

Análise dos custos fixos de um sistema de irrigação localizada por gravidade-*bubbler**

Fixed cost analysis of bubbler irrigation system

Eunice Maia de Andrade¹; Ivam Holanda de Souza²; Elio Lemos da Silva³

RESUMO

Definir módulos máximos irrigáveis e os custos fixos de investimento de um sistema de irrigação de baixa pressão onde a fonte da energia requerida é a gravitacional, foi o objetivo do presente estudo. Para o seu desenvolvimento, empregou-se o programa computacional *Bubbler* versão 1.1, nas simulações do dimensionamento hidráulico e depois, se executou a pesquisa mercadológica, com uma planilha de custos. Com o programa *Bubbler* foram executadas várias simulações com áreas de diferentes dimensões, de 0,25 a 4 ha, e espaçamentos tradicionais (3 x 3 m até 8 x 8 m). As áreas e espaçamentos que apresentaram melhor viabilidade técnica foram aquelas que permitiram um número máximo de 144 plantas e vazão não superior a 0,45 L s⁻¹ a ser transportada pela lateral. Os preços foram coletados no comércio de Fortaleza, Ceará, envolvendo 6 estabelecimentos comerciais de equipamentos para irrigação. Os resultados mostraram que o custo médio de instalação com base nos equipamentos disponíveis no mercado pesquisado é de R\$ 800,72 ou U\$ 455,00 para módulos de 1 ha, com espaçamento de 8 x 8 m. No caso de espaçamentos menores, a área deverá ser menor, uma vez que o estudo baseou-se na vazão lateral máxima de 0,45 L s⁻¹. Tal sistema se mostra de grande aplicabilidade para pequenas propriedades, pois o sistema não requer filtragem e a energia requerida pelo mesmo pode ser suprida por uma diferença de nível de um metro ou um pouco mais.

Termos para indexação: custos de instalação, gravidade, irrigação localizada

ABSTRACT

The present study evaluated the fixed costs of a low-pressure trickle irrigation system, which the source of requested energy is only the gravity. For the development of this work, it was used the *Bubbler* program (version 1.1) for the hydraulic design and a price survey of equipment. Several simulations were done with the *Bubbler* program with different areas, from 0.25 to 4.0 hectare, using traditional spacing (from 3 x 3 m to 8 x 8 m). Areas and spacing that presented better technical viability were those with a maximum of 144 plants using lateral flow lower than 0,45 L s⁻¹. Equipment irrigation prices were collected in January of 2001, in Fortaleza, Ceará, involving six commercial establishments. Results showed that the medium cost of installation, based on available equipment in the researched market, was R\$ 800,72 or U \$455,00 for one hectare, using spacing of 8 x 8 m. Since the study based on the maximum allowed lateral flow of 0.45 L s⁻¹, area should be smaller in case of smaller spacing. The presented system is very suitable for small farmers, mainly those that do not have electric power.

Index terms: installation costs, low pressure, trickle irrigation

* Extraído da Dissertação de Mestrado do segundo autor.

¹ Engº Agrº, Ph.D., Profa do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, E-mail: eandrade@ufc.br

² Engº Agrº M.Sc., Prof. Da Escola Agrotécnica Federal de Iguatu, E-mail: ivamholanda@aol.com

³ Engº Agrº, Ph.D., Prof do Dep. de Eng., UFPA, E-mail: elemos@esal.ufpa.br

Introdução

Muitas vezes, na elaboração de um projeto de irrigação se dá maior ênfase ao planejamento hidráulico do sistema, procurando-se minimizar as perdas de carga e obter diâmetros menores. Isto gera o paradoxo, onde a funcionalidade teórica vai de encontro aos custos de aquisição. No dimensionamento de redes de distribuição são considerados dois métodos: da perda de carga unitária e constante e da velocidade máxima admissível. Ambos os métodos tratam de dimensionar cada trecho da rede com o menor ou os menores diâmetros comerciais que atendam às restrições adotadas. Embora estes métodos aproximados estejam sendo substituídos por metodologias de otimização econômica, são ainda empregados no dimensionamento de redes de distribuição de poucos trechos (Gomes, 1999).

