

ARTIGO TÉCNICO

AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA DE BAIXA PRESSÃO, PROJETADO PELO SOFTWARE “BUBBLER”¹

IVAM H. DE SOUZA², EUNICE M. DE ANDRADE³, ELIO L. DA SILVA⁴

RESUMO: Conduziu-se este trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de um sistema de irrigação a baixa pressão, *bubbler*, em condições de campo. A avaliação consistiu de um estudo dividido em duas fases, em que, na primeira, foi elaborado o dimensionamento hidráulico do sistema de irrigação, com uso do programa computacional *Bubbler* versão 1.1, enquanto, na segunda fase, ocorreram a instalação e os testes de campo. Estabeleceram-se as alturas de 0,77; 0,71; 0,68 e 0,67 m na saída das mangueiras emissoras no campo, conforme recomendação do programa. Foram feitas as avaliações de vazão em cada mangueira emissora, para determinar o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), a Uniformidade de Distribuição (UD) e a Eficiência de Aplicação (EA). Os testes mostraram CUC igual a 96,64%, UD igual a 95,85% e EA igual a 86,98%. O sistema no campo proporcionou vazão média de 64,8 L h⁻¹ contra os 79,2 L h⁻¹ estabelecidos pelo programa. Os valores encontrados de vazão diferiram dos valores projetados pelo aplicativo, em consequência da variação dos diâmetros e das perdas de carga (linear e localizada) que apresentaram desvio-padrão de 0,23 m.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação *bubbler*, dimensionamento, uniformidade.

DESIGN AND HYDRAULICS EVALUATION OF A LOW-HEAD MICROIRRIGATION, BUBBLER SYSTEM

ABSTRACT: This work was done with the objective of evaluating a low-pressure irrigation system (bubbler system), under field conditions. This evaluation consisted of a study divided in two phases: in the first, the hydraulic design of the irrigation system was elaborated with the use of the software named *Bubbler* version 1.1; while, in the second phase the installation and the field tests were done. Volumetric tests were accomplished in each emission hose to determine: the flow variation, the coefficients of uniformity, and the application efficiency. It was established the heights of the emitter hose exit at 0.77; 0.71; 0.68 and 0.67 m, on the field, following the recommendation of the software. The tests showed a Christiansen's Uniformity Coefficient (CUC) of 96.64%, a Distribution Uniformity (DU) of 95.85% and an Application Efficiency (AE) of 86.98%. The system in the field provided a medium sewage of 64.8 L h⁻¹ against 79.2 L h⁻¹ established by the program. The found values for sewage differed from the values designed by the software, due to variation on pipe diameters and head losses (longitudinal and local), resulting in a standard deviation of 0.23 m.

KEYWORDS: bubbler irrigation, design, uniformity.

¹Extraído da dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à UFC.

²Licenciado em Ciências Agrícolas, Prof. M.Sc., Escola Agrotécnica Federal de Iguatu - CE, Fone: (0XX88) 582.1000, ivamholanda@baydejb.com.br

³Eng^o Agrônomo, Prof. Adjunto, Ph.D., Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza - CE.

⁴Eng^o Agrônomo, Prof. Adjunto, Ph.D., Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras - MG.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 28-2-2002

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 30-1-2005

INTRODUÇÃO

A grande quantidade de água requerida para a prática da irrigação, o decréscimo de sua disponibilidade e o alto custo da energia necessária à sua aplicação têm aumentado o interesse pela racionalização desse recurso, de forma a minimizar as suas perdas (AZEVEDO et al., 1999). Pelo exposto, é necessário minimizar a quantidade de água aplicada via irrigação sem, contudo, comprometer a produção final. Nos dias atuais, o emprego da irrigação localizada vem sendo muito aplicado com esse objetivo.

A irrigação localizada caracteriza-se, basicamente, pela aplicação da água numa fração do volume do solo explorado pelas raízes da planta, de forma pontual ou em faixa contínua, geralmente com distribuição pressurizada por meio de pequenas vazões e curtos intervalos de rega, mantendo níveis de umidade ideais para a cultura (BERNARDO, 1995).

