

CENÁRIOS DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA POR ATIVIDADES AGRÍCOLAS

Maria Lúcia Ribeiro*
Carolina Lourencetti**
Denilson Teixeira***

Introdução

O uso da água subterrânea vem crescendo a cada ano tanto para abastecimento público e privado como para o uso na irrigação e na indústria (TUNDISI, 2003). O relativo baixo custo e, na maioria dos casos, a crescente qualidade natural das águas subterrâneas têm sido suficientes para justificar essa crescente exploração (REBOUÇAS, 1988 apud HIRATA, 1993).

Embora o uso seja extenso e crescente, a preocupação a respeito da poluição das águas subterrâneas é relativamente recente no nosso país, uma vez que o usuário do recurso subterrâneo, particular ou governamental, até pelo menos a década de 90, desconhecia e ignorava a sua importância e as graves conseqüências de sua contaminação (HIRATA, 1993).

Custodio e Llamas (1996) apontam que ao contrário da contaminação das águas superficiais, mais facilmente identificáveis, a contaminação das águas subterrâneas não é visível e sua exploração é muito distribuída, dificultando assim a identificação e a caracterização dos problemas de contaminação. Os mesmos autores ressaltam ainda que a ação protetora ou de interrupção da atividade contaminante é aplicada somente quando a contaminação se torna perceptível, o que geralmente ocorre quando já atingiu uma larga extensão.

Como a recarga das águas no subsolo ocorre, na maioria dos casos, pela infiltração da água de chuva em excesso no solo, atividades realizadas no mesmo

podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. A poluição de aquíferos (reservatórios de água subterrânea) ocorre onde o descarte da carga contaminante gerada pela atividade antrópica (urbana, industrial, agrícola, mineradora) é inadequadamente controlada e certos componentes excedem a capacidade de atenuação das camadas do solo e dos aquíferos (FOSTER et al., 2002). Esta capacidade de atenuação corresponde aos processos de depuração (retenção e/ou eliminação) dos contaminantes, tais como: filtração mecânica, adsorção e absorção pelo solo, reações químicas, processos bioquímicos, entre outros.

A quase irreversibilidade da degradação química de aquíferos, somada aos elevados custos de tratamento de águas poluídas, à dificuldade operativa e à demora no estabelecimento de diagnósticos precisos da contaminação das águas subterrâneas faz com que o estabelecimento de programas de proteção do recurso hídrico subterrâneo, frente a problemas de contaminação, seja uma obrigação dos órgãos gestores desse recurso, com participação dos usuários estatais e particulares (HIRATA, 1993).

Esse trabalho apresenta uma revisão dos principais cenários referentes à contaminação e proteção das águas subterrâneas, discutindo particularmente os potenciais contaminantes gerados pelas atividades agrícolas.

Estratégias de proteção de aquíferos

Uma análise dos programas de proteção das águas subterrâneas em vários países tem mostrado duas linhas básicas de conduta: estabelecimento de perímetro de proteção ao redor de poços de captação, definidos a partir do tempo de trânsito específico; e uma segunda, mais abrangente, voltada ao aquífero, onde são estabelecidas restrições ao uso do solo frente à vulnerabilidade do aquífero e à importância do recurso como fonte de abastecimento. Todos os aquíferos são vulneráveis a poluentes persistentes derivados de uma atividade contaminante de longo prazo (FOSTER; VENTURA; HIRATA, 1993).

A Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) distingue os termos sensibilidade e vulnerabilidade de um aquífero. Sensibilidade de um aquífero é independente do uso da terra e das características do contaminante, enquanto vulnerabilidade, além de considerar as propriedades do aquífero, inclui o gerenciamento do uso do solo e as características dos contaminantes (WORRALL; KOLPIN, 2004).

A vulnerabilidade do aquífero é uma função primária da:

- acessibilidade hidráulica de contaminantes à sua zona saturada (espaços vazios do sub-solo ocupados por água) e
- capacidade de atenuação (filtração, diluição, sorção, degradação, precipitação, entre outros) dos estratos sotopostos à zona saturada;

A essas características da vulnerabilidade do aquífero, interagem outras,

*Doutora em Química, Docente do Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Centro Universitário de Araraquara – Uniara.

