

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO MICROASPELADOR DAN SPRINKLER 2001.²

José de Arimatea de Matos

José Dantas Neto

Hamilton Medeiros de Azevedo

Carlos A. Vieira de Azevedo

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Agrícola, Av. Aprígio Veloso, 882, Campina Grande - PB.

58.109-970, Tel. (083) 310.1318

1. RESUMO

A análise de desempenho de equipamentos, novos ou usados, utilizados em irrigação localizada deve ser tarefa permanente e inadiável dos profissionais envolvidos com irrigação. Sendo os emissores um dos componentes de maior importância na irrigação localizada, tanto no dimensionamento como no manejo do sistema, é de fundamental importância que os projetistas disponham de suas características. O propósito deste trabalho foi avaliar a performance do microaspersor rotativo auto-compensante Dan Sprinkler modelo 2001, no sentido de determinar as suas características hidráulicas, visando fornecer recomendações para sua seleção adequada no dimensionamento dos sistemas de irrigação localizada.

Neste sentido realizou-se ensaios no laboratório de Eng. de irrigação do DEAG/UFPB, onde foram analisados os seguintes aspectos do microaspersor Dan Sprinkler 2001: coeficiente de variação de fabricação, para a pressão nominal de 200 kPa; vazões médias para as pressões 100, 150, 200, 250 e 300 kPa; e a equação característica da relação vazão-pressão.

O coeficiente de variação de fabricação foi de 0,044, considerado pela classificação da ASAE, como excelente. A partir dos dados obtidos da relação de vazão versus pressão encontrou-se a equação potencial característica do emissor com um coeficiente de determinação (R^2) de 72,4%. Verificou-se que o fenômeno de histerese praticamente não ocorreu e que o microaspersor é considerado auto-compensante no intervalo de pressão compreendido entre 136 a 300 kPa. Para esse intervalo de pressão o ajuste da equação potencial foi de apenas 43,7%.

UNITERMOS: Irrigação Localizada, Microaspersor, Características Hidráulicas.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor (DEAG/UFPB)

MATOS, J.A., DANTAS NETO, J., AZEVEDO, H.M., AZEVEDO, C.A.V.
Hydraulic Characteristics of the Dan 2001 Micro-sprinkler

2. ABSTRACT

The performance analysis of new or used trickle irrigation equipments must be a permanent and undelayable task of the professionals involved in irrigation engineering. Since the emitter is one of the most important components of trickle irrigation systems, regarding their both design and management, it becomes essential for designers to know its hydraulic characteristics. The purpose of this research was to evaluate the performance of the rotating self-compensating Dan 2001 micro-sprinkler, in order to determine its hydraulic characteristics, and so for setting up recommendations for its adequate selection on the trickle irrigation system design.

In this meaning, experiments were performed at the DEAg/UFPb irrigation engineering laboratory, where were analyzed the following aspects of the Dan 2001 micro-sprinkler: the manufacturing variation coefficient, for a 200 kPa working pressure; the average discharges for pressures equal to 100, 150, 200, 250 and 300 kPa; and the pressure and discharge relationship.

The manufacturing variation coefficient found was equal to 0.044, which is considered excellent according to the ASAE classification. The power function describing the pressure and discharge relationship presented a determination coefficient (R^2) equal to 72.4%. It was verified that the hysteresis phenomenon practically did not occurred, and that the micro-sprinkler is self-compensating in the pressure interval from 136 to 300 kPa. For this pressure interval the power equation fitting was only 43.7%.

KEYWORDS: Trickle irrigation, Micro-sprinkler Hydraulic Characteristics.

3. INTRODUÇÃO

Em regiões semi-áridas, como o nordeste brasileiro, com baixos índices pluviométricos e conseqüente escassez de água, para se ter uma agricultura rentável e competitiva, faz-se necessário a prática da irrigação. Devido a essa escassez, o uso do método da irrigação localizada tem apresentado um crescimento significativo nos últimos anos, principalmente devido a sua alta eficiência de aplicação da água. Conseqüentemente, grandes avanços têm sido alcançados no seu padrão tecnológico, com o desenvolvimento de pesquisas cujos resultados estão gradativamente sendo introduzidos no campo.