Na irrigação localizada, a uniformidade de aplicação da água ao longo da linha lateral está intimamente relacionada à variação de vazão dos emissores, variação essa devida às perdas de carga ao longo do tubo e das inserções dos emissores, dos ganhos e perdas de energia de posição, da qualidade do tubo, das obstruções e efeitos da temperatura da água sobre o regime de escoamento e geometria do emissor (HOWELL & HILLER, 1974 e GOMES, 1999); todavia, estudos realizados em laboratórios concluíram que temperaturas entre 25 °C e 32 °C não alteram a vazão do gotejador de forma significativa (OLIVEIRA, 1978; OLIVEIRA et al., 2000).

A aplicação de água no solo com a finalidade de fornecer às espécies vegetais a umidade necessária ao seu desenvolvimento, pode ser realizada por meio dos mais diversos métodos de irrigação. Dentre os métodos que aplicam a água com alta frequência e de forma localizada, estão gotejamento, microaspersão, *bubbler* e subsuperficial.

RAWLINS (1977) foi quem primeiro descreveu o sistema de irrigação por gravidade em condutos fechados, chamando-o sistema de irrigação *bubbler* de baixa pressão, que opera a baixas pressões (a partir de 13 kPa) e difere dos outros tipos de irrigação localizada pelo fato de o fluxo de água ser devido apenas à força da gravidade. O sistema, basicamente, não exige energia externa (bombeamento) ou filtragem (REYNOLDS, 1993; REYNOLDS & YITAYEW, 1995). Mesmo quando o bombeamento é necessário, bombas de baixa capacidade de elevação são suficientes.

A simplicidade de instalação, o manejo e a elevada eficiência de irrigação do sistema *bubbler* podem permitir a sua adoção por parte do pequeno produtor. O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho hidráulico do sistema de irrigação *bubbler*, em campo, e compará-lo com o planejamento teórico, fornecido pelo programa computacional *Bubbler* versão 1.1 (DIDAN et al., 1995).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em propriedade localizada no município de Caucaia - CE, com latitude 3°44'10"S, longitude 38°39'11"W e altitude 29,91 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Bsh (semi-árido) e a topografia do local suavemente plana, com solo de textura arenosa. Na área útil de 256 m², foi instalado o sistema de irrigação por gravidade *bubbler*, na implantação de pomar de cajueiro anão-precoce, variedade CCP76, procedente da EMBRAPA-CNPAT, com espaçamento adensado de 4 x 4 m. O experimento foi iniciado em agosto de 2000.

A água foi conduzida da fonte até as plantas, por meio de tubos, eliminando as perdas por condução e minimizando as perdas por percolação, uma vez que se aplica a água apenas em parte da área e sob a copa das plantas, em microbacias. Não existia dispositivo na ponta dos microtubos para dissipar a pressão. Foi empregada cobertura morta nas microbacias, com o objetivo de evitar o impacto da água com o solo e reduzir perdas de água pela evaporação.

O sistema de irrigação consistia de linha principal conectada à fonte de água (caixa d'água), coluna com manômetro para controle da carga hidráulica, linha de derivação, linhas laterais e mangueiras emissoras conectadas às laterais, conforme descrevem REYNOLDS (1993) e REYNOLDS et al. (1995) e ilustrado pelas Figuras 1 e 2.

