

DISTÚRBIOS DE VAZÃO EM GOTEJADORES DEVIDO A APLICAÇÃO DE CO₂ VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Pedro Rodrigues Alves Silveira¹, Marconi Batista Teixeira², Rubens Duarte Coelho³,
Fernando Nobre Cunha⁴, Nelmício Furtado da Silva⁵

RESUMO

O presente trabalho avaliou a dinâmica do uso de CO₂ em gotejadores autocompensantes, com emissores posicionados tanto para baixo quanto para cima, observando a ocorrência de histerese para curvas de vazão em função da pressão crescente e decrescente em diferentes modelos para diferentes concentrações de CO₂. O experimento foi conduzido em uma bancada de ensaios em estrutura metálica instalada no Laboratório de Irrigação do DER-ESALQ/USP, localizada no município de Piracicaba – SP. Utilizaram-se cinco modelos de gotejadores (M1 a M5) que foram expostos aos seguintes tratamentos: a) pressões: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 kPa; b) posição dos emissores: para baixo e para cima; c) concentração de CO₂: zero, 50, 100, 200 e 400% da dissolução máxima de CO₂ em água. Foram observados altos valores de coeficiente de variação de vazão quando se aplicou a concentração 400% da dissolução de CO₂ em água.

Palavras - chave: desempenho hidráulico, dióxido de carbono, coeficiente de variação de vazão

DRIPPERS FLOW DISTURBANCES DUE TO APPLICATION OF CO₂ FOR IRRIGATION WATER

ABSTRACT

The present work evaluated the dynamics of CO₂ use on self compensating drippers with emitters positioned both downward and upward taking into consideration the hysteresis for

¹ Eng. Agrônomo - Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. C.P. 09, CEP 13418-900, e-mail: prasilve@esalq.usp.br

² Eng. Agrônomo, Prof. Dr. em Agronomia, IFGoiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: marconibt@gmail.com

³ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. em Agronomia, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. C.P. 09, CEP 13418-900, e-mail: rdcoelho@esalq.usp.br

⁴ Mestrando em Ciências Agrárias - Agronomia, IFGoiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: fernandonobrecunha@gmail.com

⁵ Mestrando em Ciências Agrárias - Agronomia, IFGoiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: nelmiciofurtado@gmail.com

flow curves due to the increasing and the decreasing pressure on different models for different concentrations of CO₂. The experiment was carried out on a bench test made of steel structure placed at the Irrigation Laboratory of the DER-ESALQ/USP located at the Piracicaba – SP. Five drippers models were utilized (M1 to M5) which were exposed to the following treatments: a) pressures: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 and 400 kPa (increasing and decreasing pressure for identification of the occurrence of the hysteresis); b) position of the emitters: to down and to up; c) concentration of the CO₂: zero, 50, 100, 200 and 400% of a maximum dissolution of CO₂ in water. High flow variation values were found when applying the 400% concentration of the CO₂ dissolution in water.

Keywords: hydraulic performance, carbon dioxide, flow rate variation coefficient

INTRODUÇÃO

Maximizar a produtividade, melhorar a qualidade dos produtos e reduzir os custos, exigem a adoção de tecnologias que minimizem os efeitos adversos dos fatores que limitam a produção. O uso de dióxido de carbono aplicado via água de irrigação apresenta-se como uma técnica promissora. O efeito do incremento da concentração de CO₂ é importante nos níveis de alta e de baixa luminosidade, por estimular o crescimento da planta. A magnitude do incremento depende da temperatura, sendo que, quanto menor a temperatura, menor o efeito. O aumento da velocidade de assimilação de CO₂ pode atingir 80% ao ativar a enzima rubisco (responsável por fixar CO₂ atmosférico), aumentando a fotossíntese líquida das plantas, devido à eliminação parcial ou total da fotorrespiração, melhorando o metabolismo, o crescimento e a produção de área foliar e matéria vegetativa (DURÃO & GALVÃO, 1995; FURLAN et al., 2002).

A tendência da irrigação localizada é sempre proporcionar acréscimo de tecnologia ao campo devido à necessidade de alternativas que permitam interagir a água de irrigação com outros produtos (sólidos, líquidos e gasosos)

necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas e utilização do sistema de forma otimizada, tornando-a mais eficiente tanto do ponto de vista agrônômico como econômico.

O dióxido de carbono atua como inibidor do processo de entupimento devido aos fatores de origem biológica dos emissores empregados na irrigação por gotejamento (AIROLDI, 2007).

O estudo do efeito da aplicação de gases nos sistemas de irrigação por gotejamento via água de irrigação se faz importante em razão da carência de dados relativos a concentrações aplicadas que não prejudiquem o desempenho do sistema. Segundo Rettore Neto et al. (2007), informações sobre o comportamento da vazão de emissores são raras quando aplicado CO₂ na água de irrigação.

A relação vazão versus pressão, a perda de carga ao longo da linha lateral e no emissor e o percurso da água no mesmo, constituem as características hidráulicas que influenciam diretamente o desempenho do sistema. Essas características dependem do tipo de emissor, do material, do processo de fabricação e da forma de conexão do emissor na linha (MAIA, 1994).

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a dinâmica do uso de CO₂ em

gotejadores autocompensantes, com emissores posicionados tanto para baixo, quanto para cima, observando a ocorrência de histerese para curvas de vazão em função da pressão crescente e decrescente em diferentes modelos para diferentes concentrações de CO₂.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma bancada multifunção instalada no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, situada no município de Piracicaba-SP. Foram avaliados cinco modelos de gotejadores autocompensantes presentes no mercado nacional. Na Tabela 1 são apresentadas as características técnicas dos emissores ensaiados.

Tabela 1. Descrição técnica dos modelos de gotejadores utilizados nos ensaios, com suas respectivas identificações e características técnicas.

Modelo	Identificação	Vazão	ØN	Pressão	Espaçamento entre gotejadores
		L h ⁻¹	mm	kPa	m
RAM	M1	1,6	16	50-400	0,75
RAM	M2	2,3	16	50-400	1,00
UNIRAM	M3	1,6	16	50-400	0,33
DRIPNET PC	M4	1,6	16	50-400	0,75
Naan PC	M5	2,1	16	100-350	0,80

Os gotejadores receberam os seguintes tratamentos:

a) Pressões: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 kPa (pressão crescente e decrescente para identificação da ocorrência de histerese);

b) Posição dos emissores: para baixo e para cima;

c) Temperatura da água: 25°C (variação máxima de 3°C);

d) Concentração de CO₂: Natural, 50, 100, 200 e 400% da dissolução máxima de CO₂ em água na temperatura (solubilidade de CO₂ a 25° C igual a 0,1449 gCO₂/100 gH₂O).

Primeiramente foi realizada uma leitura de vazão para os diferentes modelos de gotejadores ensaiados, como forma de observar as suas vazões originais. Quando se aplicou o gás no sistema, a água após passar através dos gotejadores foi recolhida por uma calha que a reconduziu até um reservatório de descarte, a fim de não recircular água com gás dissolvido anteriormente nas linhas. Após o início da aplicação do gás, a pressão foi aferida para 50 kPa, medindo-se a temperatura da solução para o monitoramento adequado do ensaio. Após a coleta de dados na referida pressão, a mesma foi ajustada para o valor subsequente para proceder a nova avaliação. Foi conectado à tubulação de recalque, um reservatório tipo cilindro com capacidade de armazenamento igual a 25 kg de CO₂ sob pressão 50 kgf cm⁻². Para quantificar as dosagens a serem aplicadas no sistema, foram efetuados cálculos conforme a “Lei de Henry” (que equaciona a solubilidade de gases em líquidos).