Segundo Bernardo (1986) a irrigação localizada não deve ser considerada somente como uma nova técnica para suprir água às culturas, mas, como parte integrante

de um conjunto de técnicas agrícolas nos cultivos de determinadas plantas, sob condições controladas de umidade de solo, adubação, salinidade, doença e variedades selecionadas, de modo que se obtenham efeitos significativos na produção tanto por área cultivada como por água consumida.

A realização de testes de desempenho de equipamentos novos ou usados deve ser uma tarefa permanente e inadiável dos profissionais envolvidos com irrigação. A principal finalidade de ensaios de equipamentos utilizados em sistemas de irrigação consiste da determinação de suas características hidráulicas e análise de seu desempenho, de acordo com Colombo e Scaloppi (1981). Como benefício desses ensaios, os projetistas e usuários do sistema de irrigação adquirem informações para proceder uma seleção mais criteriosa de um equipamento.

Sendo os emissores um dos componentes de maior importância na irrigação localizada, tanto no dimensionamento como no manejo do sistema, é de fundamental importância que os projetistas disponham de suas características.

Este estudo teve por finalidade avaliar a performance do microaspersor rotativo auto-compensante Dan sprinklers modelo 2001, no sentido de determinar as suas características hidráulicas, tais como: coeficiente de variação de fabricação; equação característica; e, o fenômeno de histerese.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados na área experimental (ambiente fechado) do Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (LEID/DEAg/CCT/UFPB), em Campina Grande.

O equipamento principal que possibilitou a realização deste trabalho experimental foi um conjunto eletrobomba, composto por: um motor elétrico trifásico marca WEG, de 380 Volts, com potência efetiva de 5,0 CV, girando em média a uma rotação a 3.500 rpm, com acoplamento monobloco a uma bomba centrífuga marca Scheneider, modelo 02.43. O acionamento do motor era feito por uma chave elétrica automática de 5,0 CV. A água era fornecida à bomba, através de um reservatório subterrâneo, com volume aproximado de 2.000 litros.

A linha de testes foi acoplada a uma tubulação, derivada do painel de controle, de modo que possibilitava o retorno da água ao reservatório, após sua passagem pela seção de testes.

A tubulação que conduzia a água da bomba até o painel de controle foi de PVC rígido com diâmetro externo de 48 mm. Após o painel de controle estava instalado, em uma carcaça de ferro um filtro de discos de 200 meshes, capaz de filtrar partículas inferiores a 0,08 mm.

A partir do filtro a tubulação foi reduzida para 16 mm (linha de teste) e precedida de um registro de gaveta.

O modelo de emissor estudado foi o microaspersor auto-compensante Dan Sprinkler 2001, para observar suas características hidráulicas e o seu funcionamento no sentido de solucionar possíveis problemas no dimensionamento de projetos.

O microaspersor Dan Sprinkler 2001 é constituído das seguintes partes (Fig. 1):

- a) ponte de sustentação: peça que prende o pino giratório ao bocal;
- b) pino giratório: é uma peça giratória responsável pela distribuição da água em círculos;
- c) bocal: controla o fluxo da água;
- d) diafragma: peça elástica responsável pela auto-regulagem de fluxo;
- e) corpo: peça suporte que dá sustentação ao bocal;
- f) haste suporte: fixa o microaspersor ao solo;
- g) tubo de conexão: também chamado de espaguete, é um microtubo de 50 cm de comprimento que liga o microaspersor à linha lateral;
- h) conector: responsável pela conexão do espaguete à linha lateral.



FIGURA 1 - Componentes do microaspersor Dan Sprinkler 2001.

4.1. Coeficiente de Variação de Fabricação

Com o objetivo de avaliar as variações que ocorrem na vazão entre os microaspersores em virtude de diferenças inerentes ao processo de fabricação, foram selecionados ao acaso 20 microaspersores novos de acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986).

Segundo Abreu et al. (1987), o coeficiente de variação de fabricação é praticamente independente da pressão usada no teste, sempre que esta esteja compreendida na faixa de funcionamento do emissor. Portanto, para determinação da vazão, cada microaspersor foi submetido a uma pressão nominal

de 200 kPa, sendo colocado sobre o emissor uma cuba capaz de interceptar o jato d'água, que era coletado através de um recipiente com capacidade de 580 ml, para posterior pesagem, através de uma balança eletrônica, com precisão de 0,1 grama.

