

## ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E AGRONEGÓCIOS

Ricardo Hirata<sup>1</sup> e Claudia Varnier<sup>2</sup>

**Resumo** - No Brasil, as áreas atualmente cultivadas representam  $55 \times 10^6$  ha, dos quais  $120 \times 10^6$  ha poderiam ser mecanizadas e  $32 \times 10^6$  ha, irrigáveis. Estima-se que o País conte, atualmente, com aproximadamente  $3 \times 10^6$  ha de áreas irrigadas (5%), respondendo por 18% da produção agrícola.

O uso dos recursos hídricos subterrâneos em sistemas agrícolas é uma opção vantajosa devido à capacidade de aliar perenidade, importantíssima quando se trata de irrigação, e excelente qualidade química natural das águas. No Brasil, esta utilização é ainda bastante restrita, motivada pela falta de conhecimento e de tradição de uso por parte do agricultor e pela carência de estudos e projetos concretos de viabilidade nesta área.

Verificando-se a potencialidade de produção dos aquíferos em regiões onde os projetos de irrigação estão sendo implantados, ou mesmo, em áreas onde há fortes tendências de expansão da fronteira agrícola (como os cerrados), nota-se que os recursos hídricos subterrâneos poderiam suprir, total ou parcialmente, esta demanda. Nestas áreas as águas da grande maioria dos sistemas aquíferos apresentam excelentes qualidades químicas para todos os tipos de culturas comerciais, que incluem, baixa salinidade e baixa concentração de compostos tóxicos às plantas.

Os problemas ambientais associados à atividade agrícola, incluindo a salinização de solos e das águas subterrâneas além a contaminação de aquíferos por pesticidas e nitrato podem ocorrer, embora poucos casos tenham sido reportados até o momento no País. É certo que estes problemas podem ser evitados se um correto manejo da cultura for efetuado.

---

<sup>1</sup> Departamento de Geologia Econômica, Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo. Caixa Postal 11348 - CEP 05422-970 - São Paulo (SP) Brasil. Fax (5511) 818.4207. Tel (5511) 818.4230. E-mail: rhirata@usp.br

<sup>2</sup> E-mail: clvarnier@hotmail.com

Embora os agroquímicos estejam recebendo grande atenção por parte dos ambientalistas, programas de monitoramento na América do Norte têm mostrado raros casos onde estas substâncias tenham contaminado os aquíferos.

**Palavras-chave** - águas subterrâneas, agricultura, irrigação.

## **INTRODUÇÃO**

Três quartos da água doce usada pelo homem no planeta serve à atividade agrícola (L'Vovich 1979). Segundo o relatório da FAO (1990), 18% das terras cultivadas são irrigadas, produzindo 30% do alimento do mundo. Infelizmente, não existem dados confiáveis sobre a parcela que cabe às águas subterrâneas, mas é sabido de sua grande importância, sobretudo em sistemas de pequeno e médio portes.

Embora a agricultura irrigada seja considerada hoje o mais avançado processo de produção, devido à sua crescente independência em relação aos regimes pluviais, é ela também uma prática bastante tradicional. Civilizações antigas, entre elas os egípcios, árabes, assírios, babilônios, chineses e hindus, já usavam sistemas de irrigação com grande êxito, inclusive envolvendo as águas subterrâneas. Há 2500 anos atrás, os egípcios tinham 400.000 ha irrigados com águas vindas de aquíferos, por gravidade, através de túneis sub-horizontais (qanats). Segundo Chilton (1995), na região oeste dos desertos do Saara, ruínas históricas mostram áreas irrigadas com águas obtidas através de poços com mais de 200 m de profundidade. Estas técnicas foram disseminadas em toda a região do Médio Oriente, chegando à Ásia e Europa.

O uso dos recursos hídricos subterrâneos em sistemas agrícolas é uma opção vantajosa devido à capacidade de aliar perenidade, importantíssima quando se trata de irrigação, bem como a qualidade bacteriológica e físico-química natural das águas. No Brasil, a utilização da água subterrânea na agricultura irrigada é ainda bastante restrita, motivada pela falta de conhecimento e tradição de uso por parte do agricultor além da carência de estudos e projetos concretos de viabilidade nesta área. É interessante lembrar que os cursos

superiores de agronomia no País não possuem em sua grade curricular, matérias que tratem das águas subterrâneas como um recurso viável a ser utilizado na demanda agrícola.

É certo que os aquíferos, embora possuam grande capacidade de armazenamento de água, muitas vezes não respondem com elevadas vazões pontuais instantâneas, limitando a produção final de sistemas de extração para alguns usos de grande demanda. Por outro lado, as exigências de sustentabilidade e competitividade econômica fez com que as técnicas de irrigação evoluam até àquelas que impliquem em menores gastos de água, favorecendo sistemas apoiados em poços tubulares. Ademais, em algumas regiões do País, os aquíferos têm mostrado uma grande capacidade de vazão, permitindo sustentar projetos de irrigação de grande porte.