**Doutoranda em Química, Auxiliar de Pesquisa do Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Centro Universitário de Araraquara – Uniara.

***Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental, Docente do Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Centro Universitário de Araraquara – Uniara.

associadas à carga contaminante, que seriam:

- o modo de disposição dos contaminantes no solo, particularmente a magnitude da sua carga hidráulica e
- o tipo de contaminante, em termos da persistência e mobilidade.

A interação desses fatores determinará o tempo de residência do contaminante em subsuperfície e a demora na chegada à zona saturada, além da intensidade de carga, resultado dos processos de retenção e eliminação.

Os componentes da vulnerabilidade do aquífero não são diretamente mensuráveis e, sim, determinados por meio da combinação de outros fatores. A redução e simplificação da lista de parâmetros são quase inevitáveis, caso se pretenda desenvolver um esquema prático de avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas. Em último caso seria possível reduzi-la aos seguintes fatores:

- tipo de ocorrência das águas subterrâneas ou condição do aquífero;
- características dos estratos que capeiam a zona não saturada (espaços vazios do sub-solo ocupados por água e ar), nos aspectos litológicos e de condutividade hidráulica;
- profundidade do nível d'água;
- direção do fluxo das águas subterrâneas.

A partir desses fatores, é possível definir mapas de vulnerabilidade. Essas cartas, consideradas apenas como um índice de vulnerabilidade, seriam muito úteis no planejamento de uso do solo e nos programas de proteção das águas subterrâneas, uma vez que permitiriam distinguir áreas com diferentes nuances de fragilidade. Entretanto, estes mapas de vulnerabilidade não podem substituir de forma alguma estudos detalhados, necessários para a instalação de empreendimentos específicos (HIRATA, 1993).

Tanto a estratégia voltada aos perímetros de proteção dos poços, como a que considera a vulnerabilidade de aquíferos, apresentam restrições. Em vista das dificuldades encontradas, a atitude mais realista e prática na conservação da qualidade das águas subterrâneas é buscar a combinação das duas opções, por meio das seguintes diretrizes:

- exceder a proteção geral do aquífero, sobretudo na área de recarga, com medida de controle das atividades que o afetem e
- estabelecer áreas de proteção especial em torno das baterias de poço de abastecimento público de água, ou aqueles de importância estratégica.

É importante ressaltar que juntamente com a combinação das duas estratégias, apresentadas anteriormente, a identificação da atividade que possivelmente pode causar impacto à qualidade da água subterrânea e o entendimento do mecanismo de recarga da água subterrânea devem ser identificados e entendidos. O entendimento do mecanismo de recarga da água subterrânea é crítico para avaliar a transferência de poluentes para a coluna d'água. Se a água e os solutos (contaminantes) movem-se rapidamente pelas

fraturas do solo e aquíferos, os processos de diluição, atenuação e degradação serão minimizados e o contaminante pode ser encontrado em concentrações relativamente altas logo após sua aplicação na superfície do solo. Entretanto, se o transporte do contaminante é lento, os processos de dispersão, diluição e potencial de degradação poderão ocorrer e influenciarão na concentração final desses contaminantes na água subterrânea.

Impactos potenciais na qualidade das águas subterrâneas

Várias causas potenciais para a deteriorização da qualidade da água dos aquíferos e/ou suprimento de água são apontadas por Foster et al. (2002), sendo classificadas por gênero, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação de cenários relacionados com a qualidade da água subterrânea (FOSTER et al., 2002).