À temperatura de 25° C e pressão atmosférica, a solubilidade máxima do gás na água é de 0,73818 L_{CO₂} L_{H₂O}⁻¹, ou seja, para a aplicação do valor correspondente a dissolução máxima no sistema com vazão igual 200 L h⁻¹

(3,33 L min⁻¹), o volume de gás injetado por minuto foi de 2,45 L_{CO₂} min⁻¹. Desta forma, o valor foi dobrado quando se desejou aplicar 200% da dissolução máxima e reduzido à metade quando se desejou aplicar 50%. Para controlar as aplicações do gás no sistema, foi utilizado um fluxômetro de precisão 1 L_{CO₂} min⁻¹. Estando o mesmo posicionado no cilindro formando um ângulo de 45° com a superfície, foram realizadas decomposições de vetores para ajuste das aplicações.

O procedimento para realização da obtenção de vazão consistiu da pressurização do sistema, estabilização da pressão em 150 kPa (± 5 kPa) no início da linha, posicionamento dos coletores sob os respectivos gotejadores com 3 segundos de defasagem e retirada dos coletores com a mesma sequência e defasagem de tempo após 5 minutos de coleta. Para o monitoramento da pressão utilizou-se um manômetro com precisão de 10 kPa. Utilizou-se o método gravimétrico para a determinação do volume coletado de cada emissor, com utilização de uma balança de precisão certificada.

Depois de tabulados os pesos, considerando-se o peso específico da água igual à unidade, convertido em volume, efetuaram-se os cálculos de vazão média (expressando-se os valores de vazão em L h⁻¹), coeficiente de variação de vazão e coeficiente de uniformidade de distribuição de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os valores de vazão média e teste de comparação de médias para o modelo M1.

Tabela 2. Vazão média (q_m), expressa em L h⁻¹ dos gotejadores referentes ao modelo M1, e teste de média.

Tratamento	Curva Vazão	Posição	Pressão (kPa)							
			50	100	150	200	250	300	350	400
Natural	Crescente	P/baixo	1,52 ^d	1,69 ^b	1,70 ^b	1,66 ^c	1,69 ^b	1,70 ^b	1,76 ^a	1,77 ^a
		P/cima	1,53 ^f	1,65 ^{de}	1,62 ^e	1,68 ^c	1,67 ^{cd}	1,73 ^b	1,79 ^a	1,73 ^b
	Decrescente	P/baixo	1,52 ^e	1,61 ^c	1,56 ^d	1,58 ^d	1,58 ^d	1,63 ^c	1,70 ^b	1,74 ^a
		P/cima	1,50 ^e	1,59 ^{cd}	1,57 ^d	1,57 ^d	1,60 ^c	1,68 ^b	1,68 ^b	1,75 ^a
50% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,49 ^d	1,65 ^b	1,63 ^b	1,58 ^c	1,62 ^b	1,66 ^{ab}	1,61 ^b	1,69 ^a
		P/cima	1,60 ^{cd}	1,64 ^b	1,64 ^b	1,60 ^c	1,61 ^c	1,64 ^b	1,67 ^a	1,58 ^d
	Decrescente	P/baixo	1,48 ^d	1,63 ^b	1,62 ^{bc}	1,60 ^c	1,59 ^c	1,60 ^c	1,67 ^a	1,67 ^a
		P/cima	1,38 ^e	1,61 ^c	1,60 ^{cd}	1,58 ^d	1,57 ^d	1,60 ^{cd}	1,64 ^b	1,68 ^a
100% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,55 ^c	1,67 ^{ab}	1,66 ^b	1,64 ^b	1,64 ^b	1,64 ^b	1,67 ^{ab}	1,70 ^a
		P/cima	1,56 ^c	1,67 ^a	1,67 ^a	1,63 ^b	1,61 ^b	1,63 ^b	1,67 ^a	1,68 ^a
	Decrescente	P/baixo	1,52 ^c	1,60 ^b	1,59 ^b	1,60 ^b	1,60 ^b	1,59 ^b	1,65 ^a	1,65 ^a
		P/cima	1,42 ^d	1,64 ^a	1,62 ^b	1,59 ^c	1,59 ^c	1,63 ^{ab}	1,64 ^a	1,66 ^a
200% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,46 ^c	1,67 ^a	1,65 ^a	1,62 ^b	1,62 ^b	1,63 ^b	1,66 ^a	1,66 ^a
		P/cima	1,54 ^d	1,66 ^b	1,63 ^{bc}	1,61 ^c	1,64 ^b	1,66 ^b	1,71 ^a	1,69 ^a
	Decrescente	P/baixo	1,53 ^e	1,58 ^{cd}	1,59 ^c	1,60 ^c	1,57 ^d	1,62 ^{bc}	1,63 ^b	1,67 ^a
		P/cima	1,44 ^e	1,64 ^{bc}	1,62 ^c	1,60 ^{cd}	1,59 ^d	1,61 ^c	1,65 ^a	1,67 ^a
400% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,54 ^d	1,74 ^a	1,68 ^b	1,63 ^c	1,65 ^c	1,68 ^b	1,69 ^b	1,73 ^a
		P/cima	1,67 ^a	1,68 ^a	1,65 ^b	1,66 ^{ab}	1,66 ^{ab}	1,65 ^b	1,64 ^b	1,67 ^a
	Decrescente	P/baixo	1,35 ^d	1,64 ^c	1,61 ^c	1,62 ^c	1,64 ^c	1,62 ^c	1,75 ^a	1,71 ^b
		P/cima	1,73 ^a	1,61 ^c	1,63 ^c	1,66 ^b	1,61 ^c	1,62 ^c	1,66 ^b	1,67 ^b

* Médias seguidas da mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 2 são mostradas as diferenças estatísticas, quando se comparou as vazões nas diferentes pressões utilizadas no ensaio dentro de cada “tratamento” numa determinada “posição” e “sentido”. As maiores reduções de vazão foram observadas para as aplicações de 50% CO₂ sentido decrescente com o orifício do gotejador voltado para cima e para as aplicações de 400% CO₂ sentido decrescente com o orifício do gotejador voltado para baixo, sendo observados tais valores para os pontos extremos das curvas vazão versus pressão. Robles (2003), em pesquisa de campo com adição de dióxido de

carbono à água de irrigação para fins de adubação verificou que os emissores das linhas laterais de irrigação que recebiam a injeção desse gás, apresentaram problemas de entupimento reduzidos.

Na Tabela 3 são mostrados os coeficientes de variação de vazão (CV, %) dos tratamentos para o modelo 1.

Tabela 3. Coeficiente de variação de vazão (CV, %) dos gotejadores referentes ao modelo M1.