Este trabalho pretende apresentar um panorama da situação da irrigação no País, apontando o papel dos recursos hídricos subterrâneos neste contexto. Complementarmente, dentro da óptica de uso sustentável do recurso, este trabalho tece algumas considerações sobre os impactos da atividade agrícola nas águas subterrâneas, mostrando que o correto manejo desta atividade tem permitido a não degradação dos aquíferos.

## **SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO NO PAÍS**

O Brasil possui um território de  $851 \times 10^6$  ha, com uma área potencialmente cultivável de  $500 \times 10^6$  ha. Segundo IBGE-Radam Brasil (*apud* Simas 1988), desta área cultivável, somente  $120 \times 10^6$  ha apresentam condições para culturas de elevada exigência (grãos, por exemplo), possuindo relevos planos e suaves e boas condições físicas. As áreas atualmente cultivadas representam  $55 \times 10^6$  ha dos quais,  $32 \times 10^6$  ha poderiam ser irrigáveis.

Segundo o censo agropecuário do IBGE (1985), o Brasil tem aproximadamente  $3 \times 10^6$  ha de áreas irrigadas (Tabela 1), respondendo por 18% da produção agrícola. Dados mais recentes mostram que a região Sul destaca-se das demais por possuir 41% em terras irrigadas, seguida do Sudeste (35%), Nordeste (16%), Centro-Oeste (7%) e Norte (1%). A partir de 1995, houve um aumento significativo da irrigação no País. Em 1996, foram incluídos na implantação de projetos privados, aproximadamente  $10 \times 10^3$  ha em 3.100 operações de investimentos, envolvendo R\$ 23,3 milhões (média R\$ 7.480/ha), com a seguinte distribuição regional: Norte (2,4%), Nordeste (26,4%), Centro-Oeste 34,1%, Sudeste (25,6%) e Sul (11,5%).

A técnica de irrigação mais utilizada em área é a da inundação (67%), sobretudo associada ao arroz, seguida pela aspersão (16%), pivo central (9%), sulco (5%) e pelo gotejamento (3%). De acordo com a ABIMAQ/SINDIMAQ (1982-1991), a venda de equipamentos pressurizados mostrou que 65% delas foram do tipo pivo central, seguido pelo autopropelido (28%), localizado (4%) e por aspersão (3%). Nos EUA, os sistemas de irrigação baseados em pivo central também representam o de maior uso (Sheffield 1988).

**Tabela 1. Áreas irrigadas no País e principais técnicas empregadas (IBGE 1985)**

<b>Totais</b>	<b>Estabelecimento</b>	<b>Total</b>	<b>Inundação</b>	<b>Infiltração</b>	<b>Aspersão</b>	<b>Outros</b>	<b>Área</b>
<b>374.924.929</b>	<b>5.801.809</b>	<b>239.067</b>	<b>112.334</b>	<b>54.538</b>	<b>59.684</b>	<b>27.056</b>	<b>1.954.824</b>
Acre 234.764	35.049	64	3	1	13	47	52
Alagoas 2.363.772	142.774	3.338	2.357	489	270	299	27.814
Amapá 1.208.021	4.816	39	---	---	29	10	28
Amazonas 5.859.512	116.302	249	20	13	108	113	285
Bahia 33.431.403	739.006	27.607	9.405	13.445	1.754	4.802	107.054
Ceará 11.009.164	324.278	18.433	9.829	4.783	3.263	1.840	67.304
Distrito Federal 313.824	3.420	1.227	59	407	834	140	5.538
Espírito Santo 3.895.428	69.140	10.596	5.474	1.172	3.983	702	49.797
Goiás 29.864.106	131.365	3.644	479	1.199	1.467	732	20.015
Maranhão 15.548.269	531.413	1.615	397	314	238	697	24.034
Mato Grosso 37.835.653	77.921	447	86	54	162	168	11.857
Mato Grosso do Sul 31.108.815	54.631	976	454	126	251	199	25.808
Minas Gerais 45.836.654	551.488	46.116	25.403	10.826	8.198	4.058	194.618
Paraíba .872.094	203.277	5.353	2.319	1.146	1.658	665	18.895
Paraná* 16.380.332	454.103	4.497	1.273	448	1.562	1.308	28.092
Pará 24.727.832	253.222	866	105	58	269	452	11.917
Pernambuco 6.699.920	356.041	18.050	4.958	10.227	3.875	1.781	83.456
Piauí 11.828.027	270.443	4.314	2.379	981	854	380	13.560
Rio Grande do Norte 4.383.019	115.736	3.404	1.351	1046	863	463	17.588
Rio Grande do Sul 23.821.895	497.172	29.152	21.464	1.506	3.019	3.729	779.534
Rondônia 6.032.647	80.615	191	12	24	77	81	143
Roraima 2.149.537	6.389	74	12	12	32	25	2.240
Santa Catarina 7.419.543	234.973	11.104	9.015	515	698	1.152	75.951
São Paulo 20.245.289	282.070	24.762	2.293	2.824	19.333	1.699	284.140
Sergipe 1.918.518	115.271	2.336	1.431	298	387	271	7.121
Tocantins 17.354.404	47.320	338	115	99	52	92	28.577

\* Dados do IBGE 1980.

