

Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.9, n°.2, p. 42 - 56, 2015

ISSN 1982-7679 (On-line)

Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>

DOI: 10.7127/rbai.v9n200278

Protocolo 278.15 – 23/01/2015 Aprovado em 05/03/2015

## HISTERESE EM GOTEJADORES AUTOCOMPENSANTES NOVOS COM APLICAÇÃO DE CO<sub>2</sub> NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Rubens Duarte Coelho<sup>1</sup>, Marconi Batista Teixeira<sup>2</sup>, Osvaldo Rettore Neto<sup>3</sup>, Fernando Nobre Cunha<sup>4</sup>, Nelmício Furtado da Silva<sup>5</sup>, Antônio Henrique Cardoso do Nascimento<sup>6</sup>

### RESUMO

Devido à dificuldade de se obter na literatura informações sobre a histerese em gotejadores associada a aplicação de CO<sub>2</sub>, objetivou-se avaliar a histerese dos emissores quando utilizados em sistemas de irrigação contendo CO<sub>2</sub> dissolvido na água. 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. Foram utilizados 7 modelos de gotejadores novos sendo eles: Naan PC (Naan-Dan), Ram (Netafim), Hydro PC (Plastro), Irridrip (Irrimon), Drip In PC (Drip In), Carbo Drip PC (Carborumdum) e Uniran (Netafim). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 10 repetições, em esquema fatorial 7 x 2 x 2 x 2 x 8, sendo 7 modelos de tubo gotejador, com e sem CO<sub>2</sub>, duas temperaturas (25 e 40°C), dois sentidos de emissores (crescente e decrescente) e oito pressões (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 kPa). O sistema de compensação não foi afetado pelo gás e os CVf na presença de CO<sub>2</sub> diminuiu, assim o gás tornou mais eficiente o emissor variando menos a vazão para as diferentes pressões observadas.

**Palavras-chaves:** desempenho hidráulico, histerese, emissor.

## HYSTERESIS IN AUTO COMPENSATING DRIPPERS WITH APPLICATION OF CO<sub>2</sub> IN IRRIGATION WATER

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Livre Docente, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, C.P.: 9, CEP: 13418-900, fone (0xx19) 3447-8551, email: rdcoelho@usp.br

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Dr. Instituto Federal Goiano – IFGoiano – Rio Verde, GO, email: marconibt@gmail.com

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, Prof. Dr. Universidade Federal de Pelotas – UFPEL/FAEM, email: rdcoelho@usp.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Laboratório de Hidráulica e Irrigação do IFGoiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, email: fernandonobrecunha@hotmail.com

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Laboratório de Hidráulica e Irrigação do IFGoiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, email: nelmiciofurtado@gmail.com

<sup>6</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Dr. Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE - Campus Serra Talhada, PE, email: tonyagronomia@gmail.com

## ABSTRACT

Due to the difficulty in obtaining information in the literature on hysteresis in drip associated with CO<sub>2</sub> application, aimed to evaluate the hysteresis of the emitters when used in irrigation systems in water containing dissolved CO<sub>2</sub>. 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. PC Naan (Naan - Dan) , Ram (Netafim), Hydro PC (Plastro), Irridrip (Irrimon), Drip In PC (Drip In), Carbo Drip PC (Carborumdum) and Uniran (Netafim): 7 new models drippers they were being used . The experimental design was completely randomized with 10 replications in a factorial 7 x 2 x 2 x 2 x 8 with 7 models tube dripper, with and without CO<sub>2</sub>, two temperatures (25 and 40° C), two-way transmitters (increasing and decreasing) and eight pressures (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 and 400 kPa). The compensation system was not affected by gas and CVf in the presence of CO<sub>2</sub> decreased, so the gas was more efficient at emitting less varying the flow for different pressures observed.

**Keyword:** hydraulic performance, hysteresis, emitter.

## INTRODUÇÃO

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 (SILVEIRA et al., 2014). Recentemente no Brasil introduziu-se a aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação, aproveitando os sistemas de irrigação já existentes, com o objetivo de tentar promover aumentos na produtividade das culturas.

Apesar de haverem pesquisas em que a aplicação de CO<sub>2</sub> através da água não tenha resultado aumento na produção, há várias outras, conduzidas tanto em condições de casa de vegetação como de campo, que relatam incrementos significativos na produção de fitomassa total, na fotossíntese e na resistência ao estresse hídrico (GOMES et al., 2005). Assim a tendência da irrigação localizada é sempre proporcionar acréscimo de tecnologia ao campo devido a necessidade de alternativas que permitam interagir a água de irrigação com outros produtos (sólidos, líquidos e gasosos) necessários para o crescimento e desenvolvimento mais eficiente tanto do ponto de vista agrônomo como econômico.

Pode-se verificar que além da vantagem financeira proporcionadas pelo aumento da produção, devido a aplicação do CO<sub>2</sub>, também pode-se verificar aumento na vida útil dos emissores, pois a aplicação do gás evita/dificulta a obstrução dos emissores. 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).

Devido à dificuldade de se obter na literatura informações sobre a histerese em gotejadores associada a aplicação de CO<sub>2</sub>, objetivou-se avaliar a histerese dos emissores quando utilizados em sistemas de irrigação contendo CO<sub>2</sub> dissolvido na água.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na bancada multiobjetiva de ensaio de gotejamento no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Foram utilizados 7 modelos de gotejadores novos sendo eles: Naan PC (Naan-Dan), Ram (Netafim), Hydro PC (Plastro), Irridrip (Irrimon), Drip In PC (Drip In),

Carbo Drip PC (Carborumdum) e Uniram (Netafim).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 10 repetições, em esquema fatorial 7 x 2 x 2 x 2 x 8, sendo 7 modelos de tubo gotejador, com e sem CO<sub>2</sub>, duas temperaturas (25 e 40°C), dois sentidos de emissores (crescente e decrescente – aplicação de pressão) e oito pressões (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 kPa). Os modelos de gotejadores utilizados foram chamados aleatoriamente de M1, M2, M3, M4, M5, M6 e M7, para não expor a empresa fabricante.

Foram retiradas amostras contendo 11 metros de comprimento das bobinas dos referidos tubos e instaladas na bancada. Após esta etapa selecionou-se ao acaso 10 emissores em cada linha para coleta de vazão. A vazão do emissor foi determinada através do método da pesagem, onde foi coletado toda água do emissor por um período de 10 minutos. Depois de transcorrido este tempo o recipiente era retirado e pesado em balança com precisão de 0,01g. Posteriormente a vazão coletada era extrapolada para vazão em litros por hora. As pressões de ensaios foram: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 kPa.

Para o monitoramento da pressão utilizou-se monômetro digital com precisão de 0,1 kPa. A pressão foi controlada através de registro de agulha instalado na linha de recalque. A temperatura durante o ensaio foi controlada através de duas resistências instaladas dentro do reservatório onde estava acoplada a motobomba, que proporcionou precisão de  $\pm 1$  °C.

A temperatura de trabalho foi de 25 °C. A aplicação de CO<sub>2</sub> foi controlada através de fluxímetro de forma a aplicar a máxima concentração de gás capaz de ser dissolvido em água. Para a temperatura de 25 °C foi aplicado uma vazão de 0,35 L min<sup>-1</sup>.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 1 e

5% de probabilidade, e uma vez constatada a significância, foi realizada a análise de regressão e as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da histerese foi detectado em 6 dos 7 modelos ensaiados, sendo que o emissor M7 foi o único que não apresentou o efeito, porém conforme apresentado na Tabela 1 o emissor M7 apresentou o efeito da histerese em apenas um ponto da curva, que caracteriza uma instabilidade hidráulica uma vez que este ponto está isolado dentro da variação de vazão, portanto, deve ser desconsiderado. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha et al. (2013). Assim a variação de pressão provocada pelo acionamento da retro-lavagem automática ou até mesmo manual do sistema de filtragem poderá ocasionar o efeito da histerese comprometendo a repressurização do sistema podendo provocar o acionamento do sistema de proteção elétrica do conjunto motobomba. Silveira et al. (2014) trabalhando com diferentes emissores com uso de CO<sub>2</sub> via água de irrigação aumentou o efeito da histerese para a faixa de pressão de serviço a qual o emissor opera.