Os volumes coletados foram posteriormente convertidos em vazões (l/h), cujo resultado é a média de 3 repetições. O tempo foi medido por um por meio de um cronômetro com precisão de 0,1 segundo e sua duração para cada coleta foi de 1 minuto.

Esse tempo foi suficiente para coletar volume superior a 200 ml, valor mínimo recomendado pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986).

Todas as medidas de pressão foram realizadas através de um manômetro de mercúrio, com escala de 0,66 kPa (inferior aos 2 kPa exigidos pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986), conectado a linha de teste, distante 30 cm da conexão do emissor. Esse manômetro é um tubo de plástico transparente com diâmetro de 5 mm.

A partir dos dados de vazão, calculou-se a vazão média e o desvio padrão (Eq. 1). Em seguida determinou-se o Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF), dividindo-se o desvio padrão pela média da vazão (Eq. 2).

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}{n - 1}} \quad \text{Eq. 1}$$

sendo:

δ - desvio padrão;

q_i - vazão de cada emissor, e,

q_m - vazão média dos emissores testados.

$$CVF = \frac{\delta}{q_m} \quad \text{Eq. 2}$$

Após determinação do CVF, selecionou-se 10 microaspersores, que obtiveram vazões aproximadamente iguais à média, para em seguida determinar as demais características do microaspersor.

4.2. Equação Característica

Tendo por finalidade determinar uma equação que relacione a vazão com a pressão na entrada do microaspersor, foram feitos ensaios com os 10 microaspersores selecionadas na determinação do Coeficiente de Variação de Fabricação.

Antes de iniciar o ensaio, os microaspersores foram acondicionados, sendo submetidos a pressão nominal de 200 kPa, até estabilização. Em seguida, foram submetidos, à pressão máxima (P_{max}) e, à pressão mínima (P_{min}), alternadamente por três vezes. Essas pressões extremas foram mantidas, em cada operação, durante um tempo mínimo de 3 minutos. Essas recomendações são do INSTITUTO ESPANHOL DE NORMALIZACION, citado por Nogueira e Gornat (1990).

Após acomodação, cada microaspersor foi submetido a diferentes pressões, medindo-se as respectivas vazões com 3 repetições, pelo método direto, tal como descritos anteriormente para determinação do CVF. As pressões de serviços utilizadas para determinação da relação vazão-pressão foram: 100; 150; 200; 250; e, 300 kPa.

Com o objetivo de verificar o fenômeno de histerese na relação vazão-pressão, os microaspersores foram submetidos a pressões crescentes e posteriormente decrescentes.

A partir dos resultados de vazões obtidos nos testes, sendo seus valores a média das 10 unidades ensaiadas, com suas respectivas pressões, foi determinada a curva característica vazão-pressão. Com esses mesmos dados também foram determinadas as equações que relacionam vazão e pressão, apenas para as pressões crescentes, através do Software CURVEFIT, que faz o ajuste dos dados para 25 equações, fornecendo para cada uma delas o valor do coeficiente de determinação (R^2).

Com a utilização desse Software foi feita uma seleção de cinco equações, levando-se em consideração seus respectivos coeficientes de determinação e grau de complexidade matemática, e um estudo comparativo entre essas equações e a equação potencial (Eq. 3), tradicionalmente utilizada como a equação característica de um emissor.

$$q = K * h^x \quad \text{sendo} \quad \text{Eq. 3}$$

q - vazão do emissor (l/h);

K - constante de proporcionalidade, que caracteriza cada emissor;

h - pressão hidráulica à entrada de água no emissor (kPa); e,

x - expoente de emissão, parâmetro que caracteriza o fluxo de um emissor como uma função da pressão de operação

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Coeficiente de Variação de Fabricação

Os valores de vazão média de 3 repetições, obtidos a uma pressão de 200 kPa, dos 20 microaspersores ensaiados para o cálculo do coeficiente de variação de fabricação, são apresentados na Tabela 1.

A temperatura da água nos testes ficou, em torno de 25° C, cuja densidade é de 0,997 g/cm, no entanto, para transformação dos valores coletados em peso, para volume considerou-se a densidade igual a 1,0 g/cm, haja visto a precisão dos dados coletados ter sido de 0,1 cm, o que equivale a uma precisão 50 vezes superior a recomendada pelas normas da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986) que é de 5 cm.

