# O ESTADO DA ARTE DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

*Patrícia Angélica Alves Marques, José Antônio Frizzone, Marconi Batista Teixeira*

*Prof. Dr. Universidade do Oeste Paulista Agronomia UNOESTE Rod Raposo Tavares, km 572, CEP 19067-175 Presidente Prudente –SP E-mail: pmarques@unoeste.br; Prof. Dr. Departamento de Engenharia Rural DER/ESALQ/USP Av. Pádua Dias, 11. Piracicaba, SP; Aluno curso Pos Graduação em Irrigação e Drenagem, DER ESALQ/USP Av. Pádua Dias, 11. Piracicaba, SP.*

**RESUMO**

O interesse pelo sistema de gotejamento subsuperficial vem crescendo devido às necessidades atuais de novas tecnologias que apresentem maior eficiência na aplicação da água e permitam o reuso de águas residuárias. Esse tipo de sistema permite o aumento de produção e da eficiência do uso dos nutrientes, mas ainda não foi pesquisado de forma abrangente e detalhada, apesar de já haver milhares de hectares irrigados com esse tipo de sistema no mundo. Na literatura consta a predominância do uso desse tipo de sistema na cultura do tomate, e o Brasil é um dos paises que pesquisam o assunto. Outra cultura em que esse tipo de sistema é utilizando é o algodão, com uma pesquisa ampla nos Estados Unidos.O gotejamento subsuperficial também se destaca na irrigação com águas residuárias, por evitar o contato com as plantas e com as pessoas. Vem sendo aplicado em áreas gramadas dos Estados Unidos, Canadá e Europa. O principal objetivo deste trabalho é caracterizar e descrever o estado da arte do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em âmbito mundial, buscando a visualização do seu uso na agricultura atual, de suas vantagens e desvantagens.

**Palavras-chave:**irrigação localizada, gotejamento subsuperficial, estado da arte.

## STATE OF THE ART OF SUBSURFACE DRIP IRRIGATION SYSTEMS

**ABSTRACT**

There is a growing interest for the subsurface drip irrigation system due to the need for new technologies that present larger water application efficiency and allow the wastewater reuse. This kind of system allows to increase both, the plant production and the nutrient use efficiency, but it was not completely researched in full detail , despite there are thousands of hectares irrigated by that kind of system all over the world. The bibliographic references show a predominance of the system use in tomato crop, and Brazil is one of the countries rethe matter . Cotton is another crop in which subsurface drip irrigation systems are largely used, with a wide research in the United States. This kind of system is also highlighted for wastwater reuse, because it avoids the wastewater contact with plants and humans. It is being applied in the irrigation of grasslands of the United States, Canada and Europe. The main objective is to characterize and to describe the state of the art of the subsurface drip irrigation systems all over the world, trying to show its current use in agriculture, and also its advantages and disadvantages.
**Key-words:** localized irrigation, subusurface drip irrigation, state of the art.

## INTRODUÇÃO

A escassez em qualidade e quantidade de recursos hídricos gera ao agricultor a necessidade de recorrer ao uso de águas de qualidade inferior, tal como águas residuárias ou com alto teor de sais. Como conseqüência têm-se desenvolvido novos sistemas de gotejamento para adaptar-se a estas novas situações (Juan, 2000). O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial é definido por Azevedo (1986) e Keller & Bliesner (1990) como o tipo de sistema de irrigação que tem o solo como meio de propagação da água, no qual os emissores ficam sob a superfície do solo e dentro da camada que representa a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas. De acordo com Gornat & Nogueira (2003), o interesse por esse sistema cresce devido ao aumento de produção, da eficiência do uso da água e dos nutrientes. Entretanto, ainda não foi pesquisado de forma abrangente e detalhada, apesar de já haver milhares de hectares irrigados com esse tipo de sistema. Em função disso, as decisões a respeito da instalação, operação e manejo desse sistema são tomadas sem o embasamento em informações oriundas de pesquisa.

O principal objetivo buscado é maximizar a eficiência do uso da água, e a maior difusão do gotejamento subsuperficial tem ocorrido nas regiões em que o solo tem grande escassez de água, e também em locais sob condições climáticas determinantes de grande evapotranspiração, como o oeste dos EUA e Israel (Juan, 2000). Atualmente há necessidade de novas tecnologias que permitam o uso de águas residuárias ou com alto de teor de sais, de modo controlado e respeitando o ambiente. O presente trabalho tem por objetivo caracterizar e descrever o estado da arte do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, buscando uma melhor divulgação das vantagens e desvantagens do uso deste sistema.

## DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

A técnica de irrigação por gotejamento surgiu em Israel, principalmente devido à escassez de recursos hídricos (Manfrinato, 1985).A irrigação por gotejamento tem se desenvolvido rapidamente desde os anos 60 com o advento das modernas indústrias de plástico. Nos Estados Unidos teve início aproximadamente em 1959, especialmente na Califórnia e Hawai, sendo que de 1981 ate 1995 a área irrigada por gotejamento passou de 185.000 ha para mais de 1.000.000 ha (5% do total da área irrigada) (Ayars et al., 1999).