		Modelo M1															
		Pressão Crescente (kPa)							Pressão Decrescente (kPa)								
T ¹ (%)	P ²	50	100	150	200	250	300	350	400	50	100	150	200	250	300	350	400
N	B	4,6	4,7	4,5	4,3	3,9	2,2	4,3	4,7	3,7	4,5	3,5	5,1	4,4	6,3	3,6	4,3
	A	3,3	4,5	3,6	7,2	4,4	4,5	5,0	10	3,2	3,2	3,1	3,3	4,8	4,8	8,8	12
50	B	3,1	4,0	4,7	7,1	5,1	6,7	2,5	8,4	3,2	3,3	2,3	1,9	3,8	4,2	6,3	8,2
	A	3,1	2,7	3,0	2,8	2,9	2,6	2,5	3,7	3,2	3,2	3,1	3,3	4,8	4,8	8,8	12
100	B	3,8	3,1	2,7	2,4	2,4	2,3	2,7	2,8	4,8	2,5	4,3	2,6	2,0	2,3	7,4	2,7
	A	5,0	3,0	2,8	2,2	5,3	1,6	2,1	2,1	4,7	2,8	2,8	2,0	1,7	2,1	2,2	4,5
200	B	4,9	2,8	2,7	3,7	2,7	2,9	2,8	2,7	3,3	2,7	2,5	2,9	2,1	3,4	2,4	2,7
	A	3,3	2,2	3,2	5,3	2,6	2,4	8,6	2,9	3,1	2,0	1,9	5,2	2,5	2,2	2,8	2,8
400	B	3,4	6,7	3,9	3,4	4,3	2,6	2,6	3,3	4,3	3,2	3,3	4,0	4,3	4,4	8,3	3,2
	A	6,2	2,5	5,8	2,8	3,4	2,1	2,7	2,5	3,1	2,0	1,9	5,2	2,5	2,2	2,8	2,8

¹ Tratamentos: Natural (N), 50, 100, 200 e 400% CO₂.

² Posição: emissores voltados para baixo (B) e emissores voltados para cima (A).

O M1 com aplicações de 50% de CO₂ até a pressão de 250 kPa (pressão decrescente), apresentou valores de CV superiores a 4% (emissores voltados para cima) além de demonstrar decréscimo no CV de até 7% em relação a 400 kPa, onde foi observado os valores de CV acima de 10%. Valores similares de CV foram verificados na ausência de CO₂ (emissores voltados para cima); entretanto o M1, de maneira geral, apresentou bom desempenho com baixos valores de coeficiente de variação de vazão, conforme a classificação

ASAE Standard EP405.1 (1999).

Na Tabela 4 são apresentados os valores de uniformidade de distribuição de água (UD %) dos tratamentos para modelo 1.

Tabela 4. Uniformidade de distribuição dos gotejadores referentes ao modelo M1

		Modelo M1															
		Pressão Crescente							Pressão Decrescente								
T ¹ (%)	P ²	50	100	150	200	250	300	350	400	50	100	150	200	250	300	350	400
N	B	95	95	96	96	96	98	96	95	96	96	97	95	96	94	96	96
	A	97	95	96	93	96	96	95	90	97	97	97	97	95	95	91	88
50	B	97	96	95	93	95	93	98	92	97	97	98	98	96	96	94	92
	A	97	97	97	97	97	97	97	96	96	97	97	97	97	98	98	98
100	B	96	97	97	98	98	98	97	97	95	98	96	97	98	98	93	97
	A	95	97	97	98	95	98	98	98	95	97	97	98	98	98	98	95
200	B	95	97	97	96	97	97	97	97	97	97	97	97	98	97	98	97
	A	97	98	97	95	97	98	91	97	97	97	97	97	98	96	97	97
400	B	97	93	96	97	96	97	97	97	96	97	97	96	96	96	92	97
	A	94	97	94	97	97	98	97	98	97	98	98	95	98	98	97	97

¹ Tratamentos: Natural (N), 50, 100, 200 e 400% CO₂.

² Posição: emissores voltados para baixo (B) e emissores voltados para cima (A).

Os menores valores de uniformidade do M1 foram observados nos tratamentos sem a aplicação de CO₂ com pressão decrescente de 400 a 350 kPa, com valores de UD de 88 e 91%, o mesmo foi verificado na pressão crescente de 400 kPa com UD de 90%; em média os valores de uniformidade sempre se mostraram excelentes (> 90%) nas pressões crescentes e decrescentes e nos tratamentos com níveis de CO₂ e sem CO₂. Cunha et al. (2013) trabalhando com dois modelos de tubo gotejadores, demonstraram que em ambos os modelos o sentido da pressão (crescente e decrescente) tem influência sobre a uniformidade de aplicação, podendo ser este efeito de até 8%, indicando uma dificuldade ou até mesmo uma incerteza na obtenção de uniformidades desejadas, que pode ocorrer simplesmente com a maneira com a qual ocorre a

pressurização do sistema e da regulação da pressão.

Na Tabela 5 são mostradas as diferenças estatísticas, quando se comparou as vazões nas diferentes pressões utilizadas no ensaio dentro de cada “tratamento” numa determinada “posição” e “sentido”.

Tabela 5. Vazão média (q_m), expresso em $L h^{-1}$ dos gotejadores referentes ao modelo M2, e teste de média.

Tratamento	Curva Vazão	Posição	Pressão							
			50	100	150	200	250	300	350	400
Natural	Crescente	P/baixo	2,51 ^a	2,49 ^a	2,40 ^c	2,37 ^c	2,45 ^b	2,50 ^a	2,50 ^a	2,49 ^a
		P/cima	2,50 ^b	2,46 ^{cd}	2,34 ^e	2,45 ^d	2,49 ^{bc}	2,57 ^a	2,60 ^a	2,57 ^a
	Decrescente	P/baixo	2,41 ^a	2,35 ^b	2,18 ^e	2,21 ^d	2,29 ^c	2,34 ^b	2,39 ^a	2,41 ^a
		P/cima	2,43 ^d	2,39 ^e	2,26 ^f	2,27 ^f	2,39 ^e	2,49 ^c	2,54 ^b	2,59 ^a
50% CO ₂	Crescente	P/baixo	2,22 ^d	2,49 ^a	2,39 ^b	2,30 ^c	2,30 ^c	2,41 ^b	2,40 ^b	2,41 ^b
		P/cima	2,30 ^{ab}	2,27 ^b	2,32 ^a	2,18 ^d	2,25 ^c	2,33 ^a	2,28 ^{bc}	2,20 ^d
	Decrescente	P/baixo	2,28 ^d	2,42 ^a	2,33 ^c	2,27 ^d	2,29 ^d	2,34 ^b	2,39 ^a	2,37 ^b
		P/cima	2,07 ^e	2,23 ^{bc}	2,15 ^d	2,18 ^d	2,16 ^d	2,21 ^{cd}	2,26 ^b	2,37 ^a
100% CO ₂	Crescente	P/baixo	2,39 ^{ab}	2,41 ^a	2,33 ^c	2,28 ^d	2,29 ^d	2,31 ^c	2,32 ^c	2,36 ^b
		P/cima	2,29 ^{ab}	2,31 ^a	2,30 ^a	2,21 ^c	2,24 ^c	2,23 ^c	2,27 ^b	2,27 ^b
	Decrescente	P/baixo	2,25 ^b	2,28 ^a	2,24 ^b	2,07 ^c	2,23 ^b	2,24 ^b	2,27 ^a	2,27 ^a
		P/cima	2,16 ^c	2,33 ^a	2,19 ^{bc}	2,11 ^d	2,15 ^c	2,20 ^b	2,20 ^b	2,21 ^b
200% CO ₂	Crescente	P/baixo	2,04 ^e	2,37 ^a	2,28 ^b	2,16 ^d	2,24 ^c	2,24 ^c	2,30 ^b	2,29 ^b
		P/cima	2,23 ^a	2,12 ^c	2,19 ^b	2,08 ^d	2,09 ^{cd}	2,18 ^b	2,13 ^c	2,21 ^{ab}
	Decrescente	P/baixo	2,01 ^d	2,14 ^c	2,15 ^c	2,28 ^a	2,20 ^b	2,28 ^a	2,25 ^a	2,28 ^a
		P/cima	1,97 ^f	2,17 ^b	2,09 ^d	2,02 ^e	2,09 ^d	2,13 ^c	2,23 ^a	2,11 ^{cd}
400% CO ₂	Crescente	P/baixo	2,16 ^a	2,17 ^a	2,15 ^a	2,09 ^b	2,10 ^b	2,18 ^a	2,12 ^b	2,17 ^a
		P/cima	2,09 ^a	2,05 ^b	1,88 ^e	1,99 ^c	1,92 ^d	1,99 ^c	1,87 ^e	1,94 ^d
	Decrescente	P/baixo	1,62 ^e	2,07 ^{cd}	2,04 ^d	2,07 ^{cd}	2,18 ^a	2,13 ^b	2,09 ^c	2,15 ^{ab}
		P/cima	1,63 ^d	1,95 ^b	1,97 ^b	1,95 ^b	1,93 ^c	2,03 ^a	1,90 ^c	1,93 ^c