Após transformação dos volumes em vazão, de cada microaspersor ensaiado, obteve-se uma vazão média, para uma pressão de 200 kPa, de 21,7 l/h, com um desvio padrão de 0,95 l/h e um coeficiente de variação de fabricação (CVF) de 0,044. O valor médio da vazão foi 8,5% superior ao valor da vazão nominal (20 l/h), fornecida pelo

fabricante. Observa-se também que os valores máximo e mínimo foram respectivamente superiores, em 16,8 e 0,4% à vazão nominal.

TABELA 1: Vazões médias obtidas com 20 microaspersores Dan Sprinkler 2001, submetidos à pressão de 200 kPa.

EMISSOR	Vazões (l/h)	Número de ordem do emissor
1	21,38	8 *
2	21,38	9 *
3	21,70	11 *
4	20,08	1
5	22,10	14 *
6	21,50	10 *
7	22,28	16
8	23,18	18
9	21,78	13 *
10	21,76	12 *
11	23,32	19
12	22,80	17
13	23,36	20
14	21,22	6 *
15	20,76	3
16	21,00	5
17	22,16	15 *
18	20,92	4
19	21,24	7 *
20	20,14	2
q_m (l/h)	21,70	
s (l/h)	0,95	
CVF (%)	4,4	

* Microaspersores selecionados, para análise da equação característica e do fenômeno de histerese.

Tendo por finalidade o teste da normalidade, os dados foram submetidos ao Teste de DAVID ao nível de 10% de probabilidade, através da utilização do Software ASSISTAT, tendo acusado uma distribuição normal.

De acordo com a ASAE, citado por Keller e Bliesner (1990) o microaspersor estudado é classificado sob o ponto de vista do processo de fabricação como excelente, apesar da complexidade de sua configuração, principalmente pelo mecanismo de auto-regulagem de vazão com peças móveis e elásticas.

Para emissores novos, dois fatores principais podem ser atribuídos às diferenças de vazões, tais quais, variações devido ao processo de fabricação e as variações de temperatura que acarretam mudanças de viscosidade da água. No entanto, estudos têm mostrado que o efeito da variação de temperatura da água em emissores com

regime de fluxo turbulento ou transitório não é significativo. Parchomchuck (1976), estudando emissores tipo orifício, constatou um aumento de vazão de apenas 1%, para uma variação de temperatura de 31°C (de 7 para 38°C). Faria et al. (1982), verificaram também que a variação de temperatura da água não influenciou sensivelmente a vazão do microgotejador autocompensante IRTEC, visto que, para uma mudança de temperatura de 25°C (de 20 para 45°C) a vazão aumentou apenas 1,24%. Portanto, como neste estudo a variação de temperatura foi de apenas 2°C, pode-se atribuir que as variações de vazão entre emissores foram devido apenas ao processo de fabricação.

A Tabela 2, apresenta valores de coeficientes de variação de fabricação para diversos emissores determinados por diferentes pesquisadores. Analisando os resultados, observa-se que os fabricantes têm oferecido bons tratamentos no que diz respeito ao processo de fabricação, avançando no progresso tecnológico do manufaturamento dos emissores, haja visto que entre os quinze emissores apresentados nesta tabela, onze (73,3 %) apresentam coeficiente de variação de fabricação considerado excelente, segundo os critérios da ASAE. Os quatro emissores cujo CVF, não se enquadra como excelente são de fabricação nacional.

5.2. Equação Característica

Submetidos os microaspersores selecionados a diferentes pressões, à uma temperatura da água de 26°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), obteve-se os valores correspondentes de vazão. Na Tabela 3, são apresentados os valores médio de vazão obtidos para as pressões estudadas. A variação máxima dessas pressões foi de 2%, inferior aos 3% recomendados pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA (1986).