## VANTAGENS DO USO DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

A primeira instalação de sistema de irrigação subsuperficial ocorreu na década de 60, em Israel. O sistema apresentou problemas com entupimento, especialmente por penetração de raízes em emissores tipo espiral (Dasberg & Bresler, 1985). De acordo com Dasberg & Bresler (1985); Keller & Bliesner (1990); Tallens (1994); Ayars et al. (1999) e Juan (2000) a técnica da irrigação subsuperficial foi redescoberta apresentando como principais vantagens:

- possibilidade do uso do mesmo sistema para diferentes culturas;
- redução do total de água requerida;
- melhor aproveitamento de água e nutrientes devido à aplicação diretamente na zona de maior massa radicular das plantas;
- redução da evaporação de água, da população de plantas daninhas e do acúmulo de sais na superfície devido à manutenção de 15-20 cm de solo seco na superfície;

- menor interferência em tratos culturais (capinas, pulverizações etc.) e na colheita das culturas;
- redução de danos mecânicos ao sistema de irrigação;
- percolações desprezíveis de água e sais solúveis abaixo da zona radicular;
- sistema radicular mais profundo e menores perdas de nitrato abaixo da zona radicular;
- eliminação do problema de crostas superficiais impermeabilizantes do terreno, e de escoamento superficial, com aumento da uniformidade de infiltração;
- menor incidência de doenças por evitar o contato da água com as folhas.

Gornat & Nogueira (2003) comentam que, com relação às tubulações e conexões, os principais problemas na irrigação localizada relacionam-se ao corte ou desligamento provocado por instrumentos de trabalho manuais ou mecanizados usados nos tratos culturais. No sistema de gotejamento subsuperficial, esse tipo de problema praticamente não ocorre pois as linhas de gotejadores estão enterradas.

**PROBLEMAS DO USO DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL**

A principal limitação do gotejamento subsuperficial geralmente é relacionada ao estabelecimento inicial da cultura. Por não umedecer a superfície do solo, o sistema não proporciona condições satisfatórias de umidade para a germinação de sementes ou pegamento de mudas. Portanto, é necessário o uso de um segundo sistema de irrigação na fase inicial, freqüentemente por aspersão, o que aumenta os custos e reduz o retorno econômico (Camp, 1998; Pavero, 2002; Gushiken, 1995).

Os sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial exigem boa filtragem e é imprescindível o uso de ventosas de duplo efeito em todos os pontos altos do sistema para prevenir sucção e entrada de solo na tubulação, especialmente em declives acentuados. A instalação de tubos secundários de lavagem que conectam os finais de todas as laterais facilita a limpeza rápida das mesmas. Existem gotejadores com dispositivos anti-sucção, estes gotejadores são constituídos de uma esfera que se movimenta dentro do pequeno tubo que compõe o corpo do gotejador, vedando totalmente a entrada de ar e de solução de solo (Gornat & Nogueira, 2003).

**ENTUPIMENTOS**

As partículas de solo, precipitados químicos e partículas biológicas podem causar entupimentos, tornando o sistema de filtração uma das partes críticas do sistema. Quando o pH da água for muito alto, ocorrerá a precipitação de substâncias químicas, como carbonato de cálcio. Para minimizar esta formação de precipitados geralmente é injetado ácido na água de irrigação para abaixar seu pH. Para Ayers & Westcot (1991), o método mais eficaz para se impedir as obstruções provocadas pela precipitação de $CaCO_3$, é controlar o pH da água e limpar periodicamente o sistema, com ácido clorídrico ou ácido sulfúrico. Já as partículas biológicas como algas e lodo de bactéria são eliminadas através de injeção de cloro (Resende et al., 2004).

De acordo com Juan (2000) o entupimento por raízes é bastante desigual e dependente do tipo de solo e do tipo de emissores. Tem-se comprovado que é mais freqüente em solos argilosos que nos franco arenosos, provavelmente porque as raízes buscam no interior do ramal não a água, mas sim o oxigênio dissolvido, que é escasso nesses terrenos. Dasberg & Bresler (1985); Pavero (2002) e Qassim (2003) comentam que a penetração de raízes nos emissores

subsuperficiais não é um problema se o sistema for operado freqüentemente, causando uma permanente saturação no solo da área próxima aos emissores, de modo que as raízes não podem penetrar. A adição de herbicidas à água de irrigação por curtos períodos também pode prevenir o entupimento por raízes.

**DOENÇAS**

Silva et al. (1999) estudaram o efeito de seis cultivares de tomate utilizando a fertirrigação e observaram que a taxa de podridão de frutos foi muito menor que a taxa normalmente observada em irrigação por aspersão. Não foram necessárias aplicações de fungicidas, diminuindo o custo de produção e ajudando a proteger o meio ambiente. Em condições normais são requeridas 4 a 6 aplicações de fungicida em tomates irrigados por aspersão e 2 a 4 aplicações em tomates irrigados por gotejamento superficial. Também com tomate, Marouelli & Silva (2002), compararam a irrigação por aspersão com várias profundidades dos emissores em gotejamento, observando que a incidência de podridão dos frutos foi de 112% e 453% maior na aspersão que no gotejamento superficial e subsuperficial respectivamente.

**PROFUNDIDADE E ESPAÇAMENTO DE INSTALAÇÃO DA LINHA LATERAL**

A profundidade ideal para instalação da linha lateral, depende de vários fatores, especialmente das características físicas, hídricas e químicas do solo. Assim, solos profundos, férteis e com alta condutividade hidráulica não saturada permitem maiores profundidades de instalação da lateral (Marouelli & Silva, 2002). A germinação das sementes, o estabelecimento, o crescimento de mudas e a existência de camadas de solo que interferem no movimento ascendente da água também são fatores que afetam a profundidade da linha lateral (Phene et al., 1983). As profundidades das linhas laterais variam de 0,20 m a 0,70 m dependendo do solo e da cultura. Nos casos em que a cultura não é considerada (por exemplo: grama e alfafa), as profundidades às vezes variam de 0,10 m a 0,40 m (Phene et al., 1983; Qassim, 2003). Já Dasberg & Bresler (1985) consideraram que emissores subsuperficiais aos 15-30 cm são suficientes para a maioria das culturas e não interferem nos tratos superficiais e na colheita. Como regra geral, Camp (1998) sugere que a profundidade deve ser suficiente para que não haja afloramento de umidade na superfície do solo e que as operações de preparo possam ser realizadas sem causar danos as laterais, haja visto que a lateral deve permanecer instalada no campo.