O sistema de irrigação *bubbler* funciona com baixíssima pressão, utilizando apenas a gravidade como fonte de energia, não requerendo fontes externas para bombeamento ou sistema de filtragem, e pode ser operado com pressões em torno de 10 kPa (Reynolds, 1993; Reynolds e Yitayew, 1995). O mesmo consiste de uma linha principal conectada à fonte de água (caixa d'água, pequenos reservatórios, canal etc.), uma coluna com manômetro – onde se controla a carga hidráulica, linha de derivação, linha lateral e as mangueiras emissoras que estão conectadas a esta última, (Reynolds, 1993; Reynolds et al., 1995 e Didan et al., 1995). A água é 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 somente em parte da área e sob a copa das plantas, em micro bacias. Outra redução das perdas d'água ocorre em função da não existência de dispositivo na extremidade dos microtubos para dissipação da água e pressão, o que contribuiria para o processo de evaporação.

A simplicidade de instalação, o manejo e a elevada eficiência de irrigação, podem permitir a adoção desse sistema, por parte do pequeno produtor, como demonstrado em sistemas instalados em Caucaia e Pentecostes, Ceará, onde apresentou uniformidade de distribuição de 95% (Souza, 2001; Accioly, 2001), com excelente adequabilidade para o cultivo de culturas perenes, como caju, manga, acerola, goiaba, abacate, graviola, citrus etc, em áreas de até 4 ha (Reynolds, 1993; Reynolds et al., 1995). Tal sistema difere daquele proposto por Soares (1986), irrigação por mangueira - utilizando micro bacias; no *bubbler* as mangueiras apresentam menores diâmetros, são distribuídas em cada cova e amparadas por tutores, com vazão de 0,019 a 0,063 L s⁻¹ (Reynolds, 1993; Reynolds e Yitayew, 1995; Yitayew et al., 1999).

Na análise econômica dos projetos de irrigação, devem ser levados em conta os custos fixos, ou de investi-

mentos, e os custos variáveis de exploração que deverão incidir, ao longo da vida útil das instalações. Os custos fixos dizem respeito àqueles correspondentes à compra dos equipamentos das instalações hidráulicas (tubulações, peças de conexão etc.). Os custos variáveis incidem sobre as despesas de manutenção e operação das instalações durante o período de uso (Gomes, 1999). Considerando-se o *bubbler* como sistema simples, direcionado às pequenas propriedades; desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de definir o módulo máximo irrigável e os custos fixos do sistema *bubbler*, em função dos diâmetros disponíveis no mercado.

Material e Métodos

A metodologia para se definir a área máxima irrigável e os custos de um sistema de irrigação localizada por gravidade, foi realizada nas seguintes etapas:

1. simulação de áreas irrigadas com diferentes espaçamentos, usando-se o programa *Bubbler* e planilhas eletrônicas;
2. levantamento de preços no comércio de Fortaleza.

1. Simulação de áreas

A primeira etapa do trabalho visou ao dimensionamento hidráulico do sistema, utilizando-se o programa computacional *Bubbler*, versão 1.1, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Agrícola e de Biosistemas da Universidade do Arizona e na utilização de planilhas eletrônicas. O programa foi executado com áreas de diferentes dimensões, variando de 0,25 a 4,0 ha, que é a área máxima recomendada por Reynolds (1993) para esse tipo de irrigação. O incremento de área foi de 0,25 ha, assim distribuído: 0,25, 0,50, 0,75, 1,0, 1,25, 1,50, 1,75, 2,0, 2,25, 2,50, 2,75, 3,0, 3,25, 3,50, 3,75 e 4,0 ha. Os espaçamentos utilizados foram os tradicionais para as culturas perenes: 3 x 3, 5 x 3, 4 x 4, 5 x 5, 7 x 4, 6 x 6, 8 x 6, 7 x 7, 7,5 x 7,5 e 8 x 8 m, para assim se saber quais os diâmetros internos das linhas principal, derivação, lateral e mangueira emissoras, número de plantas por área, vazão total, pressão de serviço e comprimento das tubulações.