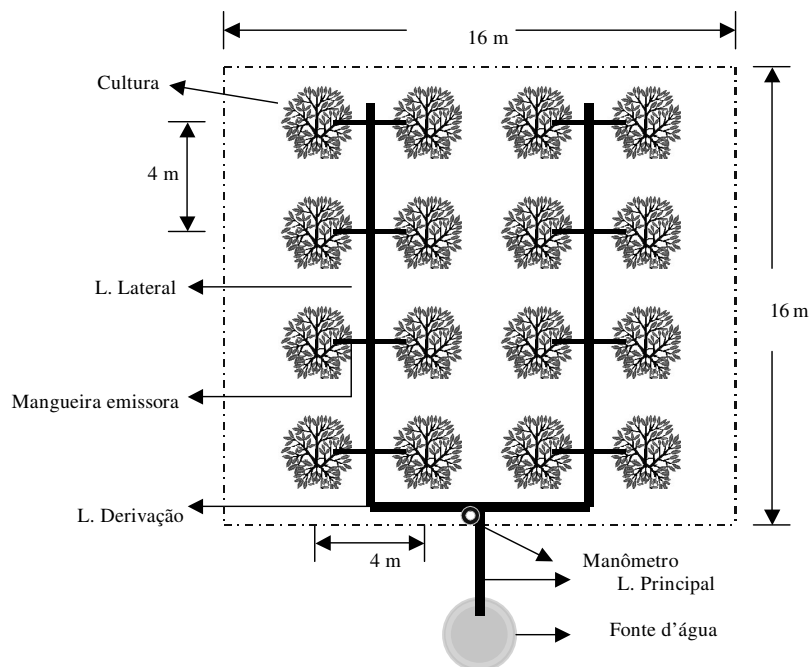


FIGURA 1. Esquema do sistema de irrigação *bubbler* para a cultura de caju anão-precoce em espaçamento adensado 4 x 4 m (sem escala).

O sistema projetado para este estudo foi composto de 16 saídas de tubo de polietileno, espaçadas de 4 em 4 m, sendo oito por linha lateral, com duas laterais de 14 m de comprimento (Figura 1). O suprimento d'água foi realizado por meio de um reservatório que estava elevado a 10 m de altura em relação à área irrigada e foi controlado por um registro de gaveta localizado na coluna de controle (Figura 2), o qual permitia carga constante de 1,69 m de coluna d'água, definido pelo aplicativo e marcado no manômetro (mangueira cristal de 12,5 mm de diâmetro).

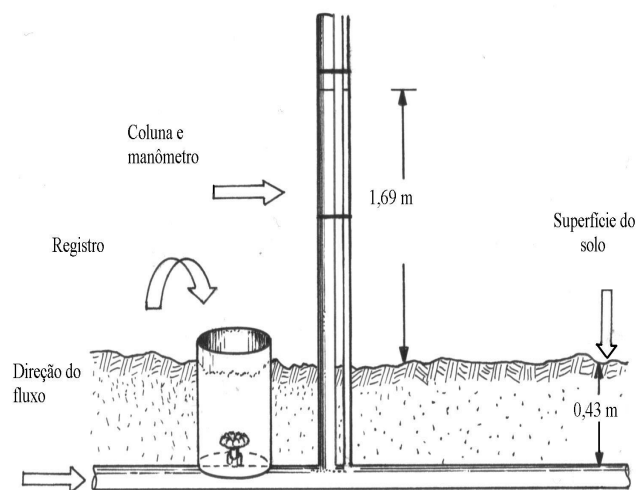


FIGURA 2. Detalhe da coluna de controle da pressão de serviço.

Dimensionou-se o sistema de irrigação com o emprego do programa computacional *Bubbler* - versão 1.1, desenvolvido pelo Department of Agricultural and Biosystems Engineering of the University of Arizona, o qual requer os seguintes dados de entrada: dimensões da área (comprimento e largura), espaçamento da cultura, desnível longitudinal e transversal do terreno, diâmetros internos dos tubos comerciais, elevação e distância da fonte d'água, profundidade de aterramento das tubulações e vazão unitária.

Instalou-se o sistema de irrigação, de acordo com o dimensionamento fornecido pelo programa, enterrando-se os tubos a 0,43 m de profundidade em que ficaram expostas somente as 16 mangueiras emissoras, divididas em grupo de quatro, com altura de saída de 0,77; 0,71; 0,68 e 0,67 m. Para estabelecer as alturas na saída das mangueiras emissoras, utilizou-se de nível de mangueira cristal, tendo-se atribuído, à superfície do solo próximo à coluna e manômetro (Figura 2), a cota zero. As mangueiras emissoras foram presas em ripas cravadas no solo, de maneira a manterem fixas as alturas na saída d'água (Figura 3).