Simas (1988) sugere uma zonificação das áreas irrigáveis do País, baseada no perfil agrícola e climático: i) irrigação complementar em policultivos em terras altas do Sul (principalmente no noroeste do RS e do PR); ii) irrigação de arroz no Sul (peculiar por só permitir uma colheita anual devido ao clima); iii) irrigação de policultivos de grãos nos cerrados (incluindo MT, MS, GO, DF e partes de SP e MG, restritamente ES); iv) irrigação dos cerrados do Nordeste (principalmente na BA, MA, e em menor quantidade, sudeste do PI) e v) irrigação da Zona da Mata, os agrestes e outras regiões especiais. A tabela 2 mostra a estimativa de derivação e consumo de água em irrigação para estas diversas zonas. A *zona de irrigação complementar de grãos no Sul* exige uma derivação de 1.000 a 2.500 m<sup>3</sup>/ha/ano (Tabela 2). Um poço de 20m<sup>3</sup>/h, típico para a região, em regime de operação ao de 18 horas/dia poderia irrigar 130 a 50 ha de área plantada. Poços do Aquífero Botucatu com vazões de 500 m<sup>3</sup>/h poderiam irrigar até 650 ha, na *zona de policultivo de grãos do cerrado* (6000 m<sup>3</sup>/ha/ano), que engloba os estados de PR, MS e parte do MT, regiões onde tal aquífero ocorre em forma confinada.

**Tabela 2.** Estimativa de derivação de água nas principais zonas de irrigação do País (Simas 1988)

Irrigação Complementar de Grãos Sul		Arroz Sul	Policultivo de grãos Cerrado	Irrigações Sertões	Outros	
Derivação	m <sup>3</sup> /ha/ano	1.000-2.500	15.000	6.000	12.000	6.000
Consumo		800-2.000	6.000	4.500	9.000	4.500
Retorno		200-500	9.000	1.500	3.000	1.500

Numa perspectiva de tendências de crescimento da agricultura irrigada no País, é observado que nos estados do Sul a possibilidade de expansão agrícola é mímina. Analistas acreditam que o aumento do volume agrícola ocorrerá pelo incremento da produtividade, sobretudo por que as condições climáticas permitem duas safras anuais. Segundo Simas (1988), a única possibilidade de aumento da fronteira agrícola estaria associada às varzeas. Frente a esta forte concentração nesta região, as atenções se voltam para regiões que apresentem vantagens comparativas, ou seja, terras baratas com solos aráveis e mecanizáveis, chuvas confiáveis e relativa proximidade de centros consumidores, com custo de transporte e armazenagem competitivos. Tais áreas seriam aquelas nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste.

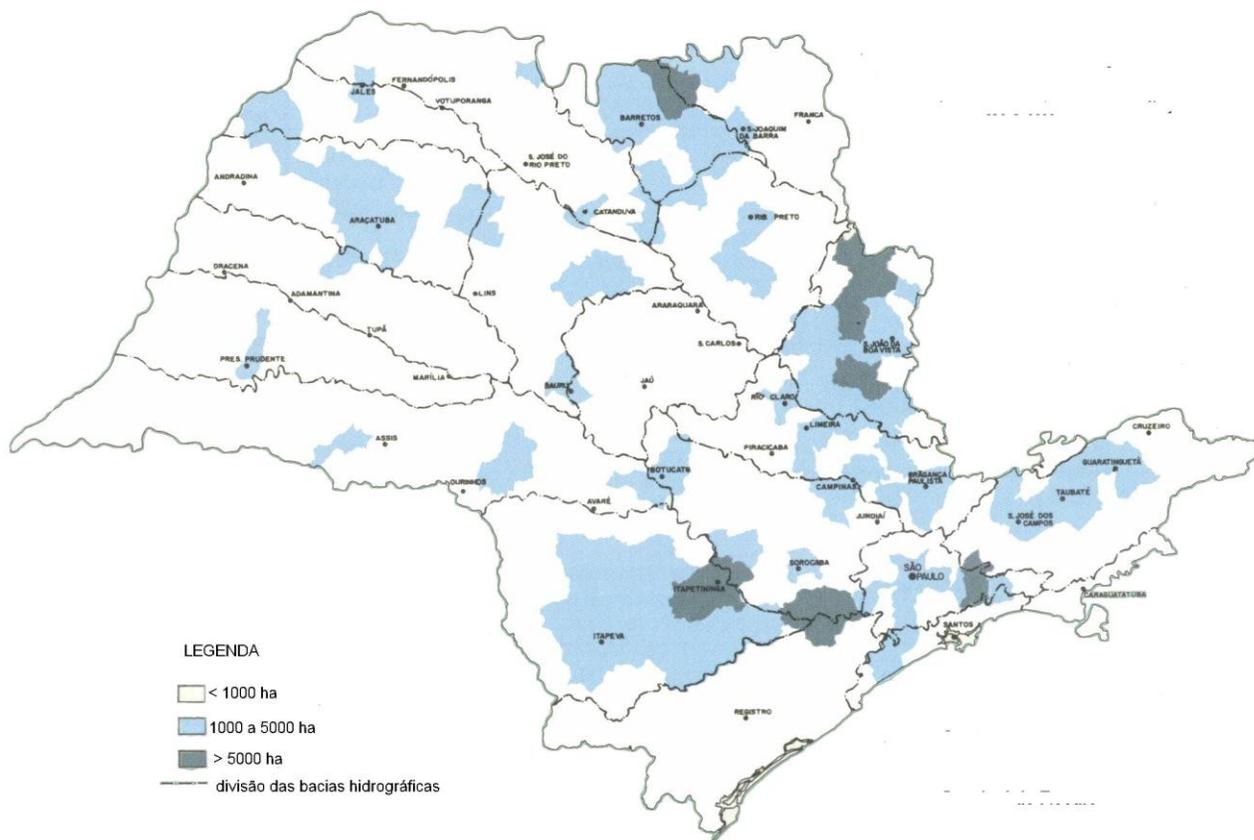
Os cerrados têm apresentado interesse para os agricultores. Nestas áreas, o produtor tem encontrado um clima distinto do Sul, que possibilita a introdução de outras culturas, devido à amenidade das temperaturas de inverno, mas que também restringe a produção, em função da presença de um estação marcadamente seca. A introdução de técnicas de irrigação pode responder a este problema, sobretudo pela existência nos estados do MT, MS, GO, PI e mais restritamente nos estados da MG e BA, de aquíferos com alta a média capacidade de produção e também pela existência de rios perenes, mantidos pelo fluxo de base alimentados por aquíferos recarregados pelas chuvas de verão.