As informações fornecidas ao aplicativo foram: dimensões da área, elevação da fonte d'água a 2 m, visto que o sistema trabalha com o mínimo de 1 m (carga disponível), ficando distanciada da área 10 m; vazão das mangueiras emissoras de 0,019 L s⁻¹ (foi utilizada a vazão mínima para se obter um maior número de plantas por área), profundidade de aterramento das tubulações 0,15 m e diâmetros comerciais de PVC (cloreto de polivinil) de 20, 25, 32, 40, 50, 60, 75 e 100 mm e PEBD (polietileno de baixa densidade) de 6, 8, 10, 16, 20, 25 e 32 mm. Das

saídas do aplicativo foram selecionados os diâmetros comerciais, mais facilmente encontrados no mercado nacional, optando-se pelo critério técnico de usar polietileno para as linhas laterais. Posteriormente selecionou-se a área, espaçamento, número de plantas por área, vazão total, pressão de serviço e comprimento das tubulações.

2. Custos

A segunda etapa do estudo constou de uma pesquisa de preços no comércio de Fortaleza, dos materiais (tubulações, conexões, registro e mangueira transparente) definidos pelo programa; que, depois, foram tabulados e estimados os valores médios de aquisição. O estudo foi realizado no mês de janeiro de 2001 em seis estabelecimentos comerciais de equipamentos para irrigação, com o propósito de se definir os custos de investimento iniciais de um projeto de irrigação de baixa pressão, em áreas que variavam de 0,25 a 4 ha, com diferentes espaçamentos.

Resultados e Discussão

A área máxima irrigável em função do diâmetro econômico pode ser observada na Tabela 1. Das 16 áreas simuladas com 10 espaçamentos diferentes, no total de 160 combinações, selecionou-se 4 áreas: 0,25; 0,5; 0,75 e 1,0 ha, com espaçamentos variando de 4 x 4 até 8 x 8 m, conforme descrito na Tabela 1. Um fator limitante, na simulação das áreas, foi a identificação da não disponibilidade de conectores para inserção das mangueiras emisoras no PVC no mercado pesquisado. Portanto, para superar tal limitação, considerou-se na seleção das áreas, aquelas em que o diâmetro das laterais era igual ou inferior a 32 mm, onde seria usado o PEBD.

O menor espaçamento testado (3 x 3 m) não aparece na relação da Tabela 1, porque o número de plantas ultrapassa o máximo suportado pelo sistema. Independente do tamanho da área e/ou espaçamento, o número máximo de plantas não deve ultrapassar 144/área, com a vazão de 0,019 L s⁻¹ por planta. Havendo reajuste na vazão, superior ao valor mínimo, o número de plantas tende a diminuir. Deve-se considerar sempre a vazão por lateral de 0,45 L s⁻¹, que é transportado por tubulações de PEBD de 32 mm. Na Tabela 1 observam-se os vários espaçamentos opcionais para diferentes áreas, desde 4 x 4 m, com 144 plantas, até 8 x 8 m, com o mesmo total de plantas em 0,25 e 1,0 ha, respectivamente. No dimensionamento do *bubbler* há uma redução no número de plantas/área uma vez que cada lateral é calculada para irrigar duas fileiras de plantas, chegando a ocorrer uma redução de 10%.

Os diâmetros da linha principal e da linha de derivação variaram de 25 a 50 mm, de acordo com o total de

plantas a irrigar. As opções de diâmetro para a linha lateral foram de 25 e 32 mm, enquanto que para a mangueira emissora foram de 6 e 8 mm. Verificou-se que a vazão total máxima transportada pelo sistema é de 2,74 L s⁻¹ a uma velocidade média de 0,28 m s⁻¹, bem inferior ao sistema pressurizado convencional que transporta 3,9 L s⁻¹ (Gomes, 1999), no mesmo diâmetro de tubulação. A vazão da mangueira emissora deve estar entre 0,019 L s⁻¹ e 0,063 L s⁻¹ (Reynolds, 1993; Reynolds e Yitayew, 1995; Yitayew et al., 1999), as laterais devem transportar uma vazão máxima de 0,45 L s⁻¹, em diâmetro de 32 mm. Para saber o número de plantas irrigadas por lateral, basta dividir o valor da vazão lateral pela vazão da mangueira emissora.