O M1 sem CO<sub>2</sub> mostrou um melhor comportamento em sentido decrescente de pressão, do que em sentido crescente, com uma diferença de 4,6%. Já na presença de CO<sub>2</sub> não foram observadas diferenças em ambas as temperaturas.

Os distúrbios de vazão no M2 foram mais presentes na temperatura de 40°C, principalmente em sentido crescente de pressão, com diferenças de aproximadamente 5,9 e 5,5% (sem e com CO<sub>2</sub>) e de 4,4% na temperatura de 25°C (sem CO<sub>2</sub>); o M3 também na temperatura de 40°C demonstrou queda na vazão de até 5%, sem e com CO<sub>2</sub> (sentido decrescente).

**Tabela 1.** Vazão informada pelo fabricante ( $q_{fab}$ ), vazão média ( $q_m$ ) e coeficiente de variação (CV) para os emissores ensaiados

Variáveis	Sentido	Modelos de gotejadores*													
		M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7	
		25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C
$q_{fab}$ (L h <sup>-1</sup> )		2.3		2.4		2.0		2.5		2.2		2.3		2.1	
$q_m$ sem CO <sub>2</sub> (L h <sup>-1</sup> )	C	2.40 <sup>aA</sup>	2.24 <sup>aB</sup>	2.51 <sup>aA</sup>	2.55 <sup>aA</sup>	2.01 <sup>aA</sup>	2.01 <sup>aA</sup>	2.79 <sup>aB</sup>	2.89 <sup>aA</sup>	2.27 <sup>aA</sup>	2.29 <sup>aA</sup>	2.25 <sup>aB</sup>	2.52 <sup>aA</sup>	2.11 <sup>aA</sup>	2.19 <sup>aA</sup>
	D	2.29 <sup>bA</sup>	2.23 <sup>aA</sup>	2.37 <sup>bA</sup>	2.42 <sup>bA</sup>	1.97 <sup>aA</sup>	1.91 <sup>bA</sup>	2.76 <sup>aA</sup>	2.72 <sup>bA</sup>	2.24 <sup>aA</sup>	2.20 <sup>bA</sup>	2.24 <sup>aB</sup>	2.37 <sup>bA</sup>	2.08 <sup>aA</sup>	2.04 <sup>bA</sup>
$q_m$ com CO <sub>2</sub> (L h <sup>-1</sup> )	C	2.34 <sup>aA</sup>	2.22 <sup>aB</sup>	2.47 <sup>aA</sup>	2.54 <sup>aA</sup>	1.98 <sup>aA</sup>	1.99 <sup>aA</sup>	2.78 <sup>aA</sup>	2.77 <sup>aA</sup>	2.29 <sup>aA</sup>	2.16 <sup>aB</sup>	2.22 <sup>aB</sup>	2.47 <sup>aA</sup>	2.09 <sup>aA</sup>	2.17 <sup>aA</sup>
	D	2.29 <sup>aA</sup>	2.21 <sup>aA</sup>	2.39 <sup>aA</sup>	2.41 <sup>bA</sup>	1.96 <sup>aA</sup>	1.90 <sup>bA</sup>	2.70 <sup>aA</sup>	2.65 <sup>aA</sup>	2.23 <sup>aA</sup>	1.92 <sup>bB</sup>	2.14 <sup>aB</sup>	2.29 <sup>bA</sup>	2.00 <sup>aA</sup>	2.01 <sup>bA</sup>
CV <sub>sem</sub> CO <sub>2</sub> (%)	C	5.42	1.83	4.61	4.78	3.37	2.98	6.79	3.49	5.09	2.81	4.18	2.70	9.09	5.23
	D	8.09	4.16	9.83	4.32	4.13	3.79	4.79	3.31	4.93	4.68	2.77	4.39	4.18	2.69
CV <sub>com</sub> CO <sub>2</sub> (%)	C	5.67	1.62	7.69	5.18	3.84	3.35	3.47	7.63	3.25	4.29	7.05	2.78	4.86	5.74
	D	4.78	4.06	6.64	4.48	3.47	3.57	4.37	9.98	3.43	4.52	8.60	6.53	6.74	2.58

\* Pressão de serviço igual a 150 kPa (recomendada pelos fabricantes).

\*\* Médias seguidas da mesma letra minúscula entre linhas para cada modelo não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

\*\*\* Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre colunas para cada modelo não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

**Tabela 2.** Vazão média ( $q_m$ ) utilizada para comparação entre os tratamentos sem e com CO<sub>2</sub> em cada um dos sentidos

Variáveis	Sentido	Modelos de gotejadores*													
		M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7	
		25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C
$q_m$ sem CO <sub>2</sub> (L h <sup>-1</sup> )	C	2.40 <sup>a</sup>	2.24 <sup>a</sup>	2.51 <sup>a</sup>	2.55 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>	2.79 <sup>a</sup>	2.89 <sup>a</sup>	2.27 <sup>a</sup>	2.29 <sup>a</sup>	2.25 <sup>a</sup>	2.52 <sup>a</sup>	2.11 <sup>a</sup>	2.19 <sup>a</sup>
$q_m$ com CO <sub>2</sub> (L h <sup>-1</sup> )	C	2.34 <sup>a</sup>	2.22 <sup>a</sup>	2.47 <sup>a</sup>	2.54 <sup>a</sup>	1.98 <sup>a</sup>	1.99 <sup>a</sup>	2.78 <sup>a</sup>	2.77 <sup>b</sup>	2.29 <sup>a</sup>	2.16 <sup>b</sup>	2.22 <sup>a</sup>	2.47 <sup>a</sup>	2.09 <sup>a</sup>	2.17 <sup>a</sup>
$q_m$ sem CO <sub>2</sub> (L h <sup>-1</sup> )	D	2.29 <sup>a</sup>	2.23 <sup>a</sup>	2.37 <sup>a</sup>	2.42 <sup>a</sup>	1.97 <sup>a</sup>	1.91 <sup>a</sup>	2.76 <sup>a</sup>	2.72 <sup>a</sup>	2.24 <sup>a</sup>	2.20 <sup>a</sup>	2.24 <sup>a</sup>	2.37 <sup>a</sup>	2.08 <sup>a</sup>	2.04 <sup>a</sup>
$q_m$ com CO <sub>2</sub> (L h <sup>-1</sup> )	D	2.29 <sup>a</sup>	2.21 <sup>a</sup>	2.39 <sup>a</sup>	2.41 <sup>a</sup>	1.96 <sup>a</sup>	1.90 <sup>a</sup>	2.70 <sup>a</sup>	2.65 <sup>a</sup>	2.23 <sup>a</sup>	1.92 <sup>a</sup>	2.14 <sup>a</sup>	2.29 <sup>a</sup>	2.00 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>

\* Pressão de serviço igual a 150 kPa (recomendada pelos fabricantes)

\*\* Médias seguidas da mesma letra minúscula entre linhas específica para cada modelo, temperatura e sentido não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

## HISTERESE EM GOTEJADORES AUTOCOMPENSANTES NOVOS COM APLICAÇÃO DE CO<sub>2</sub> NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

O M4 apresentou elevação na vazão tanto em sentido crescente quanto em sentido decrescente de pressão, nas temperaturas de 25 e 40°C, sem e com CO<sub>2</sub>, com aumentos mais expressivos de 13,5% na temperatura de 40°C, em sentido crescente e sem CO<sub>2</sub>; o mesmo foi verificado no M5, entretanto com aumentos menos relevantes (< 4%) e uma diminuição de 12,7% ocorrida na presença de CO<sub>2</sub> em sentido decrescente na temperatura de 40°C.