Na região dos sertões, a produção para grãos é e será limitada. A região deve operar com cultivos mais rentáveis, como a produção de hortaliças para indústria e mesa, de algodão de alta qualidade e de frutas, especialmente as de clima tropical para processamento industrial e fornecimento para os mercados brasileiros e exportação (Simas 1988).

Numa perspectiva otimista de crescimento agrícola para o País, no ano 2000 o perfil de áreas irrigadas somará a  $5,3 \times 10^6$  ha, com participação de 73% de cereais e oleaginosas (grãos, incluindo arroz, feijão, milho, soja e trigo); 9% de hortícolas; 7% de algodão; 5% de sementes; 3% frutas; 1% de pastagens e < 1% de mudas.

Analisando as áreas irrigadas na região da CODEVASF (Vale do São Francisco) observa-se que as principais culturas relacionam-se a frutas, horticulturas e restritamente cereais. De acordo com o Programa Brasil em Ação, espera-se implantar  $25,4 \times 10^3$  ha irrigados até fins de 1999. Segundo os dados do DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra a Seca, 1997) os perímetros irrigados mostraram forte tendência para frutas. Neste caso as técnicas de irrigação predominantes foram a aspersão e gravidade, seguido de pivo central. Dentro do Programa de Fruticultura Irrigada estão previstos investimentos da ordem de R\$ 1 bilhão, incluindo o Perímetro Salitre, com aplicação de R\$ 298 milhões (Brasil 1998).

A figura 1 mostra os municípios do Estado de São Paulo onde há maiores concentrações de agricultura irrigada. Segundo São Paulo (1990), estima-se que em 1990 um total de  $154\text{m}^3/\text{s}$  estavam sendo utilizados para a irrigação no território paulista, sobretudo para a irrigação de frutas, citrus, grãos, cana de açúcar, tomate, sementes selecionadas, cebola e batata. Os métodos mais empregados são: aspersão convencional, pivo central, inundação, autopropelido, mangueira e montagem direta



**Figura 1.** Concentração de áreas de irrigação no Estado de São Paulo (São Paulo 1990)

Segundo o último censo agropecuário do IBGE (1996), o total de área irrigada no Estado de São Paulo é de 439.054 ha, apresentando um crescimento de 55%, em relação ao ano de 1985. A lavoura temporária ocupa a primeira posição em área irrigada, com 269.633 ha (61%), seguida de lavoura permanente com 53.151 ha (12%), horticultura e produtos de viveiros com 45.397 ha (10%), pecuária com 42.347ha (10%), produção mista com 26816 ha (6%), silvicultura e exploração florestal com 1.522 ha (0,3%), pesca e aquicultura com 118 ha (0,02%) e produção de carvão vegetal com 69 ha (<0,01%). 50% dos estabelecimentos possuem áreas irrigadas de 10 até 100 ha, seguida de áreas menores que 10 ha, 30%, indicando agricultores de pequeno a médio porte, ótimos à prática de irrigação baseada em poços tubulares.