FIGURA 3. Altura das mangueiras emissoras.

Em uma segunda fase, determinou-se a vazão das mangueiras emissoras pelo método volumétrico direto, utilizando-se, para tanto, de proveta de 500 mL graduada e cronômetro. Utilizou-se de manômetro de Bourdon de 100 kPa, com precisão de 2 kPa, observando-se a pressão no início da linha principal e, em cada uma das 16 saídas do sistema, sempre com três repetições de leituras. Foram executados cinco testes de vazão com variação temporal de sete dias. Em cada saída, foram realizadas seis coletas de água na proveta, fixando-se um volume (500 mL). Calcularam-se as vazões para cada saída em $L h^{-1}$ e aplicou-se a metodologia de Christiansen [eq.(1)] por apresentar resultados bastante confiáveis, segundo BERNARDO (1995):

$$CUC = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n |(\bar{q} - q_i)|\right)}{n\bar{q}} 100 \quad (1)$$

em que,

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

q_i - vazão de cada saída, $L h^{-1}$;

\bar{q} - vazão média de todas as saídas, $L h^{-1}$, e

n - número de saídas.

O sistema foi avaliado também pela Uniformidade de Distribuição (UD), seguindo a recomendação de MERRIAN & KELLER (1978), que é um método que simplifica a equação de Christiansen, segundo BERNARDO (1995). De acordo com esse método, após a coleta dos dados, selecionam-se os 25% dos menores valores coletados. A uniformidade de distribuição foi calculada pela expressão:

$$UD = \frac{\bar{q}_{25\%}}{\bar{q}} 100 \quad (2)$$

em que,

UD - uniformidade de distribuição, %;

$\bar{q}_{25\%}$ - médias dos 25% menores valores coletados, L h⁻¹, e

\bar{q} - média de todos os valores coletados, L h⁻¹.

Na determinação da perda de carga linear, para comparar os resultados obtidos com os estimados pelo programa, utilizou-se da equação resultante da combinação das equações de Darcy-Weissbach e Blasius, descrita por REYNOLDS (1993). Essa equação, recomendada para diâmetros inferiores a 128 mm, foi a mesma utilizada pelo aplicativo e é expressa por:

$$hf = 7,89 10^5 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} L \quad (3)$$

em que,

hf - perda de carga linear, m;

Q - vazão, L s⁻¹;

D - diâmetro interno, mm, e

L - comprimento da tubulação, m.

Já para o cálculo das perdas de carga localizada foi utilizada a equação abaixo:

$$hl = K \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

em que,

hl - perda de carga localizada, m;

K - coeficiente da perda correspondente à peça especial considerada;

v - velocidade média do fluxo, m s⁻¹, e

g - aceleração da gravidade, m s⁻².

A eficiência de aplicação (EA) sob irrigação completa foi estimada de acordo com MERRIAN & KELLER (1978) pela expressão:

$$EA = 0,9 UD \quad (5)$$

Os diâmetros internos comerciais predefinidos foram aferidos após instalação, com paquímetro, sendo realizadas três medições para cada mangueira emissora e tubos laterais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2, apresenta-se o resumo dos resultados fornecidos pelo programa *Bubbler*, versão 1.1, para os dados do experimento. O programa dimensionou mangueiras emissoras com diâmetro interno de 6 mm e demais tubulações de 20 mm de diâmetro interno, conforme diâmetros

comerciais fornecidos ao aplicativo. Entretanto, os diâmetros aferidos no campo foram, em média, 5,79 mm e 19,5 mm, respectivamente, que indica variabilidade de fabricação. Foi verificada redução de 18% na vazão do “emissor”, quando comparada com a definida pelo aplicativo ($0,022 \text{ L s}^{-1}$). Observações de campo demonstraram que a vazão teórica, aquela definida pelo programa, pode ser obtida elevando-se a carga hidráulica, na coluna de controle, para 21 kPa, quando são compensadas as diferenças de pressão, nas saídas das tubulações, decorrentes da perda de carga.