Alam et al. (2002) estudaram o uso de irrigação por gotejamento subsuperficial em alfafa no Kansas e observaram que não houve diferença significativa para duas profundidades estudadas (0,46 m e 0,30 m). Gornat & Nogueira (2003) compararam o desempenho de quatro culturas (banana, mamão papaya, coco e maracujá) os sistemas de irrigação localizada convencional e subterrânea, em diferentes regiões do Brasil; em todas as culturas, as laterais de gotejamento subsuperficial foram enterradas em profundidades entre 20 e 30 cm. Os autores também observaram que, com o gotejamento subsuperficial, o desenvolvimento de raízes foi mais denso e mais profundo no volume de solo molhado pelos gotejadores e a maior parte das raízes esteve entre 15 e 45 cm. No gotejamento subsuperficial não houve desenvolvimento de raízes na camada seca superior de 0 a 15 cm. No sistema de irrigação por microaspersão, o sistema radicular foi muito superficial e limitado à camada de 0 a 15 cm, tendo adaptado-se à profundidade de infiltração da água aplicada pelos microaspersores. No

sistema de gotejamento superficial, o sistema radicular desenvolveu-se principalmente na camada de 0 a 20 cm.

Em relação ao espaçamento da linha lateral, algumas culturas de alto valor econômico podem requerer espaçamentos menores entre linhas laterais em solo arenosos e/ou em áreas áridas, para assegurar um adequado equilíbrio entre sais, qualidade de colheita e produção consistente. Maiores espaçamentos entre linhas laterais são possíveis em áreas úmidas, com produções aceitáveis em anos com chuva moderada e redução de produtividade em anos com períodos significativos de seca, especialmente em culturas como o milho (Phene et al., 1983). Devitt & Miller (1988), pesquisaram vários espaçamentos das linhas laterais em dois tipos de solo dos Estados Unidos, utilizando água salina para irrigar grama, concluindo que um espaçamento de 0,6 m entre laterais foi aceitável para um solo argilo-arenoso. No entanto, para um solo arenoso os autores recomendaram a redução desse espaçamento. Ayars et al. (1995) estudaram o efeito da localização da linha de gotejadores no Kansas (EUA) para cinco tipos de tubos gotejadores e observaram que a produtividade das culturas avaliadas não foi afetada pela localização da linha de gotejadores.

## APLICAÇÕES E PRINCIPAIS CULTURAS

A irrigação por gotejamento subsuperficial é utilizada em diversas culturas, tais como cana-de-açúcar, algodão, melão, batata e numerosas hortaliças, comprovando-se que aumenta a produção e a qualidade, diminui os custos de produção e se adapta bem a uma ampla variedade de climas e solos (Bucks et al., 1981; Dasberg & Bresler, 1985; Juan, 2000). Na tabela 1 são apresentadas algumas culturas utilizadas em experimentos com irrigação por gotejamento subsuperficial.

A respeito do uso da irrigação por gotejamento subsuperficial em tomate no Brasil, Silva & Marouelli (1999) comentaram que na década de 90 a maioria dos cultivos de tomate para processamento industrial foi irrigada por sistemas de aspersão, principalmente por pivô central, com produtividades superiores a 75 Mg $ha^{-1}$. Devido a problemas como a falta de bom manejo da água, falta de um esquema eficiente de rotação de culturas e ocorrência de diversas doenças, os produtores procuraram por sistemas alternativos de irrigação. Recentemente vem sendo utilizada a fertirrigação subsuperficial, que tem favorecido altas produtividades em diversos cultivares e híbridos de tomate para processamento, acima de 98 Mg $ha^{-1}$, associada à baixa ocorrência de doenças e baixa taxa de podridão de frutos. Para a cultura do melão vários autores vêm desenvolvendo pesquisas no Brasil, entre eles Sousa et al. (1999); D'Albuquerque Júnior (2003) e Folegatti et al.(2004).

**Tabela 1.** Culturas em experimentos com irrigação por gotejamento subsuperficial.

| Cultura | Autor |
|---|---|
| Alface | Sandri et al., 2006 |
| Alfafa | Zoldoske et al., 1995; Hutmacher et al, 1998; Ayars et al., 1999; Hutmacher et al., 1998; Alam et al., 2002 |

| | |
|---|---|
| Algodão | Bucks et al., 1981; Dasberg & Bresler, 1985; Smith et al., 1991; Phene et al., 1992; Henggeler, 1995; Ayars et.al, 1995; Ayars et al., 1999; Juan, 2000 |
| Banana | Gornat & Nogueira, 2003 |
| Batata | Bucks et al., 1981; Dasberg & Bresler, 1985; Juan, 2000; Detar et al., 1998 |
| Café | D'Albuquerque Júnior et al., 2003 |
| Cana-de-açúcar | Bucks et al., 1981; Dasber & Bresler, 1985; Juan, 2000; Resende, 2003; Resende et al., 2004 |
| Cebola | Bucks et al., 1981 |
| Cenoura | Bucks et al., 1981 |
| Citrus | D'Albuquerque Júnior et al., 2003 |
| Coco | Gornat & Nogueira, 2003 |
| Gramado | Devitt & Miller, 1988; Gusihiken, 2003 |
| Mamão | Gornat & Nogueira, 2003 |
| Maracujá | Gornat & Nogueira, 2003 |
| Melão | Bucks et al., 1981; Sousa et al., 1999; D'Albuquerque Júnior, 2003; Folegatti et al., 2004 |
| Milho | Wendt et al., 1977; Dhuyvetter et al., 1995; Ayars et al., 1999 |
| Pêra | Detar et al., 1996 |
| Pimentão | Silva et al., 1999 |
| Pupunha | Santos et al., 2001; Ferreira et al., 2004 |
| Tomate | Rose et al., 1982; Phene et al. 1983; Phene at al., 1987; Bogle et al., 1989; Phene et al., 1990; Ayars et.al, 1995; Ayars et al., 1999; Silva et al., 1999; Phene, 1999; Silva e Marouelli, 1999; Marouelli e Silva; 2002 |
| Sorgo | Colaizzi et al., 2004 |
| Uva | Zoldoske et al., 1998 |