Tabela 1 - Resumo do dimensionamento econômico e custo do sistema em função do diâmetro das laterais, para diversas áreas simuladas com o sistema de irrigação *bubbler*.

Área (ha)	Espaçamento (m)	Custo (R\$)	Plantas (n°)	Diâmetro (mm)				Vazão do sistema (L s ⁻¹)	PS ⁵ (m)
				P ¹	D ²	L ³	ME ⁴		
0,25	4 x 4	426,60	144	50	40	32	6	2,74	1,49
	5 x 5	446,32	100	40	40	32	6	1,52	1,56
	7 x 4	178,36	72	32	32	32	8	1,36	1,18
	6 x 6	164,95	64	40	32	25	6	1,20	1,64
	8 x 6	153,30	48	25	25	32	8	0,61	1,20
	7 x 7	132,29	42	25	25	25	8	0,53	1,18
0,5	7,5 x 7,5	104,30	36	25	25	25	8	0,46	1,19
	8 x 8	213,54	36	25	25	25	8	0,45	1,20
	6 x 6	504,95	110	50	40	32	6	1,63	1,64
	7 x 7	526,31	100	40	40	32	8	1,52	1,18
0,75	8 x 6	392,96	88	40	40	32	8	1,67	1,20
	7,5 x 7,5	282,02	72	40	32	32	8	1,37	1,19
	8 x 8	317,71	64	32	32	32	8	1,20	1,20
	7 x 7	739,93	144	50	50	32	8	2,70	1,18
1,0	8 x 6	602,55	140	40	50	32	8	2,13	1,20
	7,5 x 7,5	533,26	110	40	40	32	8	1,67	1,19
	8 x 8	616,88	100	40	40	32	8	1,52	1,20
1,0	8 x 8	840,22	144	50	50	32	8	2,73	1,20

¹Linha principal; ²linha de derivação; ³linha lateral; ⁴mangueira emissora; ⁵pressão de serviço

Os custos do sistema se tornam viáveis quando tubos de 32 mm de PEBD são usados na lateral, como explicado anteriormente, em substituição ao PVC. Vale salientar que 32 mm é o diâmetro máximo (extrusado) encontrado no mercado brasileiro, sendo mais empregado na irrigação os diâmetros de 16 e 20 mm. Quando se usam diâmetros da lateral de 40 a 100 mm, o custo passa a apresentar variações de preço em escala potencial expresso por $y = 255,43 x^{1,4069}$, com $r^2 = 0,96$, como consequência da mudança do PEBD para o PVC. As variações de custos por área irrigada em função da alteração

na dimensão dos diâmetros e comprimentos das tubulações podem ser vista na Figura 1. As variações registradas foram de R\$ 104,30 a R\$ 840,22 por área irrigada. Pela mesma figura pode-se observar uma estreita correlação entre o diâmetro e custo; quando o diâmetro da linha principal, derivação e lateral estão entre 25 e 32 mm são constatados os menores gastos. Gomes (1999) recomenda que os preços das tubulações devem ser majorados em 30% a 35% para fazer frente aos custos das peças de conexão e controle (registros, curvas, tês, adaptador etc), assim como aos custos de transporte, escavação e montagem das instalações. Nesse estudo, foram utilizados 30%

de acréscimos ao custo total das tubulações (Tabela 1). O eixo x na Figura 1 representa a área ocupada por planta. Observa-se um decréscimo no custo por área, quando aumenta o espaçamento entre plantas, isto ocorre em função da redução da vazão requerida e conseqüente decréscimo nos diâmetros das tubulações, como pode ser visto na Tabela 1.