Tipo de problema	Causa	Contaminantes de interesse
Poluição de Aquíferos	Inadequada proteção de aquíferos vulneráveis contra descartes feitos pelo homem a partir de atividades domésticas e industriais e a intensificação da atividade agrícola.	Microorganismos patogênicos, nitrato ou amônio, cloreto, sulfato, boro, arsênio, metais ambientalmente impactantes, carbono orgânico dissolvido, hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, pesticidas.
Contaminação perto de poços	Inadequada construção de poços permitindo intrusão direta de água superficial ou água subterrânea poluída pouco profunda.	Principalmente microorganismos patogênicos.
Intrusão salina	Exploração intensa provocando influência de água subterrânea salina (algumas vezes poluída) no fluxo de aquíferos limpos.	Principalmente cloreto de sódio, mas pode também ser incluídos contaminantes persistentes gerados pelo homem.
Ocorrência de contaminação natural	Transformação da composição química da água subterrânea.	Principalmente fluoreto e ferro solúvel, algumas vezes sulfato de magnésio, arsênio, manganês, selênio e outras espécies inorgânicas.

A literatura vem mostrando que de todos os cenários apresentados na Tabela 1, os mais preocupantes são derivados das atividades antrópicas, correspondentes à poluição de aquíferos e à contaminação nas proximidades dos poços.

Em relação à poluição de aquíferos, HIRATA (1993) destaca os seguintes fatores como sendo os principais na degradação da qualidade das águas subterrâneas:

- aumento nas práticas de disposição dos efluentes domésticos e industriais sobre os solos em larga escala, como resultado dos elevados custos de tratamento ou eliminação dos resíduos líquidos;

- aumento e diversificação de produtos químicos, potencialmente contaminantes das águas subterrâneas, gerados por efluentes industriais e agrícolas;

- uso maciço de fertilizantes e pesticidas na agricultura;

- dificuldades técnicas e econômicas de recuperação de aquíferos contaminados;

- toxicologia pouco conhecida de contaminantes potencialmente nocivos à saúde;

- dificuldade e impraticabilidade de localização/identificação de poços abandonados que podem servir como entrada de contaminantes.

Quanto aos problemas referentes à contaminação de poços, os órgãos públicos, reguladores dessas atividades, vêm adotando procedimentos mais sistemáticos para numa primeira etapa caracterizar e identificar os poços efetivamente cadastrados e num segundo momento proceder a fiscalização na sua implantação e manutenção.

Esse conjunto de considerações indica que a qualidade da água é principalmente afetada pelo descarte de efluentes líquidos ou sólidos, com diferentes tipos de contaminantes, no ambiente geológico devido ao uso e reuso da água que podem ser agrupados em três diferentes cenários de contaminação: doméstico, industrial e agrícola.

A busca de soluções para essa três fontes potenciais de contaminação de aquíferos, embora com causas bastante diversificadas, perpassa necessariamente pela investigação de impactos químicos, ou seja, compostos inorgânicos e orgânicos.

Elhatip et al. (2003) discutem que a degradação da água subterrânea depende da carga poluidora e do comportamento dos contaminantes, assim como dos fatores geológicos e hidrogeoquímicos que controlam o fluxo e a dispersão dessas substâncias. Entretanto, o entendimento do comportamento de contaminantes de interesse (Tabela 1) gerados pela poluição difusa (baixa concentração em extensas áreas) é de difícil compreensão e avaliação, como é o caso da contaminação originada pela atividade agrícola.

Atividades agrícolas e poluição das águas subterrâneas

Em muitas áreas do planeta, a carga do componente químico majoritário nos aquíferos não confinados (aquífero sem camada impermeabilizante na sua superfície) tem sido dominada, nas últimas décadas, pelos constituintes derivados, direta ou indiretamente, das práticas agrícolas e de aditivos utilizados pela mesma. Assim, atividades agrícolas vêm sendo relacionadas com o forte efeito

na velocidade e composição da recarga (abastecimento dos aquíferos) das águas subterrâneas. A carga de contaminantes provenientes da agricultura tem afetado a qualidade da água potável, gerando problemas sociais e efeitos ecológicos sobre a fauna e flora localizadas no entorno de corpos d'água superficiais que recebem descarga da água subterrânea (BÖHLKE, 2002).