* Média com a mesma letra minúscula entre colunas não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Na pressão de 100 kPa, foi onde verificou-se o maior valor de vazão média, isto

quando levado em consideração a vazão versus a pressão para a aplicação de 200% CO₂, no sentido crescente de pressão e com os orifícios dos gotejadores voltados para baixo. Ocorreu redução de vazão para a vazão versus pressão com aplicação de 400% CO₂ sentido crescente com o orifício do gotejador voltado para cima, e também para ambas as posições no sentido decrescente, observou-se redução de vazão para a pressão de 50 kPa.

O modelo M2 apresentou desempenho adequado com baixos valores de coeficiente de variação somente para o tratamento natural (Zero aplicação de CO₂), conforme a classificação ASAE Standard EP405.1, 1999; assim a aplicação de 50% de CO₂ em média mostrou valores de CV superiores àqueles verificados na ausência de CO₂, principalmente em gotejadores voltados para cima e para a pressão em sentido crescente, indicando uma maior pré-disposição deste modelo a distúrbios de vazão quando em aplicação de CO₂ (Tabela 6).

Tabela 6. Coeficiente de variação de vazão (CV, %) dos gotejadores referentes ao modelo M2.

T ¹ (%)	P ²	Modelo M2															
		Pressão Crescente (kPa)								Pressão Decrescente (kPa)							
		50	100	150	200	250	300	350	400	50	100	150	200	250	300	350	400
N	B	1,9	3,0	3,5	3,9	3,8	4,6	4,8	4,7	1,1	2,8	3,2	4,1	3,8	4,8	4,9	5,1
	A	1,9	3,2	3,1	3,5	3,2	3,4	3,6	4,3	2,3	3,1	4,0	5,1	2,8	2,4	2,8	2,8
50	B	20	3,2	3,9	3,4	5,7	3,0	3,7	3,0	7,0	3,0	3,3	3,7	3,1	3,0	3,0	3,4
	A	18	16	4,8	11	8,6	7,1	11	9,4	2,3	3,1	4,0	5,1	2,8	2,4	2,8	2,8
100	B	8,3	6,5	5,1	4,8	4,4	5,7	6,4	6,5	8,4	8,2	4,7	2,3	3,0	6,0	5,3	7,7
	A	19	20	13	12	10	14	12	11	18	10	13	13	13	15	16	12
200	B	14	7,9	6,8	6,8	5,1	6,2	5,4	4,3	16	11	9,7	12	3,5	3,7	4,8	4,3
	A	27	28	18	23	23	19	22	38	52	33	31	28	28	37	32	31
400	B	18	17	18	16	17	18	16,6	11,4	29,2	20,3	17,4	18,8	17,3	11,6	12,9	10,7
	A	35	34	39	29	34	32	36	33,8	52,4	32,9	30,7	27,8	28,5	37,2	32,3	31

¹ Tratamentos: Natural (N), 50, 100, 200 e 400% CO₂.

² Posição: emissores voltados para baixo (B) e emissores voltados para cima (A).

O M2 apresentou aumento de CV (> 10%) com o orifício do gotejador voltado para cima, para a aplicação de 100% de CO₂ em todas as pressões, tanto em sentido crescente quanto decrescente; os maiores valores de CV foram observados nas pressões de 50 e 100 kPa (> 19%) em sentido crescente e nas pressões de 50 e 350 kPa (> 16%) em sentido decrescente; já com aplicação de 200% de CO₂ os valores de CV com orifícios voltados para cima ultrapassaram os 20% com pressão crescente, enquanto que com pressão decrescente estes valores foram de até 52,4%, de tal modo pode-se verificar em gotejadores voltados para baixo nas pressões de 50 kPa (pressão crescente e decrescente), 100 e 200 kPa (pressão decrescente).

Os níveis de CO₂ acima de 200%, para o M2, com orifícios voltados para baixo provoca variações relevantes na vazão, conforme o observado na aplicação de 400% de CO₂, a qual causou distúrbios de vazões significativos no M2, em todas as condições; consequentemente para os tratamentos com aplicação de CO₂ observou-se que a aplicação da dosagem máxima de CO₂ dissolvida em água foi a que ocasionou os piores valores de CV, recebendo classificação inaceitável para ambos os sentidos e posições dos gotejadores.

Os valores de uniformidade para o M2 mantiveram-se sempre maiores do que 80% até a aplicação de 100% de CO₂ (gotejadores voltados para cima), até a aplicação de 200% de CO₂ pressão decrescente (gotejadores voltados para baixo) e até a aplicação de 400% de CO₂ pressão crescente (gotejadores voltados para baixo). Ribeiro et al. (2012) avaliaram 22 gote-

jadores sobre condições extremas para o uso de sistema de irrigação por gotejamento e constataram que ocorreu maior suscetibilidade ao entupimento em razão do posicionamento do orifício dos gotejadores (para baixo) (Tabela 7).

Tabela 7. Uniformidade de distribuição dos gotejadores referentes ao modelo M2

		Modelo M2															
		Pressão Crescente (kPa)								Pressão Decrescente (kPa)							
T ¹ (%)	p ²	50	100	150	200	250	300	350	400	50	100	150	200	250	300	350	400
		N	B	98	97	97	96	96	95	95	95	99	97	97	96	96	95
A	98		97	97	97	97	97	96	96	98	97	96	95	97	98	97	97
50	B	80	97	96	97	94	97	96	97	93	97	97	96	97	97	97	97
	A	81	84	95	89	91	93	91	91	81	87	88	91	88	90	96	96
100	B	92	93	95	95	96	94	94	93	92	92	95	77	97	94	95	92
	A	81	80	86	87	90	86	87	89	82	89	87	87	87	85	84	88
200	B	86	92	93	93	95	94	95	96	84	89	90	87	96	96	95	96
	A	73	72	82	77	77	81	78	62	67	76	76	77	77	85	88	76
400	B	82	83	82	84	83	82	83	89	71	80	83	81	83	88	87	89
	A	65	66	61	71	66	68	64	66	48	67	69	72	72	63	68	69

¹ Tratamentos: Natural (N), 50, 100, 200 e 400% CO₂.