A área definida por Reynolds (1993) de 4 ha para o *bubbler*, só pode ser irrigada se for dividida em módulos (em número de 4, no espaçamento de 8 x 8 m); diminuindo-se o espaçamento, aumenta-se o número de módulos, conforme descrito na Figura 2. A referida figura mostra a

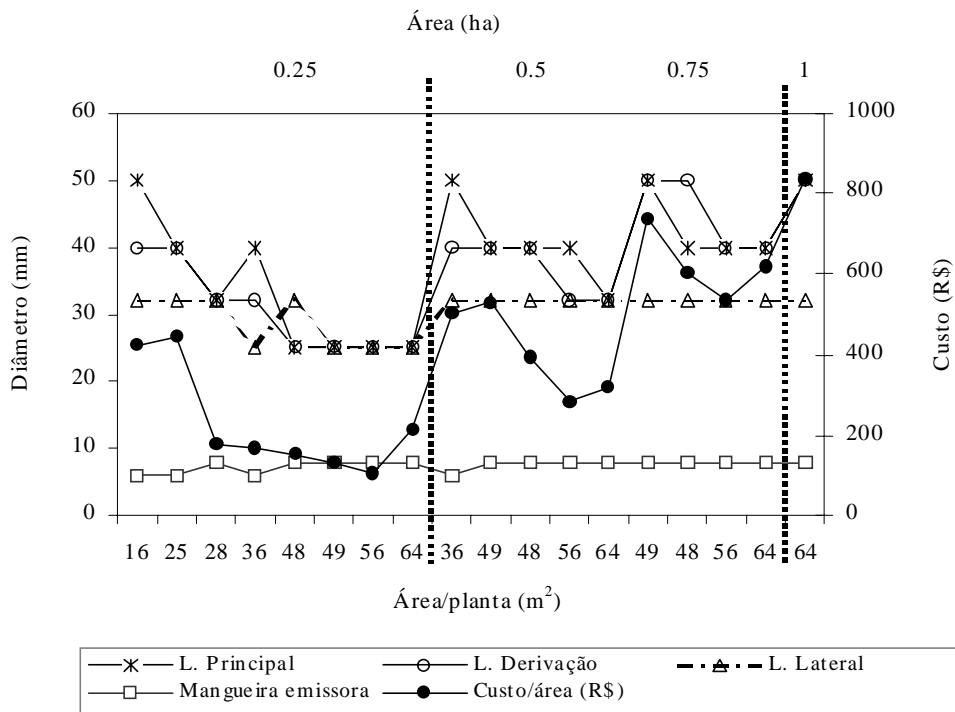


Figura 1 - Variação dos custos fixos do sistema Bubbler em função da área a ser implantada, dos diâmetros das linhas principal, derivação, lateral e mangueira emissora.

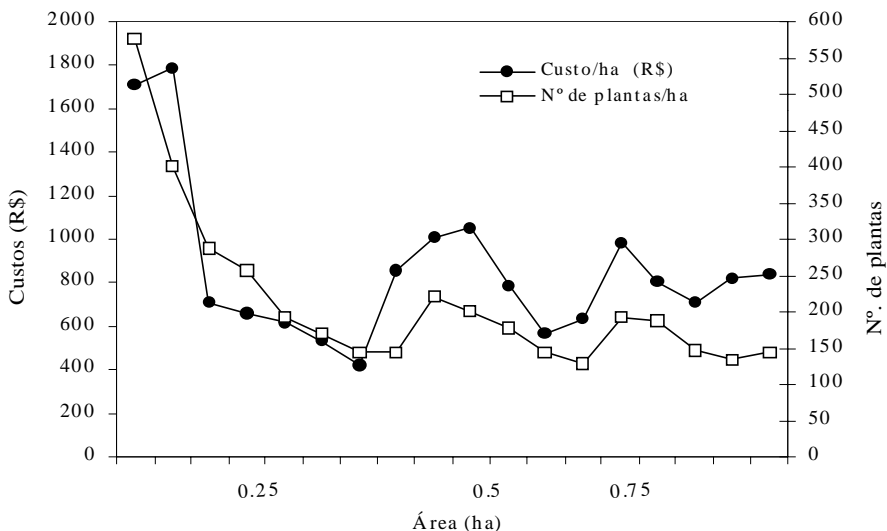


Figura 2 - Estimativa dos custos e número de plantas/ha tendo como base distintas áreas e número de módulos a serem implantados por hectare.