Ayars et al. (1999) fizeram uma revisão e apresentaram dados para irrigação e fertilização no manejo de tomate, algodão, milho doce e alfafa. Os resultados desses estudos mostraram significantes aumentos na produtividade e na eficiência do uso de água em todas as culturas. Santos et al. (2001) avaliaram o comportamento produtivo do primeiro ano da pupunheira, comparando a irrigação por microaspersão e o gotejamento subsuperficial na região noroeste do Estado de São Paulo. Os resultados obtidos demonstraram que as produções nos dois tratamentos foram iguais. Quando estudada a produtividade potencial da pupunheira, para a mesma região, Ferreira et al. (2004) observaram que os resultados mostraram que o sistema de gotejamento subsuperficial proporciona uma maior produtividade potencial de palmito (3,91 Mg $ha^{-1}$), que o sistema de microaspersão (3,60 Mg $ha^{-1}$).

## APLICAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Águas residuárias urbanas, proveniente de sistemas de tratamentos secundários e terciários vêm sendo cada vez mais utilizadas para irrigação. Porém, seu uso gera preocupações devido ao potencial de risco de contaminação do lençol freático por nitrato.

O aproveitamento de águas residuárias na agricultura, além de constituir numa pratica de reuso de água e preservação da qualidade dos recursos hídricos, traz outros benefícios como a contribuição para a nutrição de culturas agrícolas e florestais, pelo fato dos efluentes possuírem alguns elementos essenciais às plantas (Feigin et al., 1991; Santos, 2004). Em determinadas épocas do ano a água residuária pode ser uma importante fonte de água para as culturas. Entretanto, apesar dos benefícios concretos com o aproveitamento do efluente na agricultura, a presença de alguns constituintes como o sódio (Na) e metais pesados, é indesejável. Os metais pesados são motivo de preocupação principalmente na utilização de efluentes industriais ou com o uso de efluentes domésticos por longo período de tempo, pois podem se acumular no solo ou serem lixiviados para águas subterrâneas. O teor de sódio em solos agrícolas pode aumentar com a adição de efluente alterando certas características químicas, influenciando direta ou indiretamente o desenvolvimento das plantas. A dispersão de

argilas é uma das causas de redução da porosidade do solo, condutividade hidráulica, taxa de infiltração e da destruição da estrutura do solo (Feigin et al., 1991; Bond, 1998).

A irrigação com águas residuárias comumente resulta em incremento da sodicidade devido à média-alta salinidade e altas concentrações de sódio de muitos efluentes (Balks, 1998). Santos (2004) estudando o efeito da irrigação com efluentes de esgoto tratado nas propriedades físico-químicas de um argissolo vermelho distrófico, observou maior acidificação do solo com aumento dos teores de alumino trocável devido à acidificação.

Sandri et al. (2006) estudando os teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária observaram que a parte aérea da alface apresentou teores de sódio e de enxofre maiores que o máximo adequado na parte aérea da alface e o magnésio menor, enquanto para os demais elementos químicos foram normais e adequados, considerando os padrões para plantas bem nutridas, não sendo influenciados pelo tipo de água. O sódio foi o elemento químico que apresentou a maior elevação na parte aérea nos tratamentos irrigados com água residuária. Sousa et al. (2006) avaliaram o desempenho da cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.), submetida à irrigação com água de poço; irrigação com efluente de lagoa de polimento e irrigação com efluentes de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB). A cultura do pimentão com adubação orgânica apresentou a maior produtividade (38,3 t $ha^{-1}$); outrossim, não houve diferença significativa em relação ao peso médio dos frutos e à área foliar, entre os tratamentos com adubação mineral, adubação com vermicomposto e fertirrigação com efluente do reator UASB, mas a menor produtividade ocorreu com o tratamento 4, irrigado com efluente de lagoa de polimento. Os teores de sódio aumentaram em todos os tratamentos, verificando-se diferença significativa entre a média das concentrações, antes e depois do experimento. O sódio presente na água de irrigação favoreceu a elevação da porcentagem de sódio trocável (PST) no solo, afetando suas propriedades físicas e químicas e dificultando a atividade da água a ser utilizada pela planta.

Devido ao fato da irrigação por gotejamento subsuperficial aplicar a água diretamente na zona radicular, este sistema é bastante eficiente na minimização de perdas evaporativas, além de reduzir os riscos de lixiviação do íon nitrato e de transmissão de doenças causadas por fungos e bactérias, possibilitando o seu uso para aplicação de águas residuárias (Phene et al., 1995, Resende, 2003).

Gushiken (1995) pesquisou o reuso de água e comentou que o contínuo esforço para conservar a água potável leva à busca de fontes alternativas de água para irrigação. Comenta também que, no Havaí, a aplicação de água residuária por gotejamento subsuperficial em de campos de golfe e grandes áreas de jardim é considerado uma alternativa tecnologicamente viável de irrigação e apresenta as seguintes vantagens: a) minimiza riscos de saúde associados ao contato com águas residuárias; b) elimina a desvantagem da dispersão pelo vento associada ao uso de aspersores convencionais, especialmente próximo a residências; c) é um método muito aceito de reuso da água, tanto do ponto de vista psicológico como político; d) elimina odores incômodos, poças e problemas de escoamento superficial; e) tem relação custo/beneficio favorável se comparado a outros métodos de dispersão de águas residuárias. Como limitação, porém, necessita de mão-de-obra qualificada para garantir o manejo adequado.

## COMPARAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

De acordo com Camp (1998); Silva et al. (1999) e Juan (2000), a irrigação por gotejamento subsuperficial maximiza as vantagens do gotejamento e permite sua utilização em grande número de cultivos. Phene (1999) comentou que a variabilidade espacial do solo é comumente maior na superfície do solo, devido às as práticas culturais, à compactação, à oxidação de compostos orgânicos e à aplicação de água e produtos químicos, que modificam as propriedades físicas e químicas do solo natural. Essas mudanças podem afetar grandemente a infiltração de água na superfície, que pode parar em locais de baixa infiltração, nos quais as plantas são colocadas simultaneamente em estresse por excesso de água e por aumento da salinidade. O uso da irrigação por gotejamento subsuperficial minimiza os efeitos da variabilidade espacial.

Vários autores constataram vantagens da irrigação por gotejamento subsuperficial sobre outros sistemas de irrigação em várias condições de manejo. Ao comparar a irrigação por gotejamento subsuperficial com sistemas de irrigação por gotejamento superficial, pesquisas desenvolvidas em várias partes do mundo constataram aumento na produtividade das culturas sob irrigação por gotejamento subsuperficial (Phene et al., 1987; Buck et al., 1981; Camp, 1998; Oron et al., 1991; Hutmacher et al., 1998).

Bucks et al. (1981) não encontraram diferenças significativas nas produtividades em melão, cebola e cenoura obtidas com sistemas de gotejamento subsuperficial, gotejamento tradicional e sulcos. Detar et al. (1996) realizaram estudos comparativos de produtividade com as cultura da pêra, no Estado da Virgínia (EUA), e da batata, na Califórnia. Os autores observaram que a produtividade de ambas as culturas foi maior com gotejamento subsuperficial, se comparadas com a irrigação por aspersão. . Hutmacher et al. (1998) demonstraram o aumento na produtividade da alfafa usando irrigação por gotejamento subsuperficial a 70 cm.

Vários trabalhos têm sido realizados com fertirrigação na irrigação por gotejamento subsuperficial, tanto em tomateiro industrial (Phene et. al., 1987; Phene et al., 1990) quanto em tomateiro estaqueado e pimentão (Silva et al., 1999). Segundo Phene et al. (1987), a irrigação subterrânea para tomateiro industrial apresenta uma série de vantagens, tendo sido obtida produtividade próxima a 200 Mg $ha^{-1}$, na Califórnia. Considerando que a média de produtividade do tomateiro industrial no Brasil situa-se abaixo de 50 Mg $ha^{-1}$ e que bons produtores que utilizam pivôs centrais raramente conseguem mais de 70 Mg $ha^{-1}$, é tentador buscar novas tecnologias de irrigação para maximizar o lucro na atividade. Rose et al. (1982) e Bogle et al. (1989) também estudaram a irrigação do tomateiro e observaram aumento significativo na produtividade com o uso da irrigação por gotejamento subsuperficial e manejo preciso da fertilidade. Silva et al. (1999) estudaram o efeito de seis cultivares de tomate utilizando a fertirrigação e observaram que a taxa de podridão de frutos foi muito menor que a taxa normalmente observada na irrigação por aspersão em tomates.

Em sua pesquisa Smith et al. (1991) observou um aumento de produtividade no algodão ao usar irrigação por gotejamento subsuperficial. Segundo Phene et al., (1992), a produtividade de algodão foi maior com irrigação por gotejamento subsuperficial do que com irrigação por sulco em um solo siltoso, mas não foi diferente em um solo arenoso; no entanto, o consumo de água com a irrigação por gotejamento subsuperficial reduziu-se em 40%. Também com a cultura do algodão, Henggeler (1995), obteve aumento de 20% na produtividade

com irrigação por gotejamento subsuperficial, quando comparado com irrigação por sulco, em vários municípios no oeste do Texas.

Em estudos comparativos com irrigação por gotejamento subsuperficial e por aspersão, Henggeler (1995) constatou que as produtividades de alfafa foram semelhantes nos dois sistemas. Zoldoske et al. (1995) avaliaram o desempenho de dois sistemas de irrigação – gotejamento subsuperficial e aspersão - para a cultura de grama, concluindo que o custo de manutenção e o uso de água foram maiores com o uso da aspersão.

## EFICIÊNCIA DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

Com o aparecimento da irrigação por gotejamento surgiu a necessidade de se conhecer melhor o que ocorre com a distribuição de umidade do solo no momento da infiltração, pois é um processo de irrigação mais demorado e em quantidades reduzidas de água (Manfrinato, 1985). Economia de água e alta eficiência no seu uso podem ser obtidas por sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial (Phene et al., 1983; Phene, 1999).

Sadler et al. (1995) comentaram que critérios de projeto para sistemas de irrigação são otimizados em função da uniformidade de aplicação. Então, a uniformidade de aplicação é uma ferramenta importante para avaliar a operação e a vida útil do sistema. Medir a uniformidade de aplicação de água em sistemas de aspersão envolve coletores localizados dentro da área irrigada; para sistemas de gotejamento de superfície realiza-se uma adaptação direta desta técnica. Estender a adaptação para sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial requer que os emissores sejam escavados, considerando que o efeito do solo ao redor do emissor seja desprezível. Os autores observaram que escavar emissores para medir uniformidade não causou erros significativos no cálculo de uniformidade de aplicação.

De acordo com Phene (1999) a irrigação por gotejamento subsuperficial apresenta várias características que podem contribuir para maximizar a eficiência de irrigação, quais sejam: diminuição da evaporação de água do solo e da percolação profunda, e eliminação do escoamento superficial. Na irrigação por gotejamento subsuperficial a água é aplicada abaixo da superfície do solo, promovendo assim culturas com raízes profundas. Essas raízes podem minimizar ou prevenir a percolação profunda.