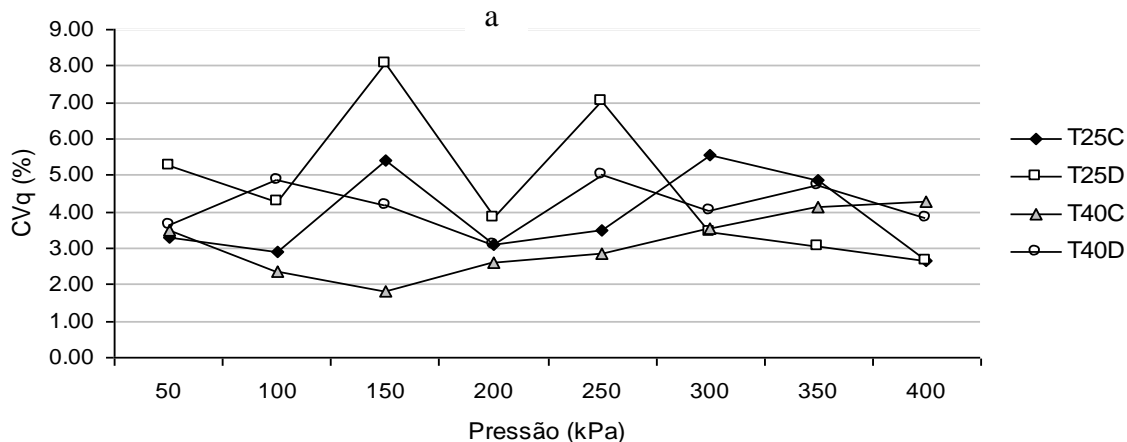
Os M6 e 7 demonstraram maiores variações na vazão no sentido crescente e decrescente de pressão na temperatura de 40°C (entre 9 e 0,5%), já na temperatura de 25°C não foram observadas diferenças em relação ao sentido da pressão. Estes resultados concordam com Bessler e Rodrigues, (2008) afirmam que a tendência de formação de precipitados a partir de soluções aquosas aumenta com a temperatura.

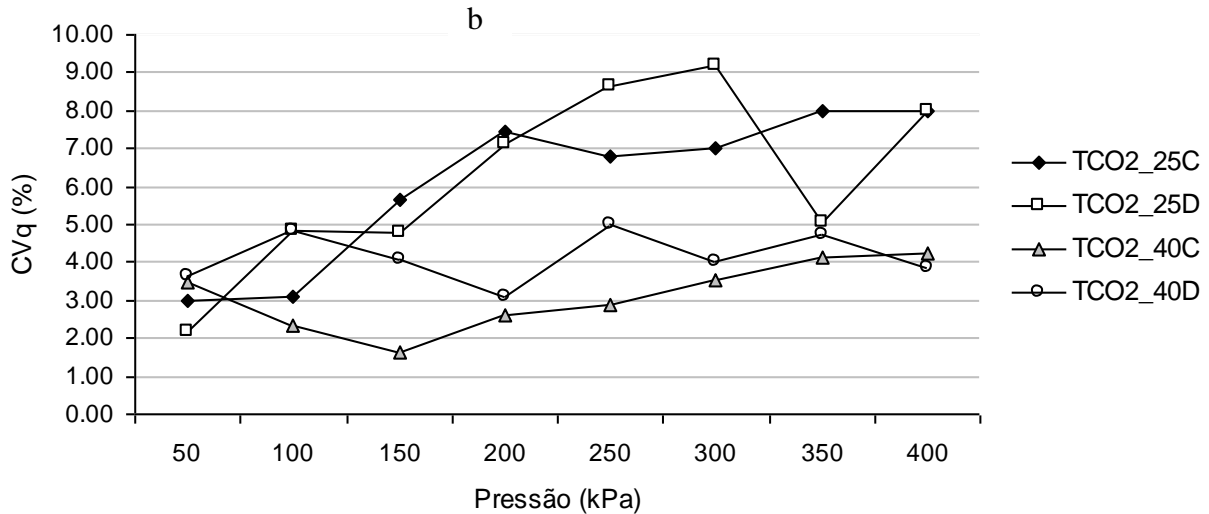
Conforme o projeto de normas da ABNT 12:02.08-022/86, todos os emissores classificam-se como bons pois, apresentam Coeficiente de variação de fabricação (CVf) inferior a 10%, além disso, de maneira geral não foram observadas diferenças relevante do CV entre com e sem CO<sub>2</sub> (CV < 5,3%) conforme apresentado na Tabela 1. Pela norma ISO 9261, apenas os emissores M7 e M5 estariam classificados como categoria A, os demais seriam enquadrados na categoria B.

O CO<sub>2</sub> só teve influência na vazão do M4 e M5 na temperatura de 40°C em sentido de pressão crescente, indicando diferenças de aproximadamente 4,1 e 5,7% respectivamente (Tabela 2). Para Silveira et al. (2014) O efeito da histerese se concentrou na aplicação de 200% de CO<sub>2</sub> (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 CO<sub>2</sub>, nas pressões de 50, 100, 150, 200, 250 e 400 kPa (pressão decrescente e emissor voltado para cima). O coeficiente de variação de vazão se torna elevado quando se aplica a concentração de 400% da dissolução do CO<sub>2</sub> em água.

### Caracterização hidráulica para o modelo 1

As Figuras 1a e b mostram o coeficiente de variação de vazão para o modelo 1. O M1 (sem CO<sub>2</sub>) em sentido decrescente, nas pressões de 150 e 250 kPa e na temperatura de 25°C apresentou CV superiores a 7%, enquanto nas demais situações o CV sempre esteve abaixo de 6%; já na presença de CO<sub>2</sub> e na temperatura de 25°C (sentido crescente e decrescente) de maneira geral o CV demonstrou aumentar com o aumento da pressão, conseqüentemente o CV aproximou-se mais drasticamente de 10%.

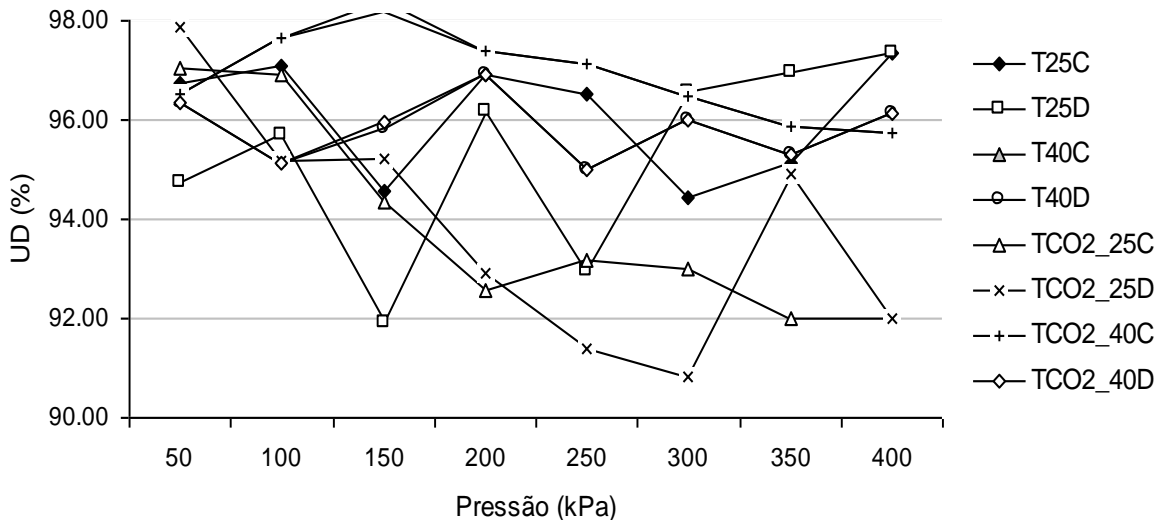




**Figura 1.** Coeficiente de variação de vazão para o modelo 1.

Na Figura 2 pode ser observada a uniformidade de distribuição de água para o modelo 1. Os valores de uniformidade do M1 foram sempre superiores a 90%,

classificada como excelente, tanto na presença quanto na ausência de CO<sub>2</sub>, logo o CO<sub>2</sub> não interferiu na uniformidade de aplicação do M1.