² Posição: emissores voltados para baixo (B) e emissores voltados para cima (A).

A maior redução de vazão foi observada na vazão versus pressão com aplicação de 100% CO₂ sentido crescente com o orifício do gotejador voltado para cima para a pressão de 50 kPa em relação aos demais pontos de pressão. Esse distúrbio de vazão pode ter ocorrido devido esse emissor não ter acionado adequadamente sua compensação de pressão para o

ponto inicial da curva vazão versus pressão (Tabela 8).

Tabela 8. Vazão média (q_m), expresso em $L h^{-1}$ dos gotejadores referentes ao modelo M3, e teste de média.

Tratamento	Curva Vazão	Posição	Pressão (kPa)							
			50	100	150	200	250	300	350	400
Natural	Crescente	P/baixo	1,06 ^b	1,57 ^a	1,59 ^a	1,58 ^a	1,60 ^a	1,60 ^a	1,62 ^a	1,59 ^a
		P/cima	0,82 ^b	1,54 ^a	1,53 ^a	1,57 ^a	1,54 ^a	1,56 ^a	1,52 ^a	1,50 ^a
	Decrescente	P/baixo	1,37 ^b	1,53 ^a	1,50 ^a	1,54 ^a	1,55 ^a	1,56 ^a	1,59 ^a	1,56 ^a
		P/cima	1,34 ^b	1,51 ^a	1,51 ^a	1,54 ^a	1,50 ^a	1,53 ^a	1,51 ^a	1,52 ^a
50% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,31 ^b	1,49 ^a	1,50 ^a	1,47 ^a	1,47 ^a	1,52 ^a	1,42 ^a	1,38 ^b
		P/cima	0,71 ^c	1,56 ^a	1,58 ^a	1,51 ^a	1,52 ^a	1,51 ^a	1,51 ^a	1,38 ^b
	Decrescente	P/baixo	1,30 ^b	1,53 ^a	1,52 ^a	1,50 ^a	1,46 ^a	1,52 ^a	1,44 ^a	1,34 ^b
		P/cima	0,97 ^b	1,51 ^a	1,52 ^a	1,48 ^a	1,46 ^a	1,49 ^a	1,46 ^a	1,50 ^a
100% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,38 ^c	1,58 ^a	1,57 ^a	1,55 ^{ab}	1,47 ^b	1,49 ^b	1,50 ^{ab}	1,51 ^{ab}
		P/cima	0,17 ^c	1,57 ^a	1,52 ^a	1,51 ^a	1,49 ^{ab}	1,44 ^b	1,46 ^b	1,44 ^b
	Decrescente	P/baixo	1,31 ^b	1,50 ^a	1,48 ^a	1,50 ^a	1,48 ^a	1,45 ^a	1,51 ^a	1,48 ^a
		P/cima	0,70 ^c	1,56 ^a	1,42 ^b	1,47 ^{ab}	1,47 ^{ab}	1,48 ^{ab}	1,50 ^a	1,41 ^b
200% CO ₂	Crescente	P/baixo	0,72 ^c	1,47 ^a	1,43 ^a	1,39 ^a	1,32 ^b	1,31 ^b	1,32 ^b	1,29 ^b
		P/cima	1,32 ^c	1,47 ^a	1,40 ^b	1,45 ^a	1,45 ^a	1,41 ^b	1,32 ^c	1,52 ^a
	Decrescente	P/baixo	0,75 ^d	1,39 ^a	1,42 ^a	1,35 ^{ab}	1,33 ^{bc}	1,37 ^{ab}	1,33 ^{bc}	1,28 ^c
		P/cima	0,92 ^b	1,42 ^a	1,44 ^a	1,43 ^a	1,42 ^a	1,42 ^a	1,41 ^a	1,41 ^a
400% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,29 ^b	1,43 ^a	1,44 ^a	1,32 ^b	1,32 ^b	1,28 ^b	1,24 ^b	1,25 ^b
		P/cima	1,28 ^b	1,40 ^a	1,40 ^a	1,20 ^c	1,20 ^c	1,30 ^b	1,34 ^b	1,30 ^b
	Decrescente	P/baixo	0,57 ^d	1,43 ^a	1,39 ^a	1,37 ^a	1,32 ^b	1,24 ^c	1,26 ^{bc}	1,29 ^b
		P/cima	0,17 ^d	1,20 ^{ab}	1,22 ^a	1,12 ^{bc}	1,12 ^{bc}	1,14 ^b	1,20 ^{ab}	1,08 ^c

* Média com a mesma letra minúscula entre colunas não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A pressão de 50 kPa apresentou elevados valores de coeficiente de variação de vazão no sentido crescente e com o orifício do gotejador voltado para cima quando aplicou-se 50% e 100% de CO₂. O mesmo comportamento foi observado para aplicação de 200% de CO₂, mas para a posição do orifício do gotejador voltada

para cima, sendo que o distúrbio de vazão continuou para as pressões subsequentes nessa posição e dosagem de CO₂. Foram observados valores elevados de CV também para o tratamento natural (aplicação Zero de CO₂) para a pressão de 50 kPa o que pode ter ocorrido devido a não compensação de pressão do gotejador para esse ponto (vazão versus pressão). Para o sentido decrescente os mais baixos valores de coeficiente de variação de vazão foram observados para o tratamento com aplicação de 200% de CO₂ para todos os pontos (vazão versus pressão) (Tabela 9).

Tabela 9. Coeficiente de variação de vazão (CV, %) dos gotejadores referentes ao modelo M3.

T ¹ (%) P ²	Modelo M3																
	Pressão Crescente (kPa)								Pressão Decrescente (kPa)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	50	100	150	200	250	300	350	400	
N	B	53	5,6	5,1	5,1	4,1	4,7	4,9	5,9	4,5	5,4	4,9	4,1	3,9	5	4,8	5,1
	A	85	6,4	4,7	5,6	7,4	7,9	10,7	11	3,2	4,3	5,0	3,8	6,7	7,7	9,4	10
50	B	3,4	8,8	10	11	13,2	6,2	18,3	21	4,9	9,9	8,8	11,6	13,1	11,6	16	22
	A	134	3,3	5,4	7,8	7,3	5,8	5,9	8,8	3,2	4,3	5	3,8	6,7	7,7	9,4	10
100	B	1,4	5,1	5,8	7,7	21	15,8	13,5	12	6,5	6,6	15,2	13,6	17,9	19,3	10,3	12
	A	100	4,8	11	10	11,1	15,1	14,4	14	85,4	4,2	19,5	10,2	11,3	11,9	6,5	13
200	B	84	17	21	24	32,9	33,5	34,1	35	87,7	21	24,5	29,5	30,1	33,4	28	36
	A	4,5	7,4	9,7	13	14	10,1	16,0	17	100	41	42,5	50,4	51,4	46,1	36	53
400	B	6,4	7,1	10	9,6	10,9	14,2	12,9	15	82,2	8,2	10,2	9,8	9,6	13,2	14,4	15
	A	10	8,9	7,7	37	38,7	19,3	11,9	17	100	41	42,5	50,4	51,4	46,1	36	53

¹ Tratamentos: Natural (N), 50, 100, 200 e 400% CO₂.