Ayars et al. (1999) realizaram uma revisão em que apresentaram dados para irrigação e fertilização no manejo de tomates, algodão, milho doce e alfafa, concluindo, após 9 anos de operação da irrigação por gotejamento subsuperficial, que a uniformidade pode ser tão boa como na instalação se o manejo promover a prevenção da penetração das raízes.

## FORMAÇÃO DO BULBO MOLHADO

O padrão de umedecimento ao redor do emissor subsuperficial pode ser manejado por meio da freqüência de irrigação. Por exemplo, se o interesse é movimentar a água para maior volume, a freqüência de irrigação deverá ser aumentada (Phene et al., 1987). Segundo estudos desenvolvidos por Ben-Asher & Phene (1993), num solo de textura franco argilosa, o volume do bulbo molhado do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial foi 46% maior que do bulbo molhado do sistema de irrigação por gotejamento superficial. Da mesma forma a superfície molhada para uso das raízes, que corresponde ao bulbo do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, foi 62% maior que no sistema de irrigação por gotejamento superficial.

## MODELOS DE FLUXO DE ÁGUA NO SOLO

Existem alguns modelos matemáticos específicos sobre o assunto, entretanto ainda não estão bem compreendidos e precisam ser testados e avaliados para diferentes condições do ambiente. Um modelo unidimensional e dinâmico de simulação para automatização de um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial foi desenvolvido por Van Bavel et al. (1973). Gilley & Allred (1974) combinaram uma solução analítica com um modelo de extração de água pelas plantas para determinar a profundidade das linhas laterais em espaçamentos predeterminados. Warrick et al.(1980) relataram um modelo matemático para descrever a umidade linearizada em fluxo tridimensional, com a extração de água pelas raízes sob condições estacionárias (constante) para várias fontes de irrigação por gotejamento subsuperficial.

Ben-Asher et al. (1986) propuseram um modelo com base analítica, que assume que o bulbo molhado formado por um gotejador posicionado na superfície do solo tem a forma aproximada de uma semi-esfera; o raio molhado deste bulbo é calculado em função da vazão do gotejador e da variação do teor de água antes da irrigação, e o maior teor de água após a irrigação. Ben-Asher & Phene (1993a), apresentaram um modelo numérico para análise bidimensional do fluxo da água na irrigação por gotejamento superficial e no sistema de irrigação por gotejamento enterrado. Os autores sugerem que o modelo pode ser usado como uma primeira aproximação em projeto, especialmente para determinar a profundidade da linha lateral e o espaçamento entre emissores.

Para Schwartzmass & Zur (1985) o volume de solo molhado depende da condutividade hidráulica do solo, da vazão do emissor e do total de água aplicado no solo. Keller & Bliesner (1990) citam o uso de modelos matemáticos, tais como o de Schwartzmass & Zur (1985) mas sugerem cautela no uso dos mesmos, dada a variabilidade espacial das propriedades físicas do solo.

## FERTIRRIGAÇÃO

Nos anos 60 foram desenvolvidos os primeiros sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial em Israel, juntamente com sistemas de injeção de fertilizantes (Goldberg & Shmueli, 1970). Os nutrientes das plantas são usados pelas culturas quase continuamente durante a época de seu desenvolvimento. Devido ao sistema irrigação por gotejamento subsuperficial estar usualmente no meio da região do solo com maior concentração de raízes, há uma potencial vantagem devido ao fato de a água e os fertilizantes poderem ser completamente explorados. Por exemplo, se nutrientes diluídos são freqüentemente aplicados na zona radicular em taxas iguais às que as culturas absorvem, o fertilizante é absorvido eficientemente, a aplicação de fertilizante pode ser reduzida e o potencial de perdas de nutrientes solúveis por lixiviação pode ser controlado (Phene, 1999).

Silva et al. (1999) estudaram o efeito da irrigação subsuperficial em tomates e observaram que o uso da fertirrigação em gotejamento subsuperficial tem gerado muitos resultados desejáveis, tais como alta produtividade e qualidade dos frutos em todos os cultivos.

## VIABILIDADE ECONÔMICA

Uma das maiores limitações do uso da irrigação por gotejamento subsuperficial é seu alto custo inicial (Qassim, 2003). A irrigação por

gotejamento é um sistema fixo, cujo custo elevado limita seu uso para culturas nobres, com alta capacidade de retorno. Além disso, exige alto investimento em obras e aquisição de equipamentos para captação, condução, controle e distribuição da água, devendo ser considerados gastos com energia e mão-de-obra para operação e manejo do sistema, que representam importantes custos adicionais à produção (Silva et al., 2003). A viabilidade econômica é um fator indispensável para sua adoção pelos agricultores, isto é, os custos gerados pelo uso do sistema de irrigação devem ser pagos pelo incremento de produtividade proporcionado pelo fornecimento de água às plantas (Frizzone et al., 1994).

Zoldoske et al. (1998) afirmam que os sistemas de gotejamento enterrados, tanto para culturas de ciclo curto quanto para as culturas perenes, poderão ter vida útil igual ou superior a 20 anos. Resende (2003) comentou que a não reutilização do material ao final de sua vida útil resulta em um problema adicional ao sistema aumentando seu custo.

Phene (1999) relatou que, em pesquisas com tomate para processamento (Var. UC-82B) na Califórnia, foram alcançadas produtividades total acima de 200 toneladas por ha e comercial acima de 145 toneladas por ha., promovendo a viabilidade da irrigação subsuperficial.