**Figura 2.** Uniformidade de distribuição de água para o modelo 1.

### Caracterização hidráulica para o modelo 2

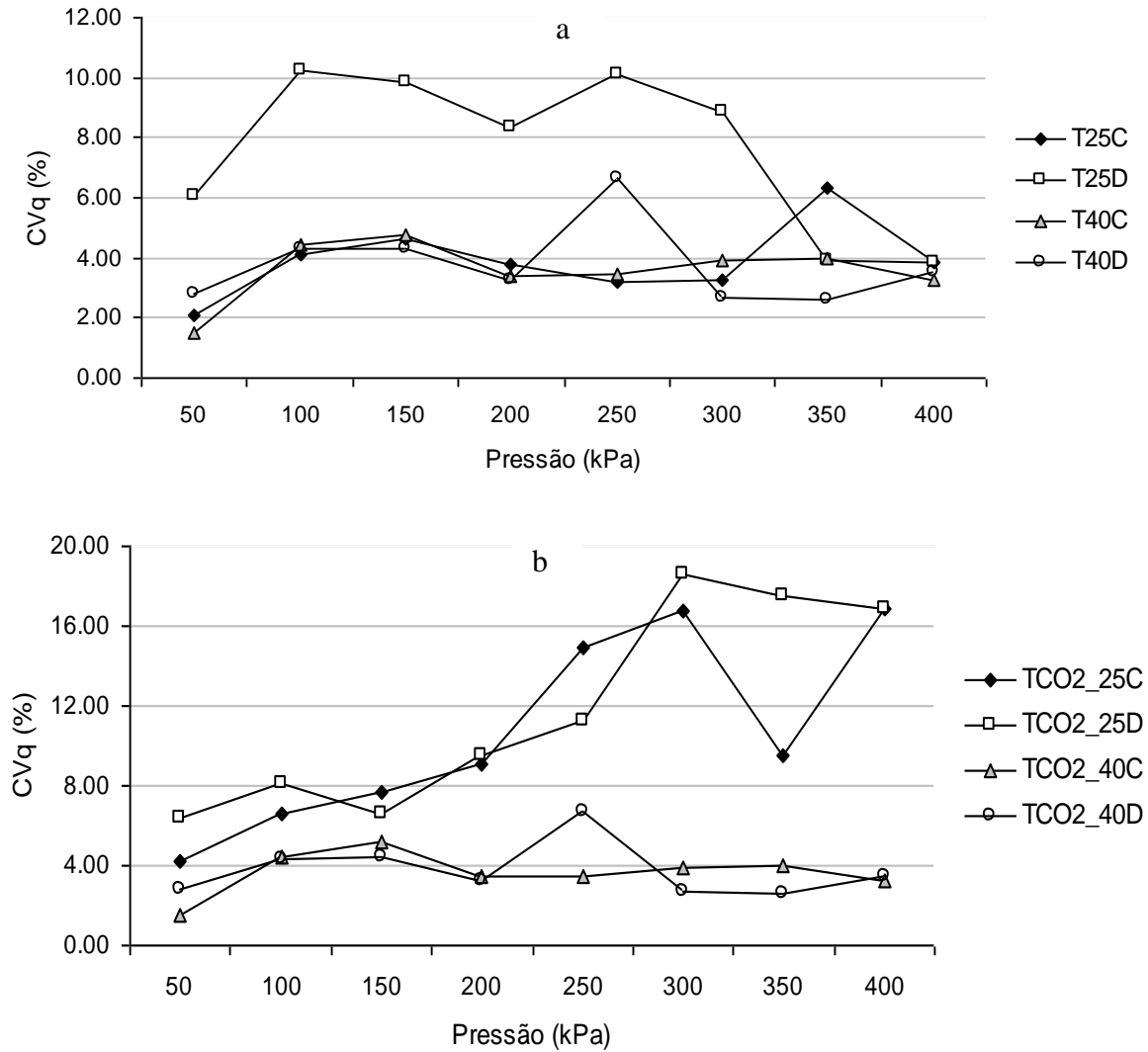
As Figuras 3a e b mostram o coeficiente de variação de vazão para o modelo 2. O M2 (sem CO<sub>2</sub>) similarmente ao M1 apresentou uma maior variação na temperatura de 25°C, em sentido de

crescente, entretanto, diferentemente ao ocorrido no M1 estas variações (> 8%) transcorreram entre as pressões de 100 e 300 kPa. O CO<sub>2</sub> a partir da pressão de 200 kPa (sentido crescente e decrescente) e na temperatura de 25°C, causou distúrbios de vazão relevantes no M2 (CV > 10%),

## HISTERESE EM GOTEJADORES AUTOCOMPENSANTES NOVOS COM APLICAÇÃO DE CO<sub>2</sub> NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

chegando a indicar variações da ordem de 18,6%. Segundo Batista et al. (2006) a sensibilidade ao

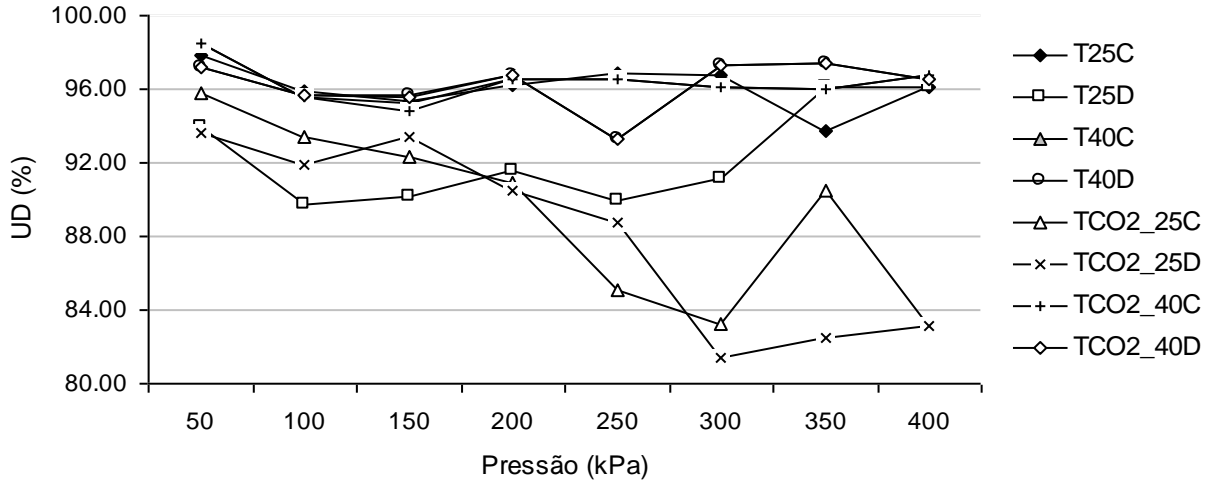
problema de entupimento varia com as características do emissor.



**Figura 3.** Coeficiente de variação de vazão para o modelo 2.

A Figura 4 mostra a uniformidade de distribuição de água para o modelo 2. A uniformidade do M2, conforme observado no CV, foi afetada pela presença de CO<sub>2</sub>, quando na temperatura de 25°C (sentido crescente e

decrecente), apresentando UD mínimo de 81% (uniformidade classificada como boa), logo a uniformidade do M2 demonstrou diminuir com o aumento da pressão, na temperatura de 25°C independentemente da posição do emissor.