Com o intuito de estimar a potencialidade dos recursos hídricos subterrâneos para suprir total ou parcialmente a demanda de água nestas áreas irrigadas, cruzaram-se os mapas hidrogeológicos e de áreas irrigadas no Estado. A tabela 3 mostra estes resultados. É importante notar que algumas áreas de concentração de irrigantes, como Presidente Prudente, Jales, Araraquara e Ribeirão Preto, o Aquífero Botucatu, com vazões individuais de poços superiores a 500m<sup>3</sup>/h, poderiam oferecer uma alternativa viável de obtenção de água de excelente qualidade (baixa mineralização e reduzido potencial de salinização de solos) e com grande perenidade e confiabilidade. Nas áreas de afloramento dos sistemas aquíferos Bauru-Caiuá, poços com vazões de 20 a 40 m<sup>3</sup>/h são outra alternativa para o abastecimento, sobretudo por permitir que, mesmo em áreas de alta demanda, sejam perfurados um grupo de poços, permitindo uma melhor distribuição dos sistemas e reduzindo custos de adução de água.

Para as culturas mais sensíveis à toxicidade química ou mesmo para sistemas de irrigação que requeiram águas com baixo nível de sólidos suspensos, a água subterrânea é a melhor alternativa. No Estado de São Paulo, com pouquíssimas exceções, esta água apresenta ótima qualidade físico-química sendo diretamente utilizada para a aplicação em culturas diversas. As técnicas de micro-aspersão e gotejamento, que apresentam problemas de entupimento, teriam seus custos reduzidos, sobretudo com equipamentos de filtração e sua manutenção, caso este recurso seja usado.

## **OS POSSÍVEIS PROBLEMAS AMBIENTAIS E SUA PREVENÇÃO**

A mecanização e intensificação da exploração agrícola têm causado problemas ambientais, destacando-se a salinização de solos e águas, a erosão de solos agrícolas, a eutroficação de lagos e a contaminação das águas subterrâneas por compostos nitrogenados. Vários estudos têm apontado, entretanto, que o correto manejo do solo e da cultura tem evitado estes problemas, inclusive com a redução de gastos associados ao melhor uso de fertilizantes, pesticidas, energia e água.

*Salinização:* o aumento da salinidade de solos e das águas subterrâneas é provavelmente um dos problemas mais significantes e mais amplamente difundido no mundo. A irrigação de culturas, quando em áreas adversas e/ou mal gerenciadas, podem causar este problema (Chilton 1995). A salinização não é um problema recente, há mais de 6000 anos atrás, na

Mesopotâmia, esta foi uma das responsáveis pelo declínio da civilização suméria, pelo abandono forçado das terras agrícolas nos vales dos rios Tigre e Eufrates.

**Tabela 3.** Concentração das áreas irrigadas no Estado de São Paulo e relação com os principais sistemas aquíferos

Concentração das áreas irrigadas	Localidade	Sistema Aquífero	Vazão Média (m <sup>3</sup> /h/poço)**
> 5.000 ha	Barretos	Bauru + Serra Geral + Botucatu*	8-30/10-100/60-600
	Guaíra	Serra Geral + Botucatu*	10-100/60-600
	Itapetininga	Passa Dois + Tubarão	7-20
	Mococa	Cristalino + Tubarão	5-30/7-20
	Mogi-Mirim	Tubarão + Cristalino	7-20/5-30
	São João da Boa Vista	Cristalino + Tubarão	5-30/7-20
	São Paulo	São Paulo	6-20
Sorocaba	Cristalino	5-30	
1.000 a 5000 ha	Araçatuba	Bauru + Botucatu*	8-30/60-600
	Assis	Bauru + Serra Geral + Botucatu*	8-30/10-100/60-600
	Barretos	Bauru + Serra Geral + Botucatu*	8-30/10-100/60-600
	Bauru	Bauru + Botucatu*	8-30/60-600
	Bebedouro	Bauru + Botucatu*	8-30/60-600
	Botucatu	Botucatu + Serra Geral + Bauru	60-600/10-100/8-30
	Bragança Paulista	Cristalino	5-30
	Campinas	Cristalino + Tubarão	5-30/7-20
	Capão Bonito	Tubarão	7-20
	Catanduva	Bauru + Botucatu*	8-30/60-600
	Guaratinguetá	Caçapava	200
	Itapeva	Tubarão	7-20
	Jaboticabal	Bauru + Serra Geral	8-30/10-100
	Jales	Bauru + Botucatu*	8-30/60-600
	Limeira	Tubarão + Passa Dois	7-20
	Lins	Bauru + Botucatu*	8-30/60-600
	Mirandópolis	Bauru + Botucatu*	8-30/60-600
	Ourinhos	Bauru + Serra Geral + Botucatu*	8-30/10-100/60-600
	Pereira Barreto	Bauru + Botucatu*	8-30/60-600
	Presidente Prudente	Bauru + Botucatu*	8-30/60-600
	Ribeirão Preto	Serra Geral + Botucatu	10-100/60-600
	Rio Claro	Passa Dois + Diabásio + Botucatu	10-100/60-600
	São Joaquim da Barra	Serra Geral + Bauru + Botucatu*	10-100/8-30/60-600
	São João da Boa Vista	Cristalino + Tubarão	5-30/7-20
	São José dos Campos	Caçapava	200
	São Paulo	São Paulo	6-20
	Sorocaba	Tubarão	7-20
Taubaté	Tremembé	25	