Dhuyvetter et al. (1995) realizaram uma análise econômica para examinar a viabilidade de irrigação de milho em Kansas, na qual o uso de sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial levou a menores lucros que no uso de pivô central. Os resultados não apresentaram sensibilidade em relação a custo de bombeamento e eficiências de aplicação, mas foram muito sensíveis ao investimento inicial, à vida útil do sistema e ao rendimento da cultura do milho. Pavero (2002) observou, em suas comparações econômicas entre pivô central e irrigação por gotejamento subsuperficial, que a análise do custo é sensível ao acréscimo de produção esperado, ao valor da água economizada e à vida útil do sistema de irrigação. Alguns destes fatores são relativamente incertos, pois a irrigação por gotejamento subsuperficial é uma tecnologia relativamente nova e a vida útil destes equipamentos é desconhecida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAM, M. et al. Subsurface drip irrigation for alfalfa. **Journal of the American Water Resources Association,** v.38, n.6, p.1715-1721, 2002. (AWRA Paper Number 01195).

AYARS, J.E.; et al. Subsurface drip irrigation of rows crops: a review of 15 years of research at the water management research laboratory. **Agricultural Water Management,** n.42, p. 1-27, 1999. http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00025-6

AYARS, J.E.; et al. Impact of bed location on the operation of subsurface drip irrigation systems In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, St. Joseph. **Proceddings...** St. Joseph: ASAE, 1995. p.141-146.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

AZEVEDO, H.M. Irrigação localizada. **Informe Agropecuário**, v.12, n.139, p.40-53, julho 1986.

BALKS, M.R. et al. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. **Australian Journal**

**of Soil Research,** v.36,p.821-830, 1998. http://dx.doi.org/10.1071/S97064

BEN-ASHER, J.; PHENE, C.J. The effect of surface drip irrigation on soil water regime evaporation and transpiration. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IRRIGATION, 6, 1993, Tel-Aviv, Israel, **Proceedings...** Tel-Aviv: 1993a, p.35-42.

BEN-ASHER, J.; PHENE, C. J. Analysis of surface and subsurface drip irrigation using a numerical model. In WORKSHOP SUBSURFACE DRIP IRRIGATION, THEORY, PRACTICES AND APPLICATION, 1993b, California. **Proceedings...**California: California State University, 1993. p.185-202. (Publication. nº 92 1001).

BEN-ASHER, J.; et al. Infiltration and water extractiction from trikle irrigation source: The effective hemisphere model. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.50, n.4. p.882-887, 1986. http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000040010x

BOGLE, C.R. et al. Comparison of subsurface trickle and furrow irrigation on plastic-mulched and bare soil for tomato production. **Journal American of Society Horticultural Science**, v.114, n.1, p.40-43. 1989.

BOND, W.J. Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.543-555, 1998. http://dx.doi.org/10.1071/S98017

BUCKS, D.A. et al. Subsurface trickle irrigation management with multiple cropping. **Trasactions of ASAE**, v.24, n.6, p.1482-1489, 1981.

CAMP, C.R. Subsurface drip irrigation:a review. **Trasactions of ASAE**, v.41, n.5, p.1353-1376, 1998.

COLAIZZI, P.D. et al. Comparison of sdi, lepa, and spray irrigation performance for grain sorghum **Transactions of the ASAE**, v.47, n.5, p.1477-1492, 2004.

D'ALBUQUERQUE JÚNIOR, B.S. **Efeito da aplicação de $CO_2$ na água de irrigação em diferentes fases fenológicas da cultura do melão (*Cucumis melo* L. var Reticulates) cultivados em ambientes protegidos**. 2003. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

D'ALBUQUERQUE JÚNIOR, B.S. et al. Caracterização da intrusão radicular em, gotejadores enterrados nas culturas de café e citrus. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**,** 23., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2003. CD-ROM

DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Israel: International Irrigation Information Center (IIIC), 1985. 95p. (IIIC Publication n 9)

DETAR, W.R. et al. Real-time irrigation scheduling of potatos with sprinkler and subsurface drip systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION SCHEDULING, 1996, St Joseph. **Proceedings**... St Joseph: ASAE, 1996. p.812-824.

DEVITT, D.A.; MILLER, W.W. Subsurface drip irrigation of bermudagrass with saline water. **Applied Agricultural Research**, v.3, n.3, p.133-143, 1998.

DHUYVETTER, K.C. et al. Subsurface drip irrigation (SDI) for field corn - an economic analysis. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, St. Joseph. **Proccedings...**St. Joseph: ASAE, 1995. p.395-401.

FEIGIN, A. et al. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-74480-8

FERREIRA, E.J.S. et al. Estimativa da produtividade potencial da cultura da pupunha (*Bactris Gasipaes* HBK) irrigada no noroeste paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. CD-ROM

FRIZZONE, J.A. et al. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô-central, em culturas de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.5, n.1, p.34-53, 1994.

FOLEGATTI, M.V. et al. Qualidade física do melão fertirrigado com diferentes dosagens de potássio e lâminas de irrigação em gotejamento superficial e subsuperficial. **IRRIGA: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage,** v.9, n.1, p.52-61, jan-abril 2004.

GILLEY, J. R.; ALLRED, E. R. Infiltration and root extraction from subsurface irrigation laterals. **Transactions of the ASAE**, v.17, n.5, p.927-933, 1974.

GOLDBERG, D.; SHMUELI, M. Drip irrigation - a method used under arid and desert conditions of high water and soil salinity. **Transactions of the ASAE,** v.13, n.1, p.38-41, 1970.

GORNAT, B.; NOGUEIRA, L.C. **Avaliação da economia de água com irrigação localizada convencional e subterrânea em fruteiras tropicais**. Disponível em: <http://www.iica.org.uy/p2-4.htm>. Acesso em 15 jun. 2003.

GUSHIKEN, E.C. Irrigating with reclaimed water through permanent subsurface drip irrigation systems. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, St. Joseph. **Proccedings...**St. Joseph: ASAE, 1995. p.269-274.