relação entre o número de plantas/ha e o custo/ha para diferentes áreas irrigadas, desde 0,25 até 1 ha em função do número de módulos por ha, variando de 1 até 4 módulos. Por exemplo, se for utilizada a área de 0,5 ha, em qualquer um dos cinco espaçamentos recomendados na Tabela 1, são necessários 2 módulos para se ter um hectare irrigado. Através da Figura 2 percebe-se claramente que o total de 144 plantas/área é o número ideal para as áreas testadas, uma vez que para esta densidade as linhas de custo/ha e de planta/ha mais se aproximam.

Dentre as diferentes dimensões simuladas pelo programa, foi escolhido a unidade básica de 1 ha para definir os materiais hidráulicos e os custos fixos do sistema no mercado analisado. O programa mostrou a seguinte saída para a área escolhida: sistema composto por 144 saídas de polietileno, sendo cada mangueira emissora de 5,15 m, espaçada a cada 8 m, com 8 mm de diâmetro, distribuída em 6 laterais (12 saídas para cada lado). As linhas laterais apresentavam comprimento de 92 m, com diâmetro interno de 32 mm, enquanto a linha de derivação apresentou um comprimento de 92 m, com 50 mm de diâmetro. A linha principal foi definida com o mesmo diâmetro interno (50 mm) e uma extensão de 10 m (Figura 3). A carga necessária para funcionamento do sistema foi de 12 kPa.

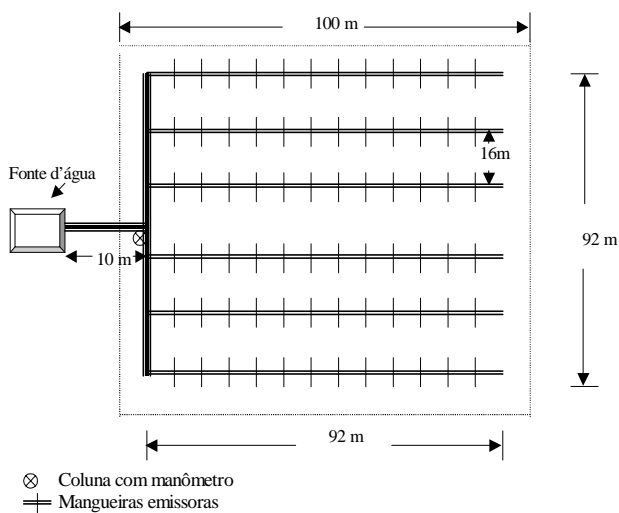


Figura 3 - Esquema do módulo básico irrigável pelo bubbler, de 1,0 ha.

No dimensionamento deste módulo básico utilizou-se a vazão mínima de $0,019 \text{ L s}^{-1}$, sem que o diâmetro da lateral ultrapassasse 32mm, uma vez que este é o diâmetro máximo em PEBD encontrado no mercado. Nestas condições, a instalação de 1 ha com bubbler pode chegar a ter o investimento inicial (custo fixo) 300% menor que o custo da microaspersão sem automação (Miranda e Bernardes, 1996). A reduzida manutenção necessária ao sistema e o não requerimento de gastos com bombeamento, tornam quase insignificantes os custos variáveis, que incidem ao longo da vida útil do equipamento.

Os custos fixos para aquisição, quantificação e orçamentamento de materiais necessários à instalação de um sistema de irrigação localizada, para módulo básico de 1,0 ha (espaçamento 8 x 8 m), podem ser vistos na Tabela 2. Observa-se que o custo médio de implantação desse sistema de irrigação, para as condições simuladas, foi de R\$ 800,72 ou U\$ 455,00, inferior ao da Tabela 1, que já está acrescido do custo da mão-de-obra.