A partir dos dados apresentados na Tabela 3, confeccionou-se a curva característica do microaspersor Dan Sprinkler 2001 (Fig. 2). Observa-se que o fenômeno de histerese praticamente, não ocorreu, ou seja, não houve diferenciação entre os valores de vazão para pressão crescente e decrescente. Diferentemente dos estudos feitos por Nogueira e Gornat (1990), Bordignon e Testezlaf (1993) e Lucena (1993), que observaram em gotejadores auto-compensantes um comportamento diferenciado quando o sistema começava a funcionar com uma pressão baixa e ia adquirindo pressão e vice-versa. Os autores sempre obtiveram valores maiores de vazão no ensaio com pressão crescente do que para pressões decrescentes. Essa diferença é característica de materiais elásticos, como é o caso dos emissores auto-compensantes, cujo fenômeno é conhecido como histerese

Segundo Abreu et al. (1987) a amplitude do fenômeno de histerese do emissor em estudo encontra-se nos padrões aceitáveis, onde a abertura do diafragma do microaspersor ocorre praticamente da mesma forma para pressão crescente e decrescente. Além do mais, os sistemas de irrigação operam em pressões praticamente estáveis e, dessa forma, as condições de subida e descida de pressão, que proporcionam a histerese, só ocorrem nos momentos em que o sistema é ligado e desligado.

Com os dados de vazão média e suas respectivas pressões crescentes, através do Software CURVEFIT, selecionou-se cinco equações entre as vinte e cinco fornecidas pelo Software. As equações selecionadas estão apresentadas na Tabela 4.

TABELA 2: Valores do coeficiente de variação de fabricação para diversos emissores, segundo diferentes pesquisadores.

Pesquisador	Emissor	CVF	Classificação
Alves e Lima (1994)	Fan-jet (orange) *	0,0182	Excelente
	Fan-jet (black) *	0,0366	Excelente
	Olson (green) *	0,0161	Excelente
	Asbrasil (bailarina) *	0,0611	Médio
	Dantas (MA-120) *	0,0776	Marginal
Bordignon e Testezlaf (1993)	Gotejador Katif compesante 2,3 l/h	Auto- 0,0362	Excelente
	Faria et al. (1982)	Microgotejador Irtec	0,0976
Lima (1991)	Jatissimo *	0,0300	Excelente
Lucena (1993)	Gotejador Katif compensante 3,75 l/h	Auto- 0,0480	Excelente
	Oliveira et al. (1979)	Gotejador Dangotas	0,0507
Irriga		0,0813	Marginal
Sampaio et al. (1995)	Naan 7110 roja *	0,0130	Excelente
	Naan 7110 azul *	0,0143	Excelente
Schmidt et al. (1993)	Tubogotejador queengil	0,0311	Excelente
Nogueira e Gornat (1990)	Gotejador auto-compensante **	0,0411	Excelente

* Microaspersores

** Os autores não citaram o nome do emissor.

TABELA 3: Valores médios de vazão (l/h) dos microaspersores obtidos a partir de pressões crescentes e decrescentes.

PRESSÃO (kPa)	Vazão (l/h)	
	Pressão Crescente	Pressão Decrescente
100	19,9	20,0
150	22,6	22,4
200	21,3	21,4
250	22,8	22,8
300	25,3	25,3

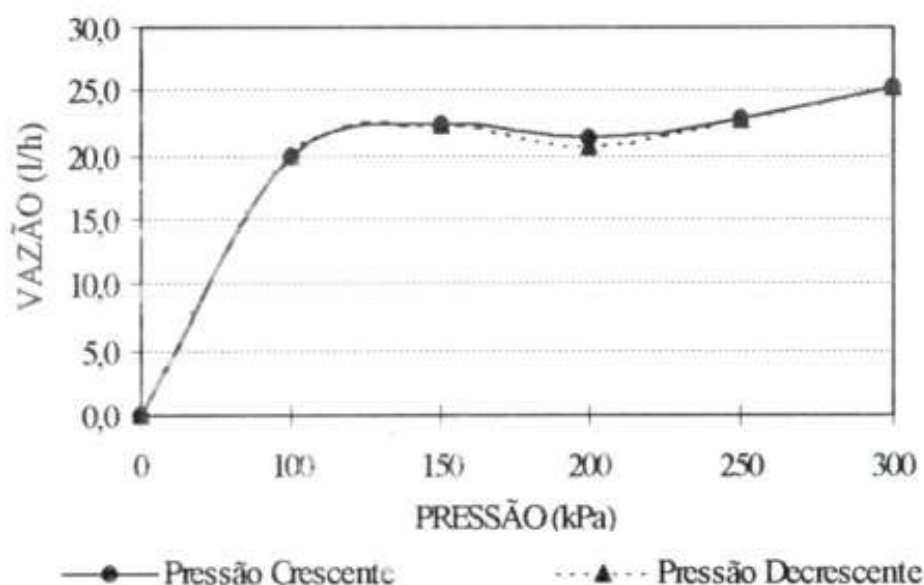


FIGURA 2 - Curva característica e o fenômeno de histerese do microaspersor Dan Sprinkler 2001.

