seu percurso a água vai interagindo com o solo e formações geológicas, dissolvendo e incorporando substâncias. Apesar do solo e da zona não saturada apresentarem excelentes mecanismos tendo a capacidade de reter inúmeras partículas e bactérias patogênicas, existem substâncias e gases dissolvidos que dificilmente deixarão a água subterrânea podendo ser responsáveis pela sua poluição. Nas áreas urbanas e domésticas se fazem necessários o recebimento e o tratamento através das ETE, para depois lançá-los nos rios. Também é necessário um controle rígido de toda a tubulação que capta esses efluentes domésticos para que o mesmo não venha poluir o lençol freático.

Não podemos esquecer dos cemitérios que dependendo de sua localização nos meios urbanos ou o sepultamento de cadáveres inadequado podem provocar a contaminação de mananciais hídricos por microorganismos que proliferam no processo de decomposição dos corpos dando origem a um líquido chamado necrochorume.

Se o aquífero freático for contaminado na área interna do cemitério, esta contaminação poderá fluir para regiões próximas, aumentando o risco nas pessoas que venham a utilizar desta água captada através de poços rasos.

Nas áreas agrícolas os contaminantes mais significativos são os fertilizantes, pesticidas e indiretamente as práticas de regadio. Para isto deve-se ter o controle na reutilização da água subterrânea para o regadio, pois certo tempo provoca um aumento progressivo da concentração de sais, tornando-a imprópria para este fim. Técnicos e especialistas na área são necessários para determinar a quantidade de produtos agrícolas a ser utilizado em uma determinada área. Os recipientes que vierem os produtos químicos, os responsáveis deverão ter o máximo controle, para posterior devolução às lojas que venderam os produtos.

A poluição industrial é outro fator de contaminação das águas subterrânea através da eliminação de resíduos e de derrames durante o seu armazenamento e transporte. Para evitar este tipo de acidente as empresas tem que manter equipes treinadas e um controle cerrado para que não venha ter conseqüências graves.

Caso ocorra, deverá informar imediatamente aos órgãos ambientais para providências cabíveis. Também é necessário que as empresas fazem o tratamento das águas utilizada antes de lançarem nos rios ou para reaproveitá-la para os fins a que se destinam. A conservação e a proteção das águas subterrâneas implicam em seu uso racional, na aplicação de medidas de controle da poluição e da manutenção de seu equilíbrio físico, químico e biológico. Deve-se

tomar cuidado com os projetos de implantação ou ampliação de empreendimentos de alto risco ambiental, tais como pólos petroquímicos, carboquímicos, cloroquímicos e radiológicos ou quaisquer outras fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas, com alta periculosidade e risco para a saúde do público em geral, devendo conter uma caracterização detalhada da hidrogeologia local, incluindo uma avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos potencialmente afetados, como propostas para as medidas de proteção e controle. A implantação ou a ampliação de empreendimentos consumidores de elevados volumes de águas subterrâneas, classificados ambientalmente como empreendimentos de grande porte e potencial poluidor, submetidas aos órgãos responsáveis, deverão ser precedidas de estudo hidrogeológico para a avaliação das disponibilidades hídricas e do não-comprometimento do aquífero a ser explorado. Uma vez que a água é decisiva para a sobrevivência, sua escassez representa uma ameaça à vida e um prejuízo aos rendimentos econômicos.

Para que o desenvolvimento ocorra dentro de um modelo correto e sustentável são necessárias à compreensão e a consciência dos usuários da água em respeitar essa interdependência através de um gerenciamento integrado.

As atividades em uma bacia devem levar em consideração seus impactos em outras partes da mesma, pois, qualquer ação realizada repercute na bacia hidrográfica como um todo. O uso irresponsável dos recursos hídricos influi nos ecossistemas naturais e na saúde das pessoas.

Hoje mais do que nunca, tornou-se fundamental largarmos velhos hábitos e formas viciadas de produção, pois não há mais como ignorar o limite de resistência de nossos ecossistemas, já gravemente comprometidos pelas atividades humanas. Com as águas superficiais poluídas, os usuários voltam suas atenções para o subsolo, onde se encontra nossa maior reserva de água para o abastecimento no futuro, a água subterrânea. Ao poluir fontes subterrâneas, estamos inutilizando nossa maior, mais barata e acessível reserva de água doce para consumo e o seu tratamento é difícil e de alto custo.

11. BIBLIOGRAFIA

CEARÁ/SRH. 1992. **Plano estadual dos recursos hídricos do estado do Ceará. Diagnóstico e estudos de base II.** Fortaleza; p. 871-1.114.

COPASA/Hidrosistema. 1990. **Deflúvios superficiais no estado de Minas Gerais.**

COSTA, W.D. & COSTA, W.D. 1997. **Disponibilidades hídricas subterrâneas na região Nordeste do Brasil.** In: . CPRM, ano V, no 9. Belo Horizonte.

CRUZ, W.B. da. et al. 1992. **Disponibilidades hídricas subterrâneas no estado de Minas Gerais.** In: VII CONGR. BRAS. DE GUAS SUBTERRÂNEAS. Belo Horizonte.

LEAL, A.S.; AÇHÃO, S.M.; LIMA, J.E.S. 1980. **Mapa hidrogeológica do Estado de Minas Gerais,** Escala 1:1.000.000. 1o ENCONTRO DE PERFURADORES DE POÇOS. ABAS. Belo Horizonte.

LEAL, A. S. et al. 1992. **Projeto Mapas Hidrogeológicos – Folha Rio Pardo de Minas, MG.** CPRM. Brasília.

LIMA, J.E.S. 1992. **Projeto Mapas Hidrogeológicos.** Folha Monte Azul, MG. CPRM. Brasília.

MENTE, A. 1996. **Avaliação de disponibilidades hidrogeológicas do Brasil.** Relatório final de consultoria. SRH/IICA – Fortalecimento Institucional. Brasília.

MEIOS de contaminação de águas subterrâneas. São Paulo. Disponível em:
<<http://www.agua-subterranea.vilabol.uol.com.br/contam.htm>>. Acesso em: 02 fev.2005.

POLUIÇÃO de águas subterrâneas. São Paulo. Disponível em:
<<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/poluicao.htm>>. Acesso em: 02 fev.2005.

ÁGUAS subterrâneas. Piauí. Disponível em:

<<http://www.estado.dogurgueia.nom.br/pesquisa/aguasubterraneas.htm>>.

Acesso em: 02 fev.2005.

CICLO Hidrológico. São Paulo. Disponível em:

<<http://www.tratamentodeesgoto.com.br/informativos/acervo.php?chave=treze&icp=est>>.

Acesso em: 02 fev.2005.

CONTAMINAÇÃO por necro-chorume. São Paulo. Disponível em:

<<http://www.igc.usp.br/subsites/cemiterios/cemit.html>>. Acesso em: 02 fev.2005

CONTAMINAÇÃO de origem industrial. São Paulo. Disponível em:

<<http://www.tratamentodeagua.com.br/abasce/prevencao/contaminacaoorigemindustrial.htm>>

Acesso em: 02 fev.2005.

CONTAMINAÇÃO através de lixões. São Paulo. Disponível em:

<<http://www.tratamentodeagua.com.br/abas/lixoes/lixoes/index.asp>>. Acesso em: 02 fev.2005