² Posição: emissores voltados para baixo (B) e emissores voltados para cima (A).

A uniformidade de aplicação para o M3 foi inferior a 50% e logo considerada ruim, principalmente na pressão de 50 kPa, sendo inaceitável nos menores níveis de CO₂ (< 400%) para a pressão decrescente e para os

maiores níveis de CO₂ (> 0%) para a pressão crescente. A pressão decrescente mostrou afetar de maneira mais relevante a uniformidade do que a pressão crescente, sobretudo a partir da aplicação de 200% de CO₂ (Tabela 10).

Tabela 10. Uniformidade de distribuição dos gotejadores referentes ao modelo M3

		Modelo M3															
T ¹ (%)	P ²	Pressão Crescente (kPa)								Pressão Decrescente (kPa)							
		50	100	150	200	250	300	350	400	50	100	150	200	250	300	350	400
N	B	47	94	95	95	96	95	95	94	95	95	95	96	96	95	95	95
	A	15	94	95	94	93	92	89	89	97	96	95	96	93	92	91	90
50	B	97	91	90	89	87	94	82	79	95	90	91	88	87	88	84	78
	A	0	97	95	92	93	94	94	91	50	96	95	92	94	97	94	93
100	B	99	95	94	92	79	84	87	88	94	93	85	86	82	81	90	88
	A	0	95	89	90	89	85	86	86	15	96	81	90	89	88	94	87
200	B	16	83	79	76	67	66	66	65	12	79	76	71	70	67	64	64
	A	96	93	90	87	86	90	84	83	44	90	93	93	88	90	85	91
400	B	94	93	90	90	89	86	87	85	18	92	90	90	90	87	86	85
	A	90	91	92	63	61	81	88	83	0	59	58	50	49	54	64	47

¹ Tratamentos: Natural (N), 50, 100, 200 e 400% CO₂.

² Posição: emissores voltados para baixo (B) e emissores voltados para cima (A).

Na Tabela 11 são mostradas as diferenças estatísticas, quando se comparou as vazões nas diferentes pressões utilizadas no ensaio dentro de cada “tratamento” numa determinada “posição” e “sentido”. Os melhores comportamentos de vazão em relação ao tratamento natural foram observados para os tratamentos utilizando 100% e 400% CO₂ no sentido crescente com o orifício do gotejador voltado para baixo.

Tabela 11. Vazão média (q_m), expresso em L h⁻¹ dos gotejadores referentes ao modelo M4, e teste de média.

Tratamento	Curva Vazão	Posição	Pressão (kPa)							
			50	100	150	200	250	300	350	400
Natural	Crescente	P/baixo	1,57 ^b	1,71 ^a	1,69 ^a	1,67 ^a	1,69 ^a	1,73 ^a	1,71 ^a	1,70 ^a
		P/cima	1,62 ^b	1,68 ^{ab}	1,67 ^{ab}	1,70 ^{ab}	1,71 ^a	1,74 ^a	1,76 ^a	1,74 ^a
Natural	Decrescente	P/baixo	1,59 ^b	1,68 ^a	1,59 ^b	1,61 ^{ab}	1,63 ^{ab}	1,65 ^{ab}	1,67 ^{ab}	1,68 ^a
		P/cima	1,56 ^c	1,66 ^{ab}	1,62 ^{bc}	1,63 ^{bc}	1,64 ^{bc}	1,69 ^{ab}	1,70 ^{ab}	1,73 ^a
50% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,55 ^b	1,71 ^a	1,71 ^a	1,67 ^a	1,66 ^a	1,67 ^a	1,68 ^a	1,69 ^a
		P/cima	1,67 ^{ab}	1,70 ^{ab}	1,68 ^{ab}	1,64 ^{ab}	1,66 ^{ab}	1,73 ^a	1,67 ^{ab}	1,63 ^b
50% CO ₂	Decrescente	P/baixo	1,55 ^b	1,68 ^a	1,66 ^a	1,66 ^a	1,66 ^a	1,68 ^a	1,70 ^a	1,66 ^a
		P/cima	1,42 ^b	1,65 ^a	1,63 ^a	1,62 ^a	1,63 ^a	1,64 ^a	1,65 ^a	1,67 ^a
100% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,61 ^b	1,71 ^a	1,67 ^{ab}	1,66 ^{ab}	1,66 ^{ab}	1,66 ^{ab}	1,67 ^{ab}	1,67 ^{ab}
		P/cima	1,59 ^b	1,74 ^a	1,71 ^a	1,66 ^a	1,66 ^a	1,66 ^a	1,68 ^a	1,68 ^a
100% CO ₂	Decrescente	P/baixo	1,57 ^b	1,66 ^a	1,64 ^{ab}	1,63 ^{ab}	1,61 ^{ab}	1,63 ^{ab}	1,64 ^{ab}	1,65 ^{ab}
		P/cima	1,47 ^b	1,71 ^a	1,68 ^a	1,63 ^a	1,64 ^a	1,66 ^a	1,65 ^a	1,64 ^a
200% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,43 ^b	1,72 ^a	1,68 ^a	1,65 ^a	1,70 ^a	1,65 ^a	1,68 ^a	1,66 ^a
		P/cima	1,60 ^b	1,68 ^b	1,68 ^b	1,61 ^b	1,67 ^b	1,68 ^b	1,68 ^b	1,93 ^a
200% CO ₂	Decrescente	P/baixo	1,59 ^a	1,64 ^a	1,64 ^a	1,62 ^a	1,59 ^a	1,63 ^a	1,65 ^a	1,66 ^a
		P/cima	1,51 ^c	1,70 ^a	1,63 ^{ab}	1,63 ^{ab}	1,61 ^b	1,64 ^{ab}	1,66 ^{ab}	1,66 ^{ab}
400% CO ₂	Crescente	P/baixo	1,60 ^b	1,71 ^a	1,67 ^a	1,65 ^a	1,68 ^a	1,71 ^a	1,71 ^a	1,72 ^a
		P/cima	1,62 ^a	1,65 ^a	1,58 ^{ab}	1,60 ^{ab}	1,57 ^{ab}	1,54 ^b	1,53 ^b	1,53 ^b
400% CO ₂	Decrescente	P/baixo	1,37 ^b	1,69 ^a	1,65 ^a	1,64 ^a	1,67 ^a	1,67 ^a	1,70 ^a	1,71 ^a
		P/cima	1,46 ^b	1,63 ^a	1,62 ^a	1,60 ^a	1,58 ^a	1,58 ^a	1,61 ^a	1,61 ^a

* Média com a mesma letra minúscula entre colunas não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O M4 apresentou desempenho adequado com baixos valores de coeficiente de variação de vazão, conforme a classificação ASAE Standard EP405.1, 1999, com exceção do tratamento com aplicação de 400% de CO₂ no sentido crescente para o orifício do gotejador voltado para cima no ponto de pressão igual a 50 kPa que foi classificado como inaceitável (Tabela 12).