\*Botucatu Confinado

\* Vazões médias citadas de acordo com os sistemas aquíferos

São vários os mecanismos responsáveis pela salinização, mas o principal é aquele resultado da irrigação mal gerenciada. Do total de água aplicada na cultura, uma parcela de 40 a 80% é utilizada. O restante se perde como escoamento superficial ou como infiltração abaixo da linha de raízes. Caso a infiltração seja excessiva, ela acabará por elevar o nível freático do aquífero. Quando a água evapora do solo, ela deixa sais precipitados. O aumento na salinidade está diretamente associado à qualidade original da água e às taxas de aplicação e evaporação. As águas do solo possuem uma concentração de sais 2 a 3 vezes maiores que a água que serve de irrigação (Hotes & Pearson 1977). Vários textos de agronomia tem sugerido o aumento nas taxas de aplicação de água para lavar os sais do solo. Este procedimento simplesmente transfere o problema para o aquífero e a médio prazo para o próprio rio, uma vez que são as águas subterrâneas através do fluxo de base que alimentam estas drenagens. O aumento da infiltração, sobretudo em sistemas de irrigação mal gerenciados, pode elevar o nível da água no aquífero. Quando o nível estático alcança 1,5 a 2 m, os mecanismos de evaporação se tornam mais efetivos e tratam de estabilizar o nível de água. Este processo causa uma evaporação e conseqüente salinização do solo. A alcalinização do solo é também outro problema associado ao gerenciamento da irrigação ou ao uso de águas com altas concentrações de sódio. Quando este enriquecimento no solo ocorre, ultrapassando a 60-70% da capacidade de troca catiônica, o meio pode atingir pH entre 9 e 11, com forte compactação.

**Contaminação por fertilizantes nitrogenados:** o manejo do solo agrícola e o tipo de cultura têm uma forte influência na qualidade das águas subterrâneas e na própria recarga do aquífero. O uso inadequado de fertilizantes nitrogenados tem causado alguns sérios problemas de contaminação das águas subterrâneas em muitas partes do mundo, sobretudo na Europa (Foster *et al.* 1986) e América do Norte (Rudolph *et al.* 1997). A lixiviação de nitrogênio do solo para os aquíferos é resultado de um intrincado processo que envolve os tipos de solo e de aquífero, regime de colheita e infiltração. Entre os principais fatores controladores da lixiviação destacam-se: permabilidade e espessura do solo, infiltração efetiva (chuvas e irrigação), continuidade do cultivo e controle da aplicação de fertilizantes (Foster & Hirata 1988). Na prática, entretanto, estes fatores são de difícil determinação no campo.

De forma bastante simplificada a concentração de nitrato que atinge um aquífero pode ser calculado pela relação proposta por Foster & Hirata (1988):

$$C_f = Ff/100I$$

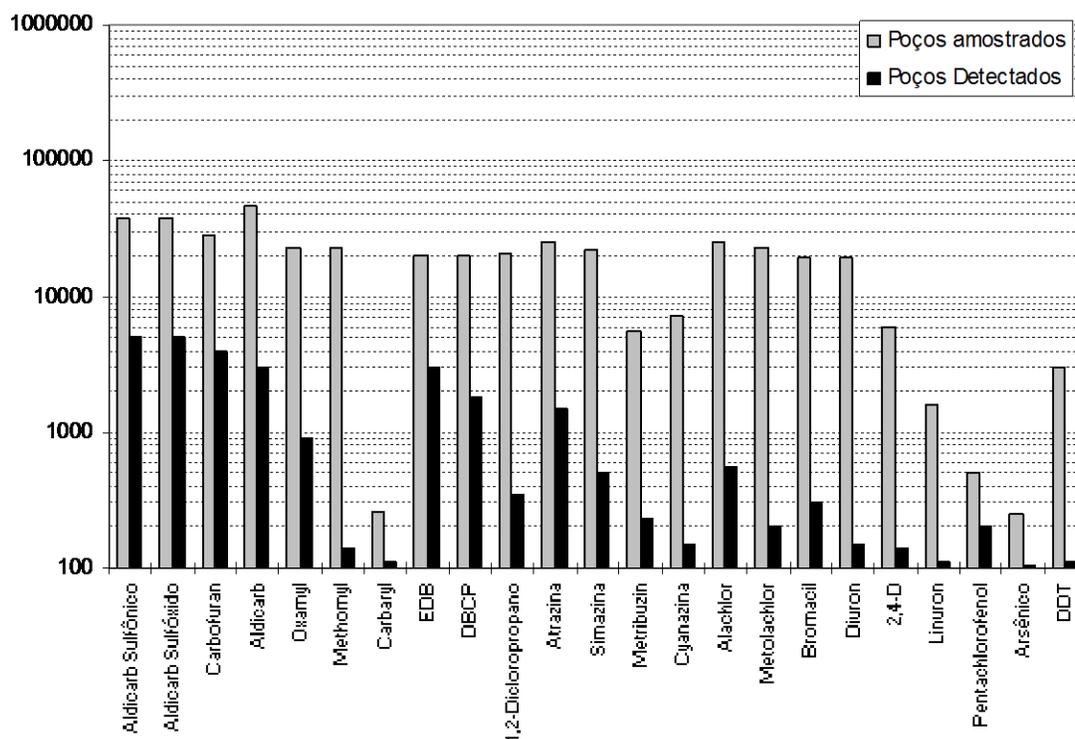
Onde  $C_f$  (mg/L) é a concentração esperada;  $I$  (mm/a) é a infiltração efetiva; e  $F$  (kg/ha/a) é a taxa de nitrogênio aplicado e  $f$  (adimensional), as transformações e perdas da massa total aplicada e pode variar de 0 a 0,8.