TABELA 1. Características do sistema fornecidas pelo aplicativo *Bubbler* versão 1.1.

Tubulação	Comprimento (m)	Vazão (L s^{-1})	Diâmetro Interno (mm)	Pressão (kPa)
Linha Principal	52,00	0,352	20	16,9
Linha de Derivação	8,00	0,352	20	15,9
Linha Lateral	14,00	0,176	20	15,9
Mangueira emissora	3,36	0,022	6	-

A distribuição das perdas de carga (linear e localizada) pode ser vista na Tabela 2. Constataram-se perdas de carga no campo, superiores às fornecidas pelo programa. No total, observou-se perda de carga 23,34% (Tabela 2) maior que a prevista, o que resultou em menor vazão do sistema. As menores variações entre as perdas teóricas e as observadas em campo ocorreram na linha lateral (10,74%), enquanto a maior porcentagem (37,50%) foi encontrada na perda de carga acessórios/localizada, decorrente da adaptação de três conexões na derivação para a instalação da coluna de controle, uma vez que o aplicativo utiliza diâmetro-padrão não disponível no mercado local. O acréscimo das demais perdas explica-se pela diferença de diâmetros (teórico e prático) ocorridos nas tubulações, que é, de acordo com a fórmula Darcy-Weissbach, diretamente proporcional à raiz cúbica da vazão.

TABELA 2. Perdas de carga teórica e observada.

Componente	Perda de Carga (m)		Variação Porcentual (%)	
	Teórica	Observada	Observada*	Observada/Teórica
Linha de derivação	0,199	0,225	11,89	13,06
Linha lateral	0,149	0,165	8,72	10,74
Mangueira emissora	0,690	0,820	43,35	18,84
Acessórios/localizadas	0,496	0,682	36,04	37,50
Total	1,534	1,892	100,00	23,34

*Participação de cada componente no total das perdas de carga observada

Normalmente, e para efeito de projetos, em sistemas de microirrigação, aconselha-se acrescentar 5% da pressão necessária no início do sistema (OLITTA, 1987) ou 10% das perdas de carga linear (GOMES, 1999) para compensar as perdas localizadas. No caso específico do *bubbler*, essa recomendação não é válida, por se tratar de sistema de baixíssima pressão (na ordem de 13 kPa, no mínimo) e ter o fluxo de água submetido apenas à força da gravidade, com reduzido atrito.

De acordo com as observações de campo neste estudo, as perdas de carga localizadas representaram 36,04% da perda de carga total (Tabela 3). Constatou-se, ainda, o seguinte uso da pressão disponível pelos diferentes componentes do sistema: 43,34% pelas mangueiras emissoras, 8,72% pela linha lateral e 11,89% pela linha de derivação. As perdas de carga da linha principal não foram computadas porque o controle de pressão do sistema fica localizado no início da derivação (Figura 1). A distribuição porcentual dos valores aqui observada está próxima daquela definida por REYNOLDS (1993), quando afirmou que 50% da pressão disponível é alocada para as mangueiras emissoras.

Os valores de vazão média para cada mangueira emissora, apresentados na Tabela 3, permitiram determinar o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e a Uniformidade de Distribuição (UD). Os valores encontrados de 96,64% e 95,85% para o CUC e UD, respectivamente, demonstram que o desempenho do sistema pode ser classificado dentro de um grau de aceitabilidade excelente, de acordo com BARRETO FILHO et al. (2000). Segundo GOMES (1999), a uniformidade de distribuição recomendada para clima árido e topografia uniforme com gradiente de declividade inferior a 2%, é de 90 a 95%; já VERMEIREN & JOBLING (1997) citam que os valores médios determinados no campo devem estar dentro da faixa de 85 a 95%; portanto, os valores obtidos nesta pesquisa foram superiores aos limites recomendados, expressando bom desempenho do sistema instalado.

A uniformidade de distribuição acima do valor padrão era esperada porque cada mangueira emissora foi ajustada individualmente por meio de um nível de mangueira (característica do sistema), independentemente do número de saídas, como ocorre nos demais sistemas de irrigação localizada que apresenta maior uniformidade com menor número de emissores.