Tabela 12. Coeficiente de variação de vazão (CV) dos gotejadores referentes ao modelo M4

		Modelo M4															
		Pressão Crescente (kPa)								Pressão Decrescente (kPa)							
T ¹ (%)	P ²	50	100	150	200	250	300	350	400	50	100	150	200	250	300	350	400
		N	B	2,4	1,9	2,2	2,7	4,1	7,0	4,7	4,8	2,0	3,4	2,7	2,6	3,2	3,8
	A	4,1	4,2	2,3	4,4	4,5	4,8	4,4	3,5	2,2	2,0	2,3	2,3	3,6	4,0	4,1	4,6
50	B	4,3	2,4	3,6	2,7	2,5	3,0	3,4	3,4	2,4	3,1	3,0	3,6	3,7	4,6	3,9	4,0
	A	2,2	2,5	2,7	3,2	3,6	5,5	4,0	6,1	2,2	2,0	2,3	2,3	3,6	4,0	4,1	4,6
100	B	2,7	3,5	3,6	3,4	3,3	3,2	3,3	2,7	2,5	2,9	2,8	2,8	3,0	3,4	3,1	3,4
	A	2,5	6,5	5,0	5,0	4,4	4,0	3,9	4,1	4,4	5,0	5,6	4,3	3,9	3,9	4,2	4,2
200	B	2,0	2,7	2,7	2,9	8,8	2,5	3,0	2,3	2,4	2,9	2,0	3,2	2,4	5,4	2,5	2,7
	A	2,6	2,7	5,2	3,9	3,3	3,4	2,8	3,5	11	5,4	6,0	6,0	7,1	5,2	5,3	7,8
400	B	2,6	2,6	2,6	3,2	4,2	4,3	5,7	5,4	6,3	3,5	4,5	4,1	5,2	4,5	4,4	5,5
	A	24	6,0	8,0	6,9	7,0	11	9,8	15	11	5,4	6,0	6,0	7,1	5,2	5,3	7,8

¹ Tratamentos: Natural (N), 50, 100, 200 e 400% CO₂.

² Posição: emissores voltados para baixo (B) e emissores voltados para cima (A).

A uniformidade de distribuição de água nos tratamentos para o M4 se mostrou excelente (> 90%) para todos os níveis de CO₂ com gotejadores voltados para baixo, enquanto que para gotejadores voltados para cima este mesmo comportamento se manteve até a aplicação de 200% de CO₂, conseqüentemente o M4 demonstrou certa susceptibilidade a aplicação de 400% de CO₂ (gotejadores voltados para cima) com valores de uniformidade menores do que 90% (Tabela 13). Estes resultados estão de acordo com a literatura tanto a água saturada com CO₂ livre 800% de CO₂ quanto a água com aproximadamente a metade da concentração de saturação de CO₂ apresentam um menor entupimento dos gotejadores em relação à testemunha, menor consumo de água, economia

de água em condições de campo com alto CO₂ e aumento da eficiência do uso de água (D'ANDRIA et al., 1990; AIROLDI, 2007; DIJKSTRA et al., 2010).

Tabela 13. Uniformidade de distribuição dos gotejadores referentes ao modelo M4

		Modelo M4															
		Pressão Crescente (kPa)								Pressão Decrescente (kPa)							
T ¹ (%)	P ²	50	100	150	200	250	300	350	400	50	100	150	200	250	300	350	400
		N	B	98	98	98	97	96	93	95	95	98	97	97	97	97	96
	A	96	96	98	96	95	95	96	96	98	98	98	98	96	96	96	95
50	B	96	98	96	97	98	97	97	97	98	97	97	96	96	95	96	96
	A	98	98	97	97	96	94	96	94	98	97	98	97	94	95	95	96
100	B	97	96	96	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
	A	98	94	95	95	96	96	96	96	96	95	94	96	96	96	96	96
200	B	98	97	97	97	91	97	97	98	98	97	98	97	98	95	97	97
	A	97	97	95	96	97	97	97	97	93	98	98	97	98	96	98	97
400	B	97	97	97	97	96	96	94	95	94	96	96	96	95	96	96	94
	A	76	94	92	93	93	89	90	85	89	95	94	94	93	95	95	92

¹ Tratamentos: Natural (N), 50, 100, 200 e 400% CO₂.

² Posição: emissores voltados para baixo (B) e emissores voltados para cima (A).

Os modelos M5 receberam os mesmos tratamentos com exceção da posição dos emissores, em razão de suas formas de conexão na linha e por possuírem duas ou mais saídas que se alternam ao longo da mesma.

Na Tabela 14 são mostradas as diferenças estatísticas, quando se comparou as vazões nas diferentes pressões utilizadas no ensaio dentro de cada “tratamento” numa determinada “posição” e “sentido”. A aplicação de 100% CO₂ para ambos os sentidos foi a que apresentou as maiores reduções de vazão para a

pressão de 50 kPa, diferindo estatisticamente dos demais valores.

Tabela 14. Vazão média (q_m), expresso em L h⁻¹ dos gotejadores referentes ao modelo M5, e teste de média.

Tratamento	Curva Vazão	Pressão (kPa)							
		50	100	150	200	250	300	350	400
Natural	Crescente	2,07 ^b	2,17 ^b	2,24 ^{ab}	2,21 ^{ab}	2,27 ^{ab}	2,23 ^{ab}	2,34 ^a	2,27 ^{ab}
	Decrescente	2,02 ^b	2,07 ^b	2,08 ^b	2,10 ^b	2,15 ^b	2,21 ^{ab}	2,25 ^{ab}	2,35 ^a
50% CO ₂	Crescente	2,09 ^b	2,22 ^{ab}	2,19 ^{ab}	2,17 ^{ab}	2,16 ^b	2,16 ^b	2,20 ^{ab}	2,32 ^a
	Decrescente	2,03 ^b	2,13 ^{ab}	2,10 ^{ab}	2,03 ^b	2,10 ^{ab}	2,21 ^a	2,11 ^{ab}	2,17 ^{ab}
100% CO ₂	Crescente	1,93 ^b	2,20 ^a	2,14 ^a	2,16 ^a	2,16 ^a	2,19 ^a	2,13 ^a	2,20 ^a
	Decrescente	1,85 ^b	2,11 ^a	2,10 ^a	2,05 ^a	2,08 ^a	2,11 ^a	2,14 ^a	2,17 ^a
200% CO ₂	Crescente	2,05 ^a	2,15 ^a	2,12 ^a	2,11 ^a	2,04 ^a	2,12 ^a	2,10 ^a	2,13 ^a
	Decrescente	1,92 ^b	2,12 ^a	2,07 ^{ab}	2,09 ^a	2,08 ^a	2,11 ^a	2,08 ^a	2,12 ^a
400% CO ₂	Crescente	2,02 ^a	2,15 ^a	2,12 ^a	2,07 ^a	2,08 ^a	2,07 ^a	2,04 ^a	2,09 ^a
	Decrescente	1,60 ^b	2,03 ^a	2,03 ^a	2,04 ^a	2,05 ^a	2,01 ^a	2,03 ^a	2,06 ^a

* Média com a mesma letra minúscula não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O modelo M5 apresentou baixos valores de coeficiente de variação de vazão, conforme a classificação ASAE Standard EP405.1 (1999). Com exceção dos valores observados para o tratamento com 50% de CO₂ no sentido crescente para o ponto de pressão igual a 400 kPa (CV > 19%) e para o tratamento com 400% de CO₂ no sentido decrescente para o ponto de pressão igual a 50 kPa (CV > 25%) que foram classificados como inaceitáveis (Tabela 15).

Tabela 15. Coeficiente de variação de vazão (CV, %) dos gotejadores referentes ao modelo M5.