As áreas onde se esperam maiores problemas de contaminação das águas subterrâneas associados ao cultivo agrícola por contaminantes nitrogenados serão aquelas onde: i) a espessura da zona de solo e não saturada sejam reduzidas; ii) o solo e a zona não saturada apresentem permeabilidade e aeração elevadas; iii) a movimentação da terra, com troca de culturas, ocorra com frequência; iv) as taxas de aplicação de fertilizantes sejam altas e v) o excesso de irrigação possa conduzir a uma rápida lixiviação de nutrientes.

**Contaminação por pesticidas:** até a década de 70, os hidrogeólogos acreditavam que a degradação das águas subterrâneas por pesticidas era negligenciável. Estudos de monitoramento nos EUA têm mostrado que estas substâncias têm a capacidade de alcançarem as águas subterrâneas (Figura 2). Entretanto, são poucos os casos em que as concentrações excederam os limites de potabilidade na água (que particularmente são muito baixos). Novamente, os resultados de estudos na América do Norte e na Europa têm indicado que o bom gerenciamento da aplicação destas substâncias tem reduzido em muito os riscos de contaminação de aquíferos e das águas superficiais.

Nos estudos multi-estados promovidos pela Environmental Protection Agency norte americana (USEPA 1992), dirigidos especialmente para as áreas agrícolas, detectaram pesticidas e seus produtos de transformação em 4% dos poços (domésticos, em área rural) até 62% (áreas de milho e soja, após plantio, no centro norte do país). Os pesticidas foram encontrados em concentrações menores que 1 µg/L em 95% dos poços amostrados durante estes estudos. Os produtos mais detectados foram os carbamatos, seguidos de fumigantes e triazinas. Embora não existam estudos tão sistematizados como estes no Brasil, Hirata *et al.* (1995) e Rodrigues *et al.* (não publicado), avaliando os riscos de contaminação das águas

subterrâneas por agrotóxicos, mostraram uma grande similitude entre os compostos utilizados no Estado de São Paulo e os observados em programas de monitoramento norte-americanos. Estes estudos permitiram identificar áreas onde há maior risco de contaminação pela análise integrada entre carga potencial aplicada e mapa de vulnerabilidade à poluição de aquíferos.



**Figura 2.** Pesticidas detectados em pelo menos 100 poços nos EUA (USEPA 1992)

O manejo do uso de pesticidas, aliado ao conhecimento das características hidrogeológicas do local parece definir alguns fatores controladores da contaminação destes compostos nos aquíferos. Segundo o USGS, baseado em vários trabalhos de monitoramento dos EUA (Kolpin *et al.* 1993, Risch 1994, USEPA 1990, USEPA 1992), os seguintes fatores estavam associados à presença de agroquímicos nos aquíferos: i) elevado uso de pesticidas nas área; ii) altas taxas de recarga; iii) alta permeabilidade do solo; iv) sedimentos não-consolidados e cásticos; v) aquíferos livres; vi) poços rasos, do tipo escavado; vii) poços sem cimentação sanitária apropriadas. Numa interpretação preliminar, pode-se agrupar estes fatores em três grupos: o primeiro relaciona-se ao manejo do produto,

uma vez que as taxas de aplicação são diretamente relacionados com a concentração nas águas subterrâneas (Foster & Hirata 1988). O segundo fator está associado às taxas de aplicação de água (responsável pela advecção do composto), através de irrigação ou à eventos de precipitação, portanto gerenciamento do uso de água. Já os itens de iii até v, poderiam ser chamados de fatores de vulnerabilidade do aquífero. Os restantes estão associados à contaminação da primeira porção do aquífero, fatores de diluição por águas de diferentes idades e sua detecção mais provável.