HENGGELER, J. C. A history of drip-irrigated cotton in Texas. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, St. Joseph. **Proccedings...** St. Joseph: ASAE, 1995. p.669-674.

HUTMACKER, R.B. et al. Subsurface drip: improving alfafa irrigation in the west. **Irrigation Journal**, n.45, p.22-32, 1998.

JUAN, J.A.M.S. **Riego por goteo: teoría y práctica.** 4ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2000. 302p.

KELLER, J.; BLIESNER, I.D. **Sprinkler and trickle irrigation.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

MANFRINATO, H.A. A irrigação por gotejamento: influencia sobre as relações solo-água. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, n.22, p. 21-25, 1985.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Profundidade de instalação da linha de gotejadores em tomateiro para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.2, p.206-210, jun. 2002. http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362002000200018

ORON, G. et al. Subsurface microirrigation with effluent. **Journal Irrigation and Drainage Engineering,** v.117, n.1, p.25-36, 1991. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1991)117:1(25)

PAVERO, J. **Subsurface drip irrigation: Is it a good choice for your operation?** Published by University of Nebraska and the U.S. Department of Agriculture. Disponível em: <http://cropwatch.unl.edu/archives/2002/crop02-8.htm#top>. Acesso em 20 ago. 2004.

PHENE, C.J. Efficient irrigation systems and irrigation scheduling for processing tomato: the challenge **Acta Horticulturae**, v.487, p. 479-485, 1999.

PHENE, C.J.; RUSKIN, R. Potential of subsurface drip irrigation for management of nitrate in wastewater. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, St. Joseph. **Proccedings...** St. Joseph: ASAE, 1995. p.155-161.

PHENE, C.J. et al. Management of subsurface trickle irrigation systems. **ASAE Paper**, n.83-2598, 1983.

PHENE, C.J. et al. advantages of subsurface drip irrigation for processing tomatoes. **Acta Horticulturae,** n.200, p. 101-113, 1987.

PHENE, C.J. et al. Water-fertilizer management of processing tomatoes. **Acta Horticulture,** n.277, p.137-143, 1990.

PHENE, C.J. et al. Real-time irrigaton scheduling of cotton with an automated pan evaporation system. **Applied Engineering in Agriculture**, v.8, n.6, p.787-793, 1992.

QASSIM, A. **Subsurface irrigation: a situation analysis**. Published by Water Conservation and Use in Agriculture Jan. 2003. Disponível em: <http://www.wca-infonet.org/cds_upload/1058151636725_SUBSURFACE_IRRIGATION.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2006.

RESENDE, R.S. **Intrusão radicular e efeito de vácuo em gotejamento enterrado na irrigação da cana-de-açúcar.** 2003. 124f. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RESENDE, R.S. et al. Susceptibilidade à intrusão radicular de gotejadores convencionais na irrigação subsuperficial de cana-de-açúcar. **IRRIGA: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, v.9, n.2, p.150-165, maio-ago. 2004.

SADLER, E.J. et al. Emitter flow rate changes caused by excavating subsurface microirrigation tubing. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, St. Joseph. **Proccedings...** St. Joseph: ASAE, 1995. p.763-768.

SANDRI, D. et al. Nutrients levels in lettuce irrigated with wastewater applied by irrigation systems. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.45-57, Jan./Apr. 2006. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000100006

SANTOS, A.P.R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim tifton 85.** 2004. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SANTOS, R.A. et al. Avaliação do desempenho de dois sistemas de irrigação Localizada: microaspersão e gotejamento subsuperfície, durante o primeiro ano de produção de palmito pupunha (*Bactris Gasipaes* H.B.K.) na região noroeste paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., Foz do Iguaçu, 2001. **Anais...** Foz do Iguaçu, SBEA, 2001. CD-ROM

SCHWARTZMASS. M.; ZUR, B. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**.. v.3, p.242-253, 1985. (Paper ASCE 112)

SILVA, W.L.C. et al. Response of six tomato cultivars to subsurface drip fertigation. **Acta Horticulturae,** n.487, p.569-573, 1999.

SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A. State of the art of irrigation research on processing tomatoes in Brazil. **Acta Horticulturae**, v.487, p. 487-491, 1999.

SILVA, A.L. et al. Technical and economical viability of the use of drip irrigation system in coffee crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.37-44, 2003. http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662003000100007

SMITH, R.B. et al. Subsurface drip produced the highest net return in the Westland study area. **California Agricultural**, n.45, p.8-10, 1991.

SOUSA, V.F. et al. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no meio norte do Brasil.** Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 1999. 68p. (EMBRAPA Meio-Norte Circular Técnica, 21).

SOUSA, J.T. et al. Wastewater reuse in the production of green pepper. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.89-96, Mar. 2006 http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000100014

TALLENS, J.A.M**. Riego localizado y fertirrigacion.** Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1994. 363p.

VAN BAVEL, C.H.M. et al. Dynamic simulation of automated subsurface irrigation systems. **Transactions of the ASAE,** v.16, n.6, p.1095-1099, 1973.

WARRICK, A.W. et al. Linearized moisture flow with root extraction for three dimensional, steady conditions. **Soil Science Society American Journal,** v.44, n.5, p.911-914, 1980. http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050006x

ZOLDOSKE, D.F. et al. Subsurface drip irrigation (SDI) on turfgrass: a university experience. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, St. Joseph **. Preoccedings...** St. Jodrph: ASAE, 1995. p.300-302.

ZOLDOSKE, D.F. et al. **Evaluation of trellis system and subsurface drip irrigation for wine grape production:** a progress report. Desenvolvida por Center for Irrigation Technology, C 1998. (Publication n 980401) Disponível em: <http://cati.csufresno.edu/cit>. Acesso em: 20 jan. 2006.