Elhatip et al (2003) apontam que as atividades humana e agrícola têm apresentado efeitos diretos e indiretos na velocidade de contaminação da água subterrânea de uma região da Turquia. Os efeitos diretos incluem dissolução e transporte de quantidade excessiva de fertilizante e alterações hidrológicas relacionadas à irrigação e drenagem. Já os efeitos indiretos podem incluir mudanças na reação água-rocha nos solos e nos aquíferos causados pelo aumento da concentração de espécies oxidantes dissolvidas.

A contaminação originada pela atividade agrícola é uma das mais difíceis de ser avaliada, particularmente quando se discute a contaminação química (íons inorgânicos, pesticidas, fertilizantes, entre outros). Os processos de dispersão (escoamento superficial, lixiviação, retenção, degradação, entre outros), que ocorrem após a aplicação de insumos em extensas áreas, especialmente em regiões de monocultura, e o comportamento em subsuperfície desses compostos, são ainda pouco conhecidos.

O impacto da intensiva prática agrícola sobre a água subterrânea foi primeiramente relatada nos anos 1970 quando concentrações de nitrato foram encontradas excedendo o limite permitido pela União Européia (HARIA; HODNETT; JOHNSON, 2003)

A relação entre a contaminação da água subterrânea por nitrato e fonte de nitrogênio da superfície do solo é de difícil entendimento, embora correlações entre o uso do solo agrícola e altas concentrações de nitrato na água subterrânea vêm sendo documentadas há cerca de 30 anos. Uma variedade de fontes importantes de nitrogênio na agricultura pode ser convertida a nitrato e incorporado na recarga da água subterrânea. Em adição aos fertilizantes nitrogenados e esterco orgânicos, a liberação pela matéria orgânica do solo, pré-existente ou resíduo de culturas (mineralização do nitrogênio), é uma das principais fontes de nitrogênio identificadas. É importante considerar que o nitrogênio pode ser lixiviado (movimento na solução do solo) e atingir a água subterrânea (BÖHLKE, 2002).

Além dessas fontes, Panno e Kelly (2004) citam os animais domésticos, sistemas sépticos, fixação do nitrogênio e deposição atmosférica como outros potenciais contribuintes de nitrogênio para águas superficiais e subterrâneas, confirmando os cenários discutidos na Tabela 1. Apontam também, que a lixiviação e o escoamento superficial em áreas agrícolas podem resultar em cargas de nutrientes (nitrogênio e fósforo (P)) e de pesticidas para aquíferos pouco profundos.

A presença do íon nitrato (NO_3^-), em aquíferos rasos, vem sendo relatada pela literatura (BÖHLKE, 2002) e os valores de concentração comumente encontrados excedem padrões de qualidade para água potável estabelecido pelos Estados Unidos (nível máximo de contaminante de 10mg/mL com concentração de nitrogênio (N) igual a 714 $\mu\text{mol/L}$) (USEPA, 1986) e pela Europa (concentração máxima admissível de 50mg/L com concentração de nitrato igual a 806 $\mu\text{mol/L}$) (EC, 1980).

No Brasil, Varnier e Hirata (2002) investigaram e caracterizaram a contaminação da água subterrânea causada por uma fossa séptica numa área de 2.500m² no Parque Ecológico do Tietê (São Paulo-SP). Os resultados das análises físico-químicas das amostras de água coletadas nos poços de monitoramento instalados indicaram contaminação por nitrato proveniente do sistema de fossa séptica, sendo os valores acima do limite permitido pela legislação (45mg/L de NO_3^-).

Além das investigações de impacto químico produzida por íons inorgânicos (íon NO_3^-) a determinação de compostos orgânicos em água subterrânea, oriundos da atividade agrícola, está ainda centrada, ainda no estudo de pesticidas. A preocupação do impacto por pesticidas em aquíferos ganhou interesse a partir de 1979 inspirado por determinações de nematicidas em matriz de água subterrânea, realizadas em vários estados norte-americanos (MATTOS; SILVA, 1999).