TABELA 3. Média das vazões por saídas (mangueiras emissoras).

Saídas	Vazão (L h ⁻¹)	Saídas	Vazão (L h ⁻¹)	Saídas	Vazão (L h ⁻¹)	Saídas	Vazão (L h ⁻¹)
1	67,00	5	65,93	9	61,86	13	62,94
2	69,23	6	66,91	10	62,54	14	64,56
3	62,07	7	69,79	11	65,84	15	62,07
4	65,60	8	62,07	12	64,54	16	61,86

A Eficiência de Aplicação (EA) obtida por meio da eq.(5), neste ensaio de campo, foi de 86,98%. KELLER & BLIESNER (1990) recomendam valores em torno de 80% para sistemas de microirrigação. Considerando-se a observação de REYNOLDS (1993) de que uma EA de 85% pode ser considerada adequada para *bubbler*, pode-se inferir que o sistema instalado tem boa eficiência e excelente uniformidade.

Os valores elevados dos coeficientes de avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada verificados neste ensaio (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, a Uniformidade de Distribuição e Eficiência de Aplicação) atestam com segurança a eficácia do planejamento teórico definido pelo aplicativo *Bubbler*, versão 1.1.

CONCLUSÕES

O desempenho hidráulico do sistema de irrigação localizada de baixa pressão, *bubbler*, em campo, foi considerado satisfatório por apresentar boa eficiência e excelente uniformidade.

O programa computacional *Bubbler*, versão 1.1, é adequado ao dimensionamento hidráulico de um projeto de irrigação de pequeno porte e baixa pressão.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, H.J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M.M.; SEDIYAMA, G.C.; CECON, P.R. Influência de elementos do clima e da pressão de operação do aspersor no desperdício de água, em um sistema de irrigação por alta pressão. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.18, n.4, p.53-62, 1999.

BARRETO FILHO, A. DE A.; DANTAS NETO, J.; MATOS, J.A.; GOMES, E.M. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado em nível de campo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.3, p.309-14, 2000.

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6.ed. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.

DIDAN, K.; REYNOLDS, C.; YITAYEW, M. *BUBBLER version 1.1. Users manual*. Arizona: Agricultural Experimental Station, 1995. 33 p.

GOMES, H.P. *Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento*. 3.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 412 p.

HOWELL, T.A.; HILLER, E.A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2., 1974, San Diego. *Proceedings...* Riverside: Department of Soil Science and Agricultural Engineering, 1974. p.299-304.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. Logan: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, 1978. 217 p.

OLITTA, A.F.L. *Os métodos de irrigação*. São Paulo: Nobel, 1987. 267 p.

OLIVEIRA, A.M. de S.; PORTO FILHO, F. de Q; MEDEIROS, J.F. de; COSTA, M. da C. Caracterização hidráulica do tubo gotejador hidrorip II. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.3, p.483-6, 2000.

OLIVEIRA, C.A. da S. *Hidráulica de gotejadores e de linhas laterais para irrigação por gotejamento*. 1978.72 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 1978.

RAWLINS, S.L. Uniform irrigation with a low head bubbler system. *Agriculture and Management*, Amsterdam, v.1, n.1, p.167-78, 1977.

REYNOLDS, C.A. *Design and evaluation of bubbler irrigation systems*. 1993. 134 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação) - University of Arizona, Arizona, 1993.

REYNOLDS, C.; YITAYEW, M. Low-head bubbler irrigation systems. Part II. Air lock problems. *Agricultural Water Management*, Tucson, n.29, p.25-35, 1995.

REYNOLDS, C.; YITAYEW, M.; PETERSEN, M. Low-head bubbler irrigation systems. Part I Design. *Agricultural Water Management*, Tucson, v.29, n.1, p.1-24, 1995.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. *Irrigação localizada*. Campina Grande: UFPB, 1997. 184 p. (Estudos FAO - Irrigação e Drenagem, 36)