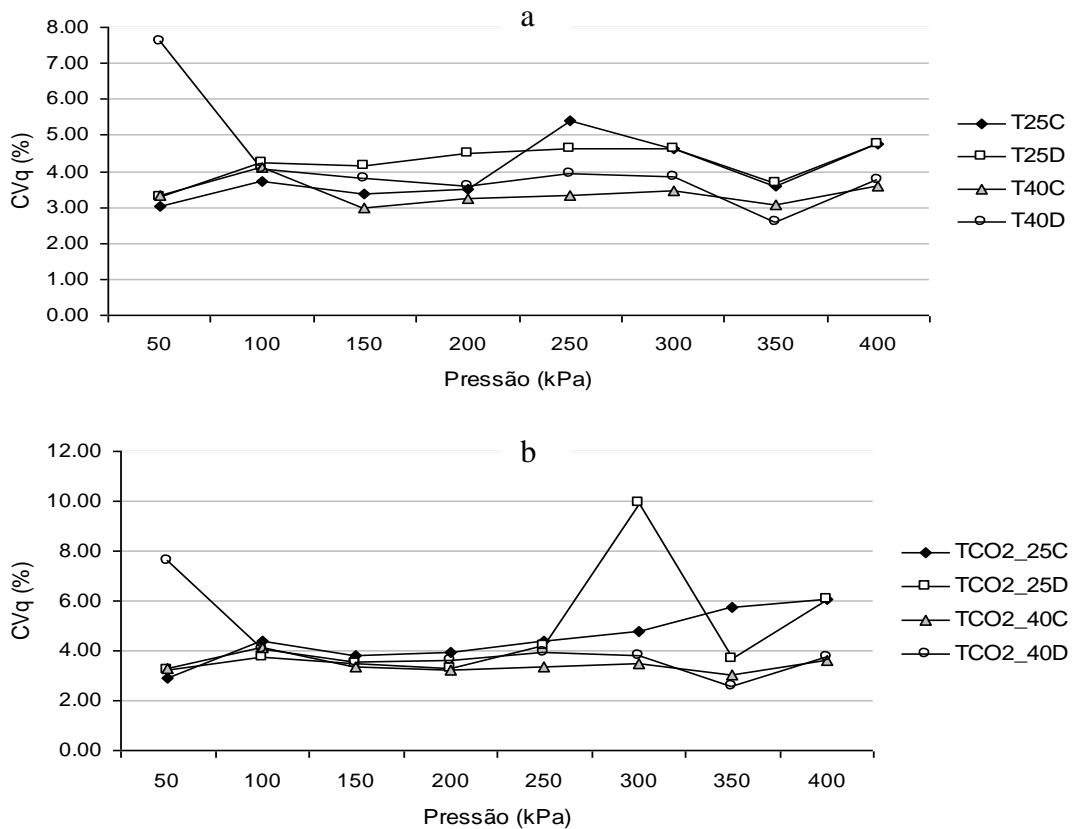


**Figura 4.** Uniformidade de distribuição de água para o modelo 2.

**Caracterização hidráulica para o modelo 3**

As Figuras 5a e b mostram o coeficiente de variação de vazão para o modelo 3. O CV do M3 (com e sem CO<sub>2</sub>) foi inferior a 8%, em ambas

os sentidos, temperaturas e pressões, com uma única exceção verificada na pressão de 300 kPa, na temperatura de 25°C e em sentido decrescente, onde foi observado um CV de 10%.



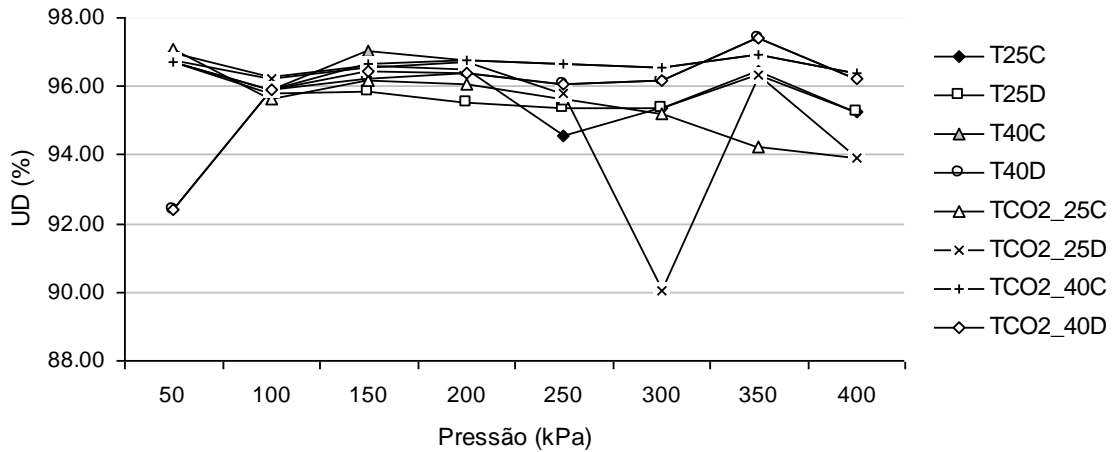
**Figura 5.** Coeficiente de variação de vazão para o modelo 3.



## HISTERESE EM GOTEJADORES AUTOCOMPENSANTES NOVOS COM APLICAÇÃO DE CO<sub>2</sub> NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

A Figura 6 mostra a uniformidade de distribuição de água para o modelo 3. A uniformidade do M3 foi excelente em todas as

temperaturas, pressões e sentidos dos emissores, sendo o menor valor de uniformidade observado de 90% (com CO<sub>2</sub>, 25°C e sentido decrescente).

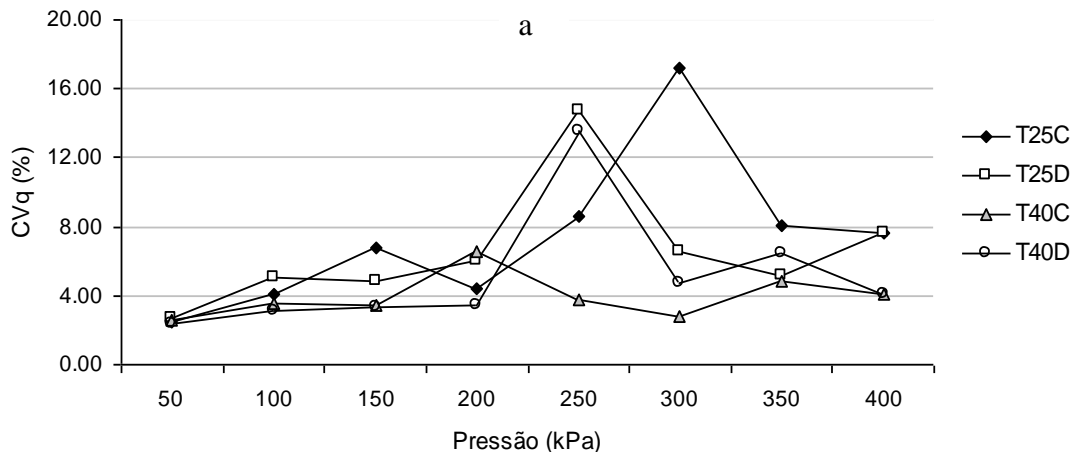


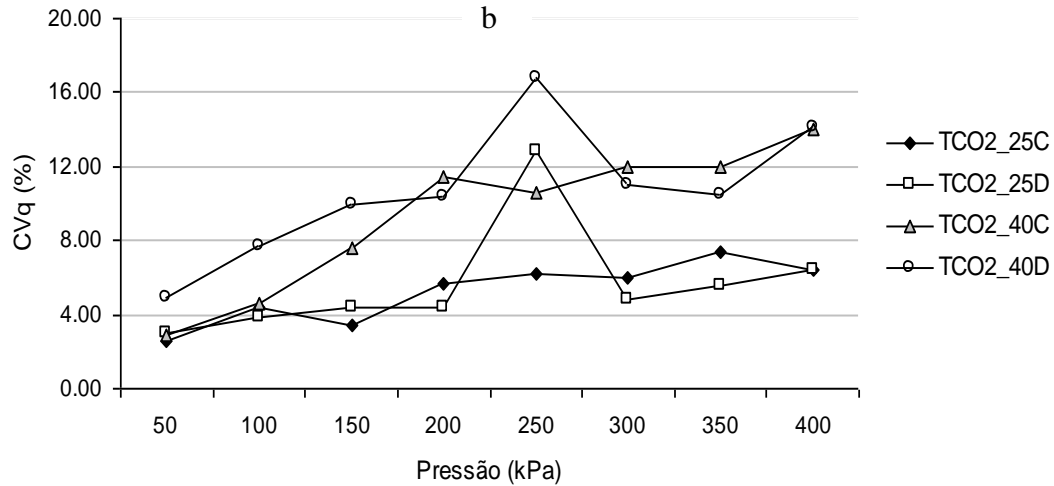
**Figura 6.** Uniformidade de distribuição de água para o modelo 3.