Os pesticidas podem sofrer uma série de processos degradativos ou serem transportados para outros compartimentos ambientais, provocando a contaminação das águas superficiais e subterrâneas (BARBOSA, 2004). É importante ressaltar que, em alguns casos, menos de 0,1% da quantidade de pesticidas aplicados alcançam a peste alvo, enquanto o restante (99,9%) tem potencial para se mover para outros compartimentos ambientais (YOUNOS, 1988 apud SABIK; JEANNOT; RONDEAU, 2000).

Filizola et al. (2002) e Brigante et al. (2003) relatam que a contaminação da água subterrânea por pesticidas pode ocorrer pelos processos de lixiviação e de erosão dos solos. Assim, o entendimento da poluição das águas subterrâneas por pesticidas requer o conhecimento da relação entre os seguintes fatores: uso e características do solo, clima, propriedades do aquífero e propriedades intrínsecas dos pesticidas (solubilidade, tempo de meia-vida, coeficiente de sorção normalizado ao carbono orgânico do solo, entre outros) (WORRALL; KOLPIN, 2004).

A discussão sobre a contaminação da água subterrânea por pesticidas e outras moléculas orgânicas é ainda contraditória uma vez que diversos autores defendem que os pesticidas podem permanecer retidos no solo e/ou sofrerem processos de degradação, o que impediria a contaminação da água subterrânea.

Entretanto, trata-se de uma generalização que não reflete o comportamento real dos pesticidas no ambiente, uma vez que os processos de retenção e degradação são dependentes das propriedades físicas e químicas das diversas classes químicas dos pesticidas, além de fatores extrínsecos à estrutura química molecular dos pesticidas, como: condições climáticas e comportamento diferente e diversificado em matrizes de água e solo. Dores (2004), em seu trabalho de doutorado relata que pesticidas vêm sendo determinados, mesmo que em baixas concentrações, em amostras de água subterrânea de diferentes países, tais como Grã-Bretanha, Alemanha, Estados Unidos, Grécia, Bulgária, Espanha, Portugal e Brasil. Estas determinações visam esclarecer problemas pontuais de contaminação e/ou têm objetivos mais abrangentes, nos quais os resultados encontrados são interpretados sob o enfoque de programas de monitoramento de água subterrânea.

Programas de monitoramento ambiental, realizados por meio de estudos de campo bem planejados, são considerados por diversos autores como o melhor procedimento de avaliação e conseqüentemente minimização da poluição da água subterrânea (COHEN et al., 1995; ALBANIS et al., 1998; AZEVEDO et al., 2000; FILIZOLA et al., 2002). Estes estudos podem ser realizados analisando-se diretamente a água e/ou o solo, uma vez que o potencial de contaminação da água subterrânea por pesticidas depende da mobilidade dos mesmos no solo. Entretanto, programas de monitoramento exigem um grande número de análises sistemáticas e periódicas que acarretam elevado dispêndio econômico e largo intervalo de tempo (SPADOTTO et al., 2004). Além desse problema, quando se trabalha com a matriz de água subterrânea devem ser ressaltadas as dificuldades na interpretação dos resultados de monitoramento, tais como: fator de diluição e repetibilidade na coleta das amostras em um mesmo ponto.

Análises de resíduos de pesticidas em matrizes de água exige a aplicação de métodos de análise multi-resíduos eficientes e capazes de detectar limites máximos de resíduos estabelecidos por legislação (LMR) e concentrações consideradas de alerta para a saúde humana (SABIK; JEANNOT; RONDEAU, 2000). Embora a tendência do estado da arte deste tema seja a busca de métodos mais rápidos e simples, eles ainda são trabalhosos, envolvendo procedimentos experimentais elaborados e técnicas analíticas mais sofisticadas, o que limita a implantação de programas de monitoramento ambiental para gerar dados sistemáticos, em períodos prolongados, que possam traçar um perfil consistente e real desta questão.

Com o objetivo de priorizar pesticidas em estudos de monitoramento ambiental, alguns modelos, que classificam o potencial de lixiviação e, conseqüentemente, possibilidade do pesticida atingir as águas subterrâneas, têm sido propostos. A aplicação destes modelos envolve apenas cálculos matemáticos, nos quais são considerados, isoladamente ou em conjunto, as propriedades físicas

e químicas dos pesticidas, as propriedades do solo e do aquífero e as condições climáticas e sua aplicação. Estes modelos podem também ser utilizados na obtenção de indicadores ambientais, em programas de gestão ambiental.