		Modelo M5															
P ¹	Pressão (kPa)	Pressão Crescente (kPa)							Pressão Decrescente (kPa)								
		50	100	150	200	250	300	350	400	50	100	150	200	250	300	350	400
N	-	2,6	4,3	5,4	3,7	5,9	6,7	9,6	2,9	7,1	5,0	4,4	4,1	6,3	4,1	3,5	9,3
50	-	2,3	4,2	4,0	3,0	5,6	8,1	6,3	19,7	4,1	4,8	8,7	8,8	6,4	11,7	6,7	7,0
100	-	5,4	5,9	2,9	3,0	2,5	2,1	2,9	1,6	1,2	3,2	3,4	3,0	2,8	2,1	2,3	1,7
200	-	7,7	2,9	2,4	4,0	7,9	4,3	7,6	3,6	8,9	3,8	3,0	2,5	3,1	2,2	4,5	3,8
400	-	1,6	2,5	3,3	3,5	3,2	4,1	6,5	4,3	25,1	4,0	4,8	3,6	4,0	4,4	8,8	6,8

¹ Tratamentos: Natural (N), 50, 100, 200 e 400% CO₂.

A uniformidade de distribuição do M5 foi bastante homogênea para as aplicações de CO₂ com boa parte dos valores maiores do que 90%, e com apenas 3 valores de uniformidade abaixo desta excelente uniformidade, verificado na aplicação de 50% de CO₂ com pressão de 300 e 400 kPa, na pressão com sentido decrescente e crescente respectivamente e observado na aplicação de 400% de CO₂ com pressão de 50 kPa (pressão decrescente) (Tabela 16).

Tabela 16. Uniformidade de distribuição dos gotejadores referentes ao modelo M5

		Modelo M5															
T ¹	P	Pressão Crescente (kPa)							Pressão Decrescente (kPa)								
		50	100	150	200	250	300	350	400	50	100	150	200	250	300	350	400
0	-	97	96	95	96	94	93	90	97	93	95	96	96	94	96	97	91
50	-	98	96	96	97	94	92	94	80	96	95	91	91	94	88	93	93
100	-	95	94	97	97	98	98	97	98	99	97	97	97	97	98	98	98
200	-	92	97	98	96	92	96	92	96	91	96	97	97	97	98	95	96
400	-	98	97	97	97	97	96	93	96	75	96	95	96	96	96	91	93

¹ Tratamentos: Natural (N), 50, 100, 200 e 400% CO₂.

A histerese foi mais acentuada na pressão de 50 kPa, tanto para pressão crescente quanto para pressão decrescente, entretanto demonstrou comportamento inverso quanto a aplicação de CO₂, ou seja para a pressão crescente a histerese foi mais presente na aplicação de 0 (natural), 50, 100 e 200% de CO₂, enquanto que para a pressão decrescente a histerese ocorreu principalmente na aplicação de 400, 200, e 100% de CO₂. A histerese também foi verificada na pressão de 250 kPa (pressão crescente e emissor voltado para baixo) e 300 kPa (pressão decrescente e emissor voltado para baixo) com aplicação de 200% de CO₂, e 400 kPa (pressão decrescente e emissor voltado para cima) com aplicação de 200 e 400% de CO₂.

O efeito da histerese de maneira geral se concentrou na aplicação de 200% de CO₂ (pressão crescente e emissor voltado para baixo) ocorrendo nas pressões de 50, 250, 300, 350 e 400 kPa; na aplicação de 200 e 400% de CO₂, nas pressões de 50, 100, 150, 200, 250 e 400 kPa (pressão decrescente e emissor voltado para cima).

Dijkstra et al. (2010) encontrou resultados favoráveis a aplicação de CO₂ via água de irrigação em sistema de gotejamento com concentração de CO₂ na água de 400 e 780 mgL⁻¹, ainda complementa que esses resultados tornam possível a utilização de CO₂ como tratamento preventivo ao entupimento dos emissores na irrigação localizada, também verificaram economia de água em condições de campo com alto CO₂. Otimizando o tempo de aplicação com a frequência de aplicação de acordo com faixas de alcalinidade da água de irrigação, pode-se ter uma solução para a irrigação por gotejamento com água calcária.

CONCLUSÕES

O efeito da histerese se concentrou na aplicação de 200% de CO₂ (pressão crescente e emissor voltado para baixo) ocorrendo nas pressões de 50, 250, 300, 350 e 400 kPa; na aplicação de 200 e 400% de CO₂, nas pressões de 50, 100, 150, 200, 250 e 400 kPa (pressão decrescente e emissor voltado para cima).

Para os diferentes emissores ensaiados o uso de CO₂ via água de irrigação aumentou o efeito da histerese para a faixa de pressão de serviço a qual o emissor opera.

O coeficiente de variação de vazão se torna elevado quando se aplica a concentração de 400% da dissolução do CO₂ em água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIROLDI, R. P. S. **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento em irrigação localizada com água residuária.** 2007. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 140p., 2007.

ASAE Standards. **Standards Engeneering practices data: EP405.1.** Desing and Istalation of microirrigation systems. St. Joseph, Mich. Dec., 1999. p. 879-883.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; OLIVEIRA, R. C.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J.; GOMES FILHO, R. R. Caracterização hidráulica de gotejadores em condição superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada.** Fortaleza, CE, INOVAGRI. v.7, nº. 5, p 317 - 329, 2013.

D'ANDRIA, R.; NOVERO, R.; SMITH, D. H.; SHANAHAN, J. F.; MOORE, D. F. Drip irrigation of tomato using carbonated water and mulch in Colorado. **ISHS Acta horticulturae** 278: In. Symposium on Scheduling of Irrigation for Vegetable Crops under Field Condition. 1990.

DIJKSTRA, F. A; BLUMENTHAL, D.; MORGAN, J.A.; LECAIN, D.R.; FOLLETT, R.F. Elevated CO₂ effects on semi-arid grassland plants in relation to water availability and competition. **Functional Ecology**, British Ecological Society, P.1-10, 2010.

DURÃO, P. L.; GALVÃO, A. C. Gás carbônico em irrigação: tecnologia de ponta para aumentar a produtividade e qualidade dos produtos agrícolas. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 110, p. 12- 15, 1995.

FURLAN, R. A., REZENDE, F. C., ALVES, D R. B. Effect of irrigation water depth and CO₂ application on sweet pepper yield cv. Mayata in plastic greenhouse. **Hortic. Bras., Dec.**, v.20, nº.4, p.547-550, 2002.

MAIA, L.A.F. **Desenvolvimento de um software para auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação localizada.** Piracicaba: ESALQ/USP 1994, 158p.

RETTORE NETO, O.; COELHO, R. D.; ALVES, P. M.; TEIXEIRA, M. B. **Histerese em gotejadores autocompensantes novos com aplicação de CO₂ na água de irrigação.** In: XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Inovação tecnológica: reorganização e sustentabilidade dos espaços produtivos, SBEA, v.01, 2007, Bonito.

RIBEIRO, P. A. A.; TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; FRANCO, E. M.; SILVA, N. F.; CARVALHO, L. C. C.; ALVES, M. E. B. Gotejadores submetidos a condições críticas de qualidade da água. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - IRRIGA**, Botucatu, Ed. Especial, p. 368 - 379, 2012.

ROBLES, W. G. R. **Dióxido de carbono via fertiirrigação em batateira (*Solanum tuberosum L.*) sob condições de Campo.** Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 175p., 2003.