## **CONCLUSÕES**

A irrigação é uma das formas de aumento da produtividade agrícola, pelo controle de uma das variáveis climáticas mais sensíveis à planta: a carência de água. O Brasil possui uma área irrigável de  $32 \times 10^6$  ha, sendo que  $3 \times 10^6$  ha contam hoje com algum sistema de irrigação. Infelizmente, não existem dados sobre a participação das águas subterrâneas neste processo.

A análise das áreas irrigadas e de tendências de aumento da fronteira agrícola, juntamente com mapas hidrogeológicos, tem mostrado que muitos projetos de irrigação poderiam ser sustentados por poços tubulares. Embora exista uma potencialidade muito grande do uso de águas subterrâneas para a agricultura, uma vez que este recurso alia a perenidade à excelente qualidade bio-físicoquímica, esta participação é ainda bastante limitada. Os motivos assinalados pelo não uso das águas subterrâneas na agricultura foram: a falta de conhecimento e de tradição de uso por parte do agricultor e pela carência de estudos e projetos concretos de viabilidade nesta área. Foi observado que os cursos superiores de agronomia do País não possuem em sua grade curricular matérias que tratem das águas subterrâneas, como um recurso viável para ser utilizado na demanda agrícola.

Os problemas ambientais relacionados à atividade agrícola existem e normalmente relacionam-se a um mau gerenciamento da própria atividade. O manejo correto de uma prática agrícola, que implica no controle da irrigação e do uso de fertilizantes e agroquímicos, juntamente com o conhecimento adequado da hidráulica de aquíferos, permite que problemas como a salinização de solos e águas e contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos sejam evitados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil. 1998. *Site do Ministério da Agricultura.*
- Chilton, P.J. 1995. Groundwater for small-scale irrigation: experience and prospects. *Groundwater and agriculture: the inter-relationship.* BGS Tec. Report, WD/95/26: 17-25.
- FAO, 1990. Water and Sustainable Agricultural Development: an International Action Programme. FAO, Rome.
- Foster, S.S.D., Bridge, L.R., Geake, A.K., Lawrence, A.R., Parker, J.M. 1986. The Groundwater Nitrate Problem. *Hydrogeologic Report 86/2, British Geological Survey.*
- Foster, S & Hirata, R. 1988. *Groundwater pollution risk evaluation: a survey manual using available data.* CEPIS-PAHO/WHO, Peru.
- Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1985. Censo Agropecuário. 26 vol. FIBGE, Rio de Janeiro.
- Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1996. Censo Agropecuário 1995-1996. São Paulo. 26 vol. FIBGE, Rio de Janeiro.
- Hirata, R; Rodrigues, G; Paraíba, L; Buschinelli, C. 1995. Groundwater contamination risk from agricultural activity in São Paulo State (Brazil). *Groundwater and agriculture: the interrelationship.* BGS Tec. Report, WD/95/26: 93-101.
- Hotes, F.L & Pearson, E.A. 1977. Effects of irrigation on water quality. *In: Arid Irrigation in Developing Countries.* E B Worthington [Ed], pergamon Press Oxford: 127-158.
- L'Vovich, M.I. 1979. *World Water Resources and their Future.* LithoCrafters Inc., Chelsea, Michigan.
- Rodrigues, G., Paraíba, L., Buschinelli, C. não publicado. Análise da carga contaminante por pesticidas e nitrato para as águas subterrâneas no Estado de São Paulo.
- Rudolph, D. Kachanoski, G; Wesenbeeck, I; Barton, D; Parkin, G; Hirata, R; Cey, E. 1997. *Partitioning of solutes from agricultural fields within the hydrologic system at two sites in Southern Ontario and the subsequent impact on adjacent aquatic ecosystems.* Final Report. University of Waterloo. Waterloo. 734p.
- São Paulo. 1990. Plano Estadual de Recursos Hídricos: Primeiro Plano do Estado de São Paulo. Síntese. São Paulo, DAEE. 97p.

- Sheffiled, L.F. 1988. O crescimento da irrigação nos Estados Unidos e mudanças na tecnologia da irrigação visando ao aumento da eficiência da utilização da água e a redução da mão-de obra pelos irrigadores. *In: Seminário Internacional Modernização Agrícola e Emprego: O Caso do Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil. Anais.....Brasília, Programa Nacional de Irrigação (PRONI), 1989: 63-67.*
- Simas, J.R. 1988. Política Nacional de Irrigação - Perspectivas para o Ano 2000 - Demandas Energéticas e Hídricas. *In: Seminário Internacional Modernização Agrícola e Emprego: O Caso do Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil. Anais.....Brasília, Programa Nacional de Irrigação (PRONI), 1989: 69-85.*
- U.S. Environmental Protection Agency. 1992. *Pesticides in ground water database: A compilation of monitoring studies, 1971-1991, National Summary (EPA/734/12-92-001).*
- United State Geological Survey. s/d. Pesticides in Groundwater: Current Understanding of Distribution and Major Influences. Technical Pamphlet.