A vinhaça, efluente principal da indústria do álcool em regiões de cultura de cana-de-açúcar, é outro fator preocupante quanto à poluição das águas subterrâneas geradas por atividades agrícolas. A vinhaça ou vinhoto possui altas concentrações de potássio, cloreto, nitrogênio e fósforo total, cálcio, sulfato, concentração significativa de alguns metais e elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Sérios danos aos suprimentos de águas superficiais e subterrâneas podem ser causados pelo uso da vinhaça, sem controle, na agricultura e pela sua disposição inadequada em valas de infiltração e lagoas, conhecidas como área de sacrifício (FREIRE; CORTEZ, 2000). Embora trabalhos da década de 90 identifiquem baixo risco de poluição dos recursos hídricos, todos alertam para a necessidade de novos estudos enfocando principalmente a avaliação de locais que receberam aplicação sucessiva de vinhaça por períodos prolongados.

Muito embora incertezas, debates e contradições ainda predominem sobre o tema da contaminação das águas subterrâneas pelas atividades agrícolas, um número considerável de evidências indica que a aplicação excessiva e descontrolada de insumos agrícolas e resíduos gerados por essas atividades têm contribuído substancialmente para a sua contaminação, o que vem sendo constatado por investigações científicas realizadas em diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Considerações finais

Considerando a importante relação entre a atividade agrícola e o recurso hídrico subterrâneo, regulamentações deveriam ser propostas para minimizar possíveis influências dessas atividades sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos. Tais regulamentações poderiam incluir realizações de estimativas preliminares para avaliação do comportamento, nas zonas saturadas e não-saturadas, de possíveis contaminantes gerados por essas atividades e assim determinar o risco de contaminação das águas subterrâneas e o controle do uso do solo em locais que apresentam elevada vulnerabilidade natural à contaminação. A proteção dos recursos hídricos subterrâneos deve ser sustentada e fundamentada em bases científicas, que envolvem, necessariamente, estudos multidisciplinares capazes de fornecer resultados onde contradições e incertezas se transformem em diretrizes e procedimentos viáveis, adequados e exequíveis, dentro dos níveis das esferas local, regional, estadual e nacional.

Referências:

- ALBANIS, T.A.; HELA, D.G.; SAKELLARIDES, T.M.; KONSTANTINOU, I. K. Monitoring of pesticide residues and their metabolites in surface and underground waters of Imathia (N. Greece) by means of solid-phase extraction disk and gas chromatography. **Journal of Chromatography A**, v.823, p.59-71, 1998.
- AZEVEDO, D.A.; LACORTE, S.; VINHAS, T.; VIANA, P.; BARCELÓ, D. Monitoring of priority pesticides and other organic pollutants in river water from Portugal by gas chromatography-mass spectrometry and liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v.879, p.13-26, 2000.
- BARBOSA, L.C.A. **Os pesticidas, o homem e o meio ambiente**. Viçosa: Editora UFV, 2004.
- BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E.L.G.; POVINELLI, J.; ELER, M.N.; SILVA, M.R.C.; DORNFELD, C.B.; NOGUEIRA, A.M. **Avaliação ambiental do rio Mogi-Guaçu: resultados de uma pesquisa com abordagem ecossistêmica**. São Carlos: Rima Editora, 2002.
- BÖHLKE, J-K. Groundwater recharge and agriculture contamination. **Hydrogeology Journal**, v.10, p.153-79, 2002.
- COHEN, S.Z.; WAUCHOPE, R.D.; KLEIN, A.W.; EADSFORTH, C.V.; GRANEY, R. Offsite transport of pesticides in water mathematical models of pesticide leaching and runoff. **International Union of Pure and Applied Chemistry**, v.67, n.12, p.2109-48, 1995.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. Contaminación de las aguas subterrâneas. In _____. **Hidrologia Subterrânea**. 2. ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1996. cap.18.3, p.1905.
- DORES, E.F.G.C. **Contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas em Primavera do Leste, Mato Grosso**. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, São Paulo, 2004.