Este sistema de irrigação apresenta-se como boa opção a ser implantada junto aos pequenos produtores rurais que não dispõem de recursos financeiros suficientes para usufruir um sistema convencional de irrigação. Apresenta baixo custo inicial, não requer consumo de energia elétrica ou combustível, já que funciona por gravidade, além de apresentar uma alta eficiência de uniformidade.

Tabela 2 - Custos fixos para aquisição de materiais hidráulicos, módulo básico de 1 ha*

Discriminação	Quantidade	Unidade	Valor	
			R\$	US \$**
Tubo de PVC LF DN 50 PN 40	105	m	206,22	105,21
Tubo de PEBD 32 mm	552	m	298,08	152,08
Tubo de PEBD 6mm	742	m	148,40	75,71
Adaptador interno PEBD 6 mm	144	Unid	47,52	24,24
Adaptador PEBD 32 mm	12	Unid	8,04	4,57
CAP 32 mm	6	Unid	7,20	4,09
CAP 50 mm LF	2	Unid	6,00	3,06
Tê LF 50 x 32 mm	6	Unid	33,72	19,16
Tê PVC 50 mm	2	Unid	8,60	4,39
Registro de gaveta 50 mm	1	Unid	15,60	7,96
Tê PVC 50 x 1"	2	Unid	9,40	4,80
Bucha de redução 1 x 1/2"	2	Unid	3,66	1,87
Adaptador Interno PEBD 1/2"	2	Unid	0,66	0,34
Niple 50 mm	2	Unid	0,66	0,34
Mangueira cristal 1/2"	6	m	6,96	3,55
TOTAL			800,72	455,00

*Valores obtidos no comércio de Fortaleza, CE, no mês de janeiro de 2001.

** dólar = R\$ 1,96 (cotação / janeiro 2001)

Conclusões

1. As linhas laterais devem ser de polietileno, com diâmetro igual ou inferior a 32mm;
2. A melhor relação custo/planta ocorreu para uma densidade de 144plantas/áreas, independente do espaçamento;
3. Deve-se trabalhar com a vazão mínima por planta, de $0,019 \text{ L s}^{-1}$, recomendada pelo programa;
4. A vazão da linha lateral não deve ser superior a $0,45 \text{ L s}^{-1}$;

5. Os custos variam de R\$ 104,30 a R\$ 840,22 por área irrigada, de acordo com aumento dos diâmetros e comprimento das tubulações;
6. A economia no investimento inicial pode chegar a 300% quando comparada aos sistemas de microaspersão sem automação.

Referências Bibliográficas

ACCIOLY, A. **Manejo de irrigação para cultura da goiabeira através de um sistema de irrigação de baixa pressão "Bubbler system"**. 2001. 98 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

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

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

MIRANDA, F. R.; BERNARDES, J. L. **Micro-irrigação em fruteiras**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT/CE. 1996. 19p.

REYNOLDS, C. A. **Design and evaluation of bubbler irrigation systems**. 1993. 134 f. Master's Thesis (Biosystem Agricultural Engineering)-University of Arizona, Tucson.

REYNOLDS, C.; YITAYEW, M.; PETERSEN, M. Low-head bubbler irrigation systems. Part I Design. **Agricultural Water Management**. Tucson, Arizona, n.29, p.1-4, mar. 1995.

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

SOARES, J. M. **Sistemas de irrigação por mangueiras**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1986, 130p.

SOUZA, I. H. **Avaliação do sistema de irrigação, Bubbler, e do crescimento inicial do cajueiro anão precoce, submetido a diferentes níveis de umidade do solo**. 2001. 100 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

YITAYEW, M.; DIDAN, K; REYNOLDS, C. Microcomputer based low-head gravity-flow bubbler irrigation system design. **Computers and Electronics in Agriculture**. Amsterdam, v.22, p. 29-39, 1999.



Impressão e Acabamento Imprensa Universitária da
Universidade Federal do Ceará - UFC
Av. da Universidade, 2932 - Benfica - Caixa Postal 2600
Fone/Fax: 0xx (85) 281.3721
Fortaleza - Ceará - Brasil