### Caracterização hidráulica para o modelo 4

As Figuras 7a e b mostram o coeficiente de variação de vazão para o modelo 4. O M4 apresentou CV semelhantes e de no máximo 17% (com e sem CO<sub>2</sub>) até a pressão de 300 kPa, o que mostra que estas variações, estão mais ligadas a pressão, temperatura e sentido do emissor do que

propriamente dito a presença de CO<sub>2</sub>; o CV só se mostrou de forma diferente em relação ao CO<sub>2</sub> a partir da pressão de 350 kPa onde o decréscimo do CV foi inferior ao observado na ausência de CO<sub>2</sub>, apresentando uma estabilização do CV em 12%.

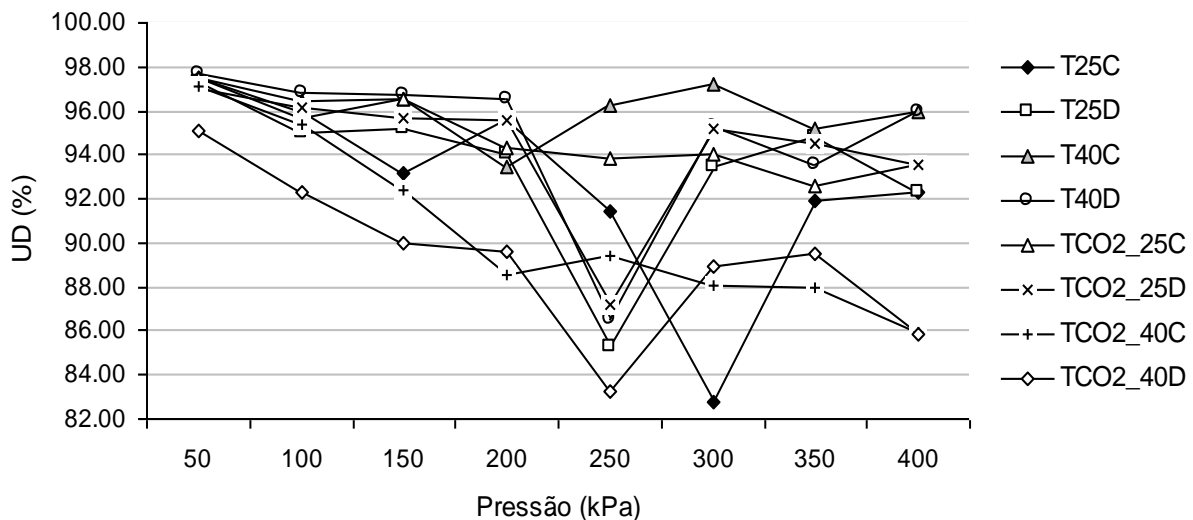




**Figura 7.** Coeficiente de variação de vazão para o modelo 4.

A Figura 8 mostra a uniformidade de distribuição de água para o modelo 4. A uniformidade só não ficou abaixo de 90% na pressão de 250 kPa para o M4, na temperatura de 25°C (com e sem CO<sub>2</sub> sentido

crecente) e 40°C (sem CO<sub>2</sub> sentido crescente); a uniformidade manteve-se abaixo de 90% nas pressões acima de 250 kPa na temperatura de 40°C (com CO<sub>2</sub> sentido crescente e decrescente).



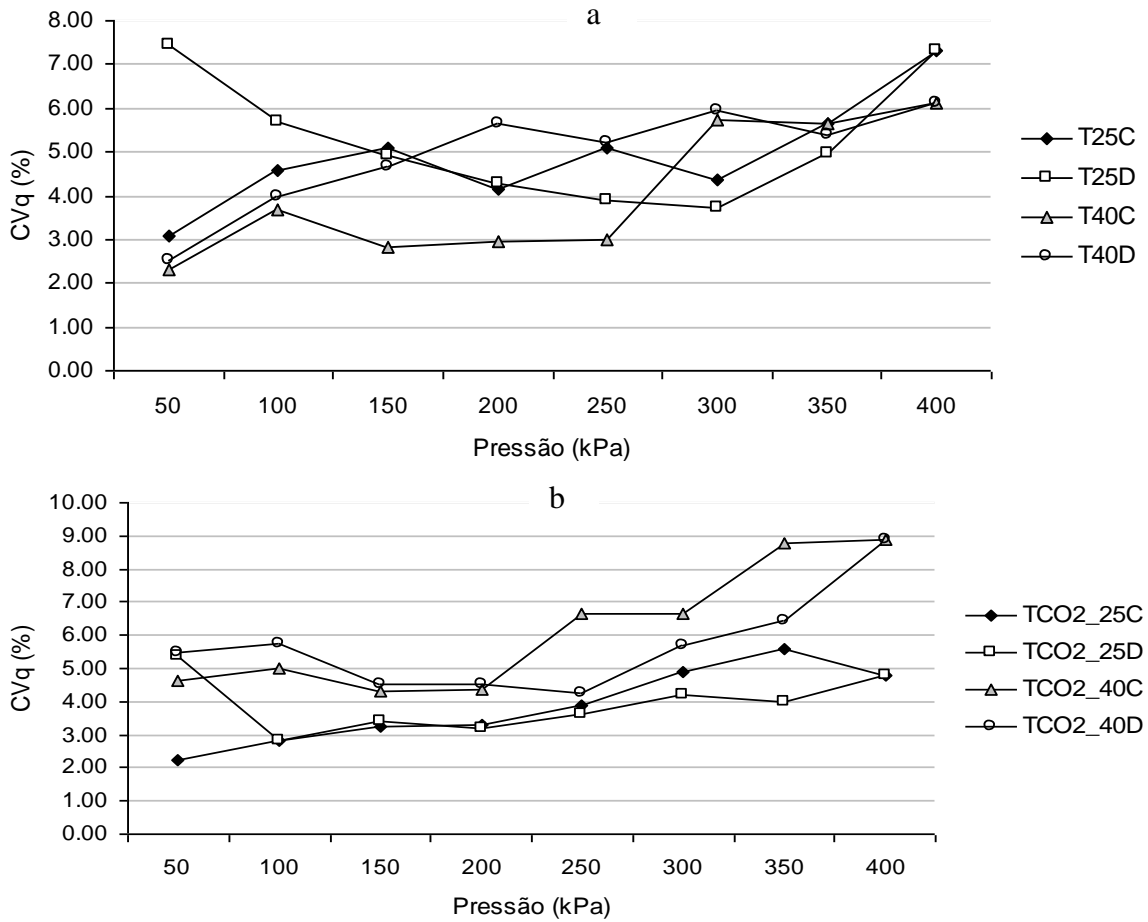
**Figura 8.** Uniformidade de distribuição de água para o modelo 4.

### Caracterização hidráulica para o modelo 5

As Figuras 9a e b mostram o coeficiente de variação de vazão para o modelo 5. O M5 na presença de CO<sub>2</sub> não apresentou variações

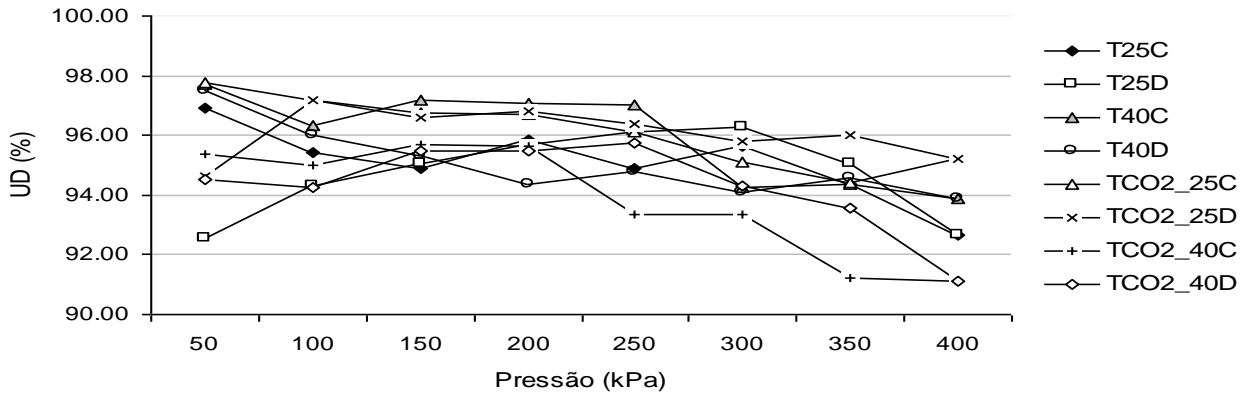
diferentes as observadas na ausência de CO<sub>2</sub>, logo o M5 demonstrou bastante estável em todas as situações a que este foi exposto.