TABELA 4: Equações do microaspersor obtidas através do Software CURVEFIT.

Nº	NOME	COEFICIENTES			EQUAÇÕES	R ²
		A	B	C		
1	Parábola	20,38	-5,4E-3	6,8E-5	$Q=A+B\cdot H+C\cdot H^2$	0,7787
2	SGeométrica	18,86	1,6E-4		$Q=A\cdot H^{(B\cdot H)}$	0,7581
3	Exponencial	18,35	9,8E-4		$Q=A\cdot e^{(B\cdot H)}$	0,7550
4	Log. Normal	19,92	4,17	11,21	$Q=A\cdot e^{((\ln H-B)/C)}$	0,7438
5	Potencial	8,96	0,1745		$Q=A\cdot H^B$	0,7238

A equação potencial ($Q=8,9583\cdot H^{0,1745}$) normalmente utilizada para caracterizar um emissor, apresentou um expoente de vazão próximo de zero, definindo-o como auto-compensante. Essa auto-compensação juntamente com sua elevada uniformidade de vazão, são características que devem ser levadas em consideração na seleção do emissor, de acordo com Abreu et al. (1987) e Keller e Bliesner (1990).

A Tabela 5, mostra os valores de vazão para suas respectivas pressões das cinco equações selecionadas. Analisando as Tabelas 4 e 5 observa-se que a diferença máxima de vazão para uma mesma pressão, entre os resultados fornecidos por cada equação, foi de apenas 2,9%, enquanto que a variação do coeficiente de determinação (R²), entre a equação da parábola que apresentou o melhor ajuste, mas considerado baixo e a equação potencial foi de 7,0%.

TABELA 5: Valores de vazão (l/h) para sua respectiva pressão de cada equação estudada.

PRESSÃO (kPa)	EQUAÇÕES				
	1	2	3	4	5
100	20,5	20,3	20,2	20,3	20,0
150	21,1	21,3	21,2	21,2	21,5
200	22,0	22,3	22,3	22,3	22,6
250	23,3	23,5	23,4	23,4	23,5
300	24,9	24,8	24,6	24,6	24,2

Valores baixos para o coeficiente de determinação (R^2) tem sido encontrado por pesquisadores que testaram emissores auto-compensantes. Nogueira e Gornat (1990), estudando gotejadores auto-compensantes com vazão de 4,0 l/h, encontraram um valor do coeficiente de correlação de 66,98%. Lucena (1993) com o gotejador KATIF 3,75 l/h, e Pits et al. (1986) com o gotejador KATIF 2,3 l/h, encontraram, respectivamente, valores de correlação de 23,24% e 29,16%, para a equação potencial, inclusive com valores do expoente x negativo. Pits et al. (1986) atribuem os baixos valores do coeficiente ao comportamento hidráulico irregular do emissor, enquanto que Lucena (1993), atribui que o valor do expoente negativo é gerado pela região de auto-limpeza do emissor.

Para comparar os valores determinados no ensaio, com os obtidos a partir da equação potencial e a equação da parábola, que obteve o melhor ajuste confeccionou-se a figura 3. Observa-se que as equações subestimam os valores de vazão para pressão em torno de 150 kPa, região de auto-limpeza, como também para o valor extremo de 300 kPa. Enquanto que para os valores intermediários de 200 a 250 kPa, as equações superestimam os valores de vazão em relação aos determinados no ensaio.

De acordo com Abreu et al. (1987), a faixa de pressão na qual um emissor deve ser considerado como auto-compensante, é aquela que proporciona vazões compreendidas entre $\pm 7\%$ da vazão nominal (Q_n), ou seja, as vazões mínima e máxima devem, respectivamente, ser 7% menor e 7% maior que a vazão nominal. Considerando que a pressão nominal seja de 200 kPa, e que segundo a equação potencial produz uma vazão de 22,6 l/h, a faixa de trabalho em que o emissor estudado seria considerado auto-compensante é de 136 kPa, para uma vazão de 21,1 l/h a 300 kPa com vazão de 24,2 l/h.