EC (European Community). EC Directive relating to the quality of water intended for human consumption. **Official Journal of the European Community**, v.229, n.80/778/EEC, 1980.

ELHATIP, H.; AFSIN, M.; KUSÇU, L.; DIRIK, K.; KURMAÇ, Y.; KAVURMACI, M. Influences of human activities and agriculture on groundwater quality of Kayseri-Incesu-Dokuzpinar springs, central Anatolian part of Turkey. **Environmental Geology**, v.4, p.490-94, 2003.

FILIZOLA, H.F.; FERRACINI, V.L.; SANS, L.M.A.; GOMES, M.A.F.; FERREIRA, C.J.A. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guaíra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.5, p.659-67, 2002.

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.A.B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'EDLIA, M.; PARIS, M. **Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies**. The World Bank, The International Bank for Reconstruction and Development, 2002.

FOSTER, S.; VENTURA, M.; HIRATA, R. **Poluição das águas subterrâneas**. Um documento executivo da situação da América Latina e Caribe com relação ao abastecimento de água potável. São Paulo: Instituto de Geologia, 1993.

HARIA, A.H.; HODNETT, M.G.; JOHNSON, A.C. Mechanisms of groundwater recharge and **pesticide** penetration to a chalk aquifer in southern England. **Journal of Hydrology**, v.275, p.122-37, 2003.

HIRATA, R.C.A. Os recursos hídricos subterrâneos e as novas exigências ambientais. **Revista IG**, v.14, n.1, p.39-62, 1993.

MATTOS, L.M.; SILVA, E.F. Influência das propriedades de solo e de pesticidas no potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas. Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.9, p.103-24, 1999.

PANNO, S.V.; KELLY, W.R. Nitrate and herbicide loading in two groundwater basins of Illinois' sinkhole plain. **Journal of Hydrology**, v.290, p.229-42, 2004.

SABIK, H.; JEANNOT, R.; RONDEAU, B. Multiresidue methods using solid-phase extraction techniques for monitoring priority pesticides, including triazines and degradation products, in ground and surface waters. **Journal of Chromatography A**, v.885, p.217-36, 2000.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M.A.F.; LUCHINI, L.C.; ANDRÉA, M.M. **Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2004. 29p. (Embrapa Meio Ambiente Documentos, 42).

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, 2003.

USEPA (US Environmental Protection Agency). **Maximum contaminant levels (subpart B of part 141, National primary drinking-water regulations), US Code of Federal Regulations**. Title 40, parts 100-149, revised July 1, 1986. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, p.524-28, 1986.

VARNIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico do Tietê - São Paulo. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, p. 77-80, 2002.

WORRALL, F.; KOLPIN, D.W. Aquifer vulnerability to pesticide pollution – combining soil, land-use and aquifer properties with molecular descriptors. **Journal of Hydrology**, v.293, p.191-204, 2004.

Resumo:

As águas subterrâneas são utilizadas em muitos países como água potável e vem apresentando acréscimo no seu consumo devido à boa qualidade e baixo custo de tratamento comparado ao da água superficial. Por estarem localizadas em reservatórios que apresentam, em alguns casos, vulnerabilidade natural à contaminação, as mesmas podem apresentar sua qualidade alterada devido ao uso inadequado do solo. A atividade agrícola é umas das atividades que podem ocasionar prejuízos à qualidade dessas águas. Esse fato pode ser observado

pela ocorrência de contaminantes inorgânicos e orgânicos em amostras de águas subterrâneas de diversos países. Medidas preventivas devem ser tomadas com o objetivo de minimizar e até mesmo eliminar esse risco de contaminação. Esse trabalho apresenta uma revisão dos principais cenários referentes à contaminação e proteção das águas subterrâneas, discutindo particularmente os potenciais contaminantes gerados pelas atividades agrícolas.

Palavras-chave:

Água Subterrânea, Contaminação, Atividade Agrícola.