HISTERESE EM GOTEJADORES AUTOCOMPENSANTES NOVOS COM APLICAÇÃO DE CO<sub>2</sub> NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO



A Figura 10 mostra a uniformidade de distribuição de água para o modelo 5. A uniformidade do M5 tendeu a diminuir com o

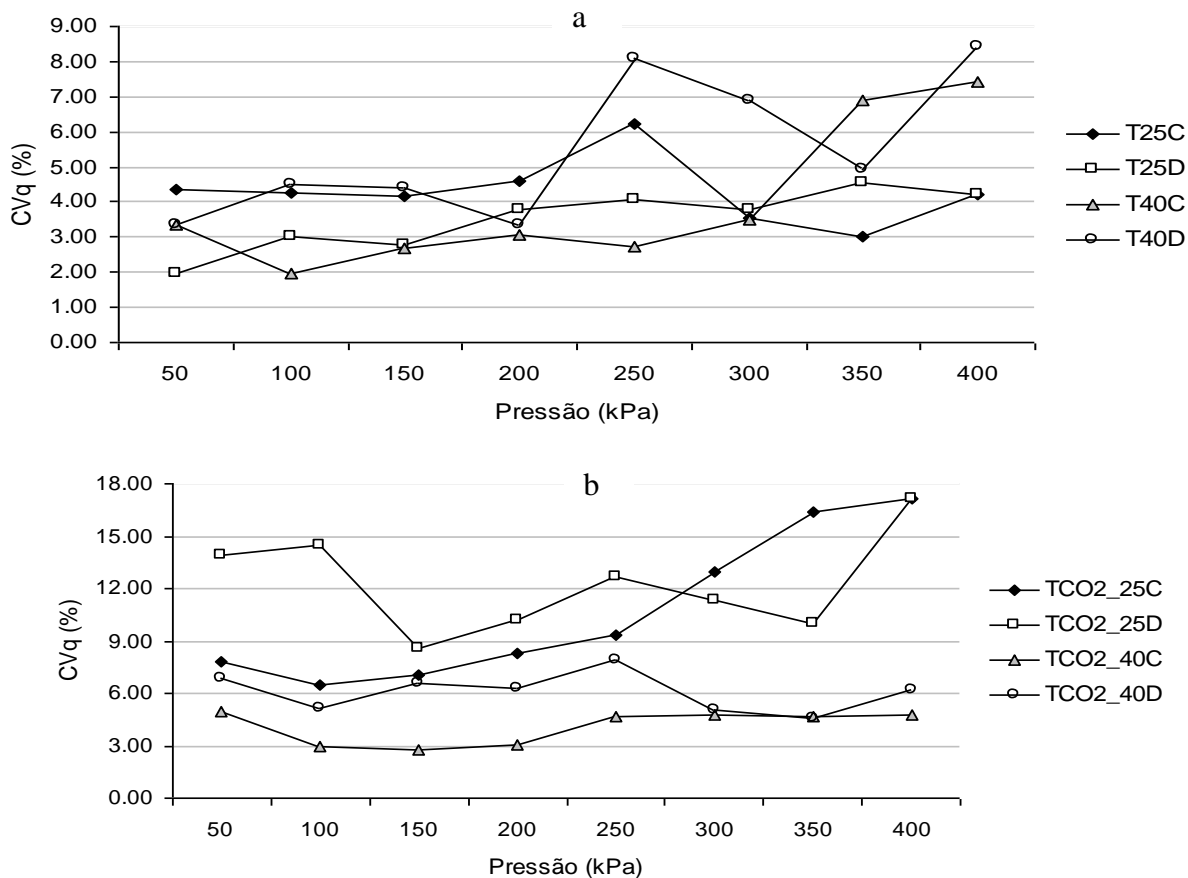
aumento da pressão; entretanto mantendo-se sempre acima de 90% (classificada como excelente).



### Caracterização hidráulica para o modelo 6

As Figuras 11a e b mostram o coeficiente de variação de vazão para o modelo 6. O CO<sub>2</sub> na temperatura de 25°C, em sentido decrescente provocou acréscimos e decréscimos no CV, conforme foi aumentada a pressão, demonstrando assim este modelo uma alta irregularidade na variação, sob estas condições; de maneira mais regular se mostrou o CV (com CO<sub>2</sub>), na mesma temperatura, mas em sentido crescente, o qual somente passou a ser superior a 10% na pressão de 250 kPa. Estes resultados

em função da pressão estão de acordo com encontrados por Cunha et al. (2013) demonstraram que em ambos os casos 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 regulagem da pressão.

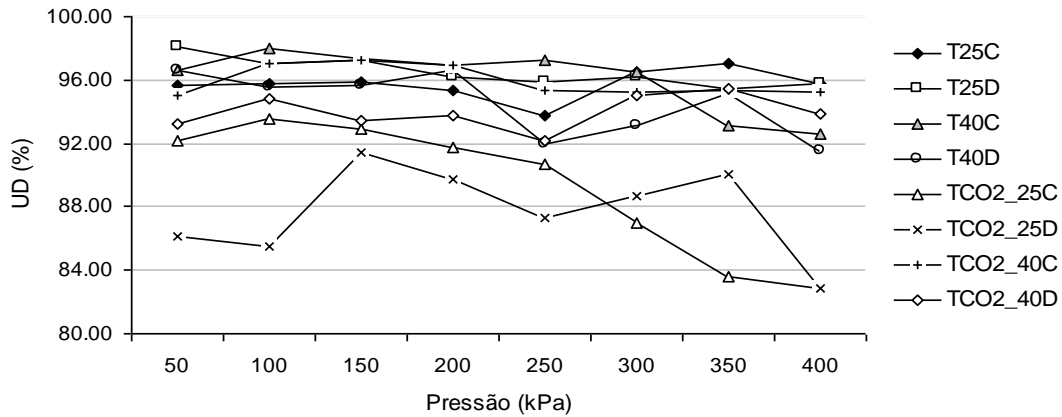


**Figura 11.** Coeficiente de variação de vazão para o modelo 6.

A Figura 12 mostra a uniformidade de distribuição de água para o modelo 6. O UD ficou acima de 92% em praticamente todas as situações, destoando disto apenas na temperatura de

25°C (com CO<sub>2</sub> e em sentido crescente e decrescente), com UD mínimo de 82,9% em ambas as situações.