Observa-se que a vazão mínima e máxima considerada na faixa de auto-compensação, são superiores em 5,5% e 21%, respectivamente, à vazão nominal de 20 l/h, fornecida pelo fabricante para uma faixa de trabalho de 120 a 400 kPa.

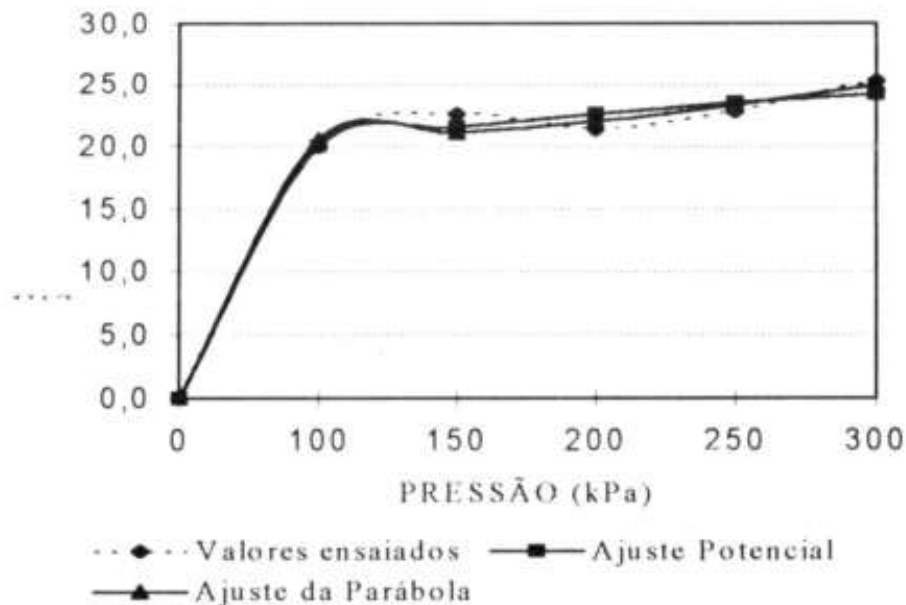


FIGURA 3 - Comparação dos valores de vazões para suas respectivas pressões, das equações potencial e da parábola com os determinados no ensaio.

Tratando os dados ensaiados apenas no intervalo de auto-compensação (150 a 300 kPa), a equação de melhor ajuste das 25 obtidas com o CURVEFIT, foi a logarítmica normal ($Q = 21,37 * e^{[(\ln H - 5,26)^2 / 1,145]}$) com R^2 igual a 0,9962, enquanto que a equação potencial ($Q = 9,79 * H^{0,1583}$), R^2 foi igual a 0,4373. Lucena (1993), estudando o microgotejador Katif 3,75 l/h, para o intervalo de auto-compensação (6 a 36 mca), encontrou a função módulo de Hoerl, como o melhor ajuste ($R^2 = 0,8859$), enquanto que para função potencial o ajuste foi de apenas 0,2864.

Alguns tipos de emissores apresentam a característica de auto-limpeza, isto é, ocorre um aumento de vazão para pressões próximas de zero, e seu valor é geralmente de 30 a 70% maior do que a vazão nominal (Bordignon e Testezlaf, 1993). Os autores definem também mais 2 regimes de pressões, ou seja, o de transição que, vai da vazão máxima até o início da vazão de auto-compensação, e o regime de auto-compensação que vai até a pressão máxima. Na figura 4, observa-se que a equação logarítmica normal apresentou os esses 3 regimes de funcionamento, por intervalos de pressões, ou seja, no intervalo 1 ou de auto-limpeza, de zero a 100 kPa a vazão foi superior em 45% a vazão nominal, o intervalo 2, ou de transição ocorreu entre as pressões de 100 a 150 kPa, e finalmente o intervalo 3 ou de auto-regulagem ocorreu entre as pressões de 150 a 300 kPa. No entanto na curva da equação potencial esses intervalos não estão bem definidos, ou seja, os valores de vazão crescem sempre com o aumento de pressão.