## HISTERESE EM GOTEJADORES AUTOCOMPENSANTES NOVOS COM APLICAÇÃO DE CO<sub>2</sub> NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

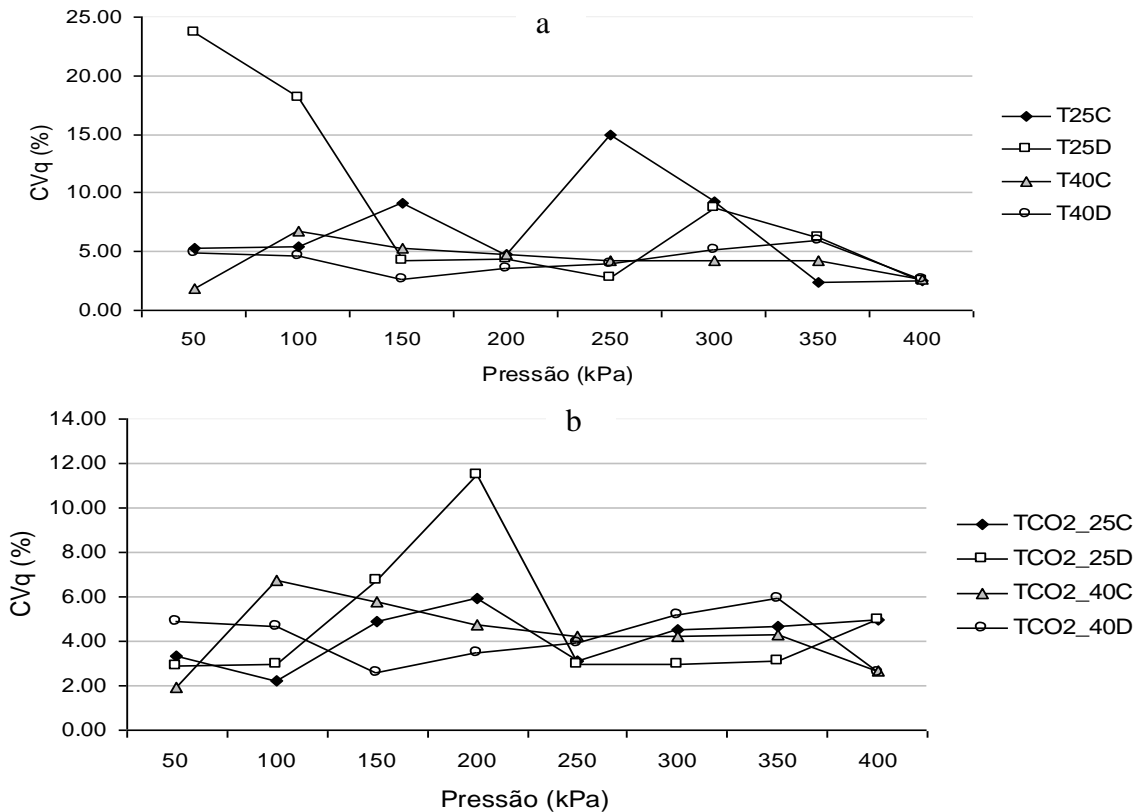


**Figura 12.** Uniformidade de distribuição de água para o modelo 6.

### Caracterização hidráulica para o modelo 7

As Figuras 13a e b mostram o coeficiente de variação de vazão para o modelo 7. O M7 em sentido decrescente e na temperatura de 25°C (sem CO<sub>2</sub>), apresentou CV de 23,7 e 18,1% nas pressões de 50 e 100 kPa respectivamente, nestas

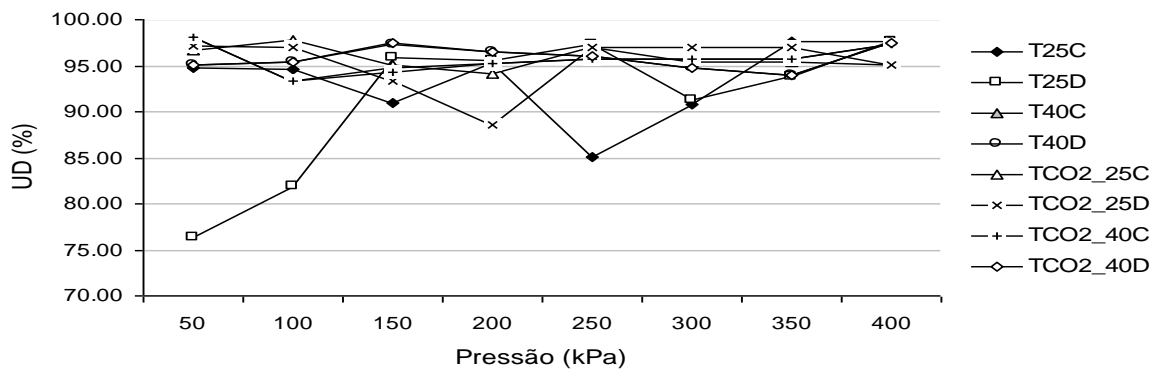
mesmas pressões, temperatura e sentido, mas na presença de CO<sub>2</sub>, observou-se uma redução no CV de 20,8 e 15,16% (CV < 3%), demonstrando deste modo e de maneira geral um efeito benéfico da aplicação do CO<sub>2</sub> para o M7.



**Figura 13.** Coeficiente de variação de vazão para o modelo 7

A Figura 14 mostra a uniformidade de distribuição de água para o modelo 7. A menor uniformidade dentre os modelos foi observada no M7, na temperatura de 25°C (sem CO<sub>2</sub> sentido decrescente), a qual foi de aproximadamente 76% (classificada como regular). Nesta mesma situação mas na presença de CO<sub>2</sub> houve uma retomada de uniformidade da ordem de 21,5% (UD > 95%), sendo assim classificada como excelente. Duarte (2010) também encontrou resultados favoráveis a aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação em sistema de gotejamento com aplicações de até

800% de CO<sub>2</sub>, ainda complementa que esses resultados tornam possível a utilização de CO<sub>2</sub> como tratamento preventivo ao entupimento dos emissores na irrigação localizada. 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. Sendo assim neste trabalho o CO<sub>2</sub> tendeu a aumentar tanto a UD quanto o CV do M7, mostrando ser assim em certos casos uma boa opção para a recuperação de emissores.



**Figura 14.** Uniformidade de distribuição de água para o modelo 7.

A aplicação CO<sub>2</sub> na água de irrigação não aumentou a histerese da membrana dos emissores, mas deslocou o efeito para a faixa de operação dos emissores que variam de 100 a 400 kPa.

Esperava-se que a água de irrigação com aplicação de CO<sub>2</sub> dificultasse a atuação dos mecanismos de compensação provocando um aumento de vazão, devido ao fato dos emissores não serem dimensionados para trabalhar simultaneamente com água e gás. Porém, observou-se que o sistema de compensação não foi afetado pelo gás. Também observou-se que os CVf na presença de CO<sub>2</sub> diminuiu, assim o gás provavelmente tornou mais eficiente o emissor variando menos a vazão para as diferentes pressões observadas. Os emissores M2 e M4

provavelmente apresentaram alguma falha no sistema de extrusão do tubo ou do gotejador, pois seu comportamento foi diferente dos demais tubos, assim recomenda-se que seja feito novamente o ensaio com outra bobina de tubo para verificar o comportamento dos mesmos.

## CONCLUSÕES

O sistema de compensação não foi afetado pelo gás e os CVf na presença de CO<sub>2</sub> diminuiu, assim o gás tornou mais eficiente o emissor variando menos a vazão para as diferentes pressões observadas.

Os emissores autocompensantes podem ser utilizados para aplicação de água com CO<sub>2</sub>,

observando-se os limites descritos na literatura para solubilização do gás na água.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

### 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Emissores para sistemas de irrigação localizada – avaliação das características operacionais. São Paulo:ABNT, 1986. 7p. PNBR 12: 02-08-021.
- BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C. Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 213-217, 2006.
- BESSLER, K. E.; RODRIGUES, L. C. Os polímeros de carbonato de cálcio – uma síntese fácil de aragonita. **Química Nova**, v.31, n.1, p. 178-180, 2008.
- 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**, v.7, nº. 5, p 317 - 329, 2013.
- DUARTE, F. V. Influência da aplicação de gás carbônico na redução de precipitação de carbonatos em sistema de irrigação localizada. 2010. 123 p. Tese (Doutorado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.
- GOMES, T.A.; MODOLO, A.V.; BOTREL, T.A.; OLIVEIRA, R.F. Aplicação de doses de CO<sub>2</sub> via água de irrigação na cultura da alface. **Hortic. Bras.** vol.23, n.2, Brasília, 2005.
- SILVEIRA, P. R. A.; TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. Distúrbios de vazão em gotejadores devido a aplicação de co<sub>2</sub> via água de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, nº. 4, p.308 - 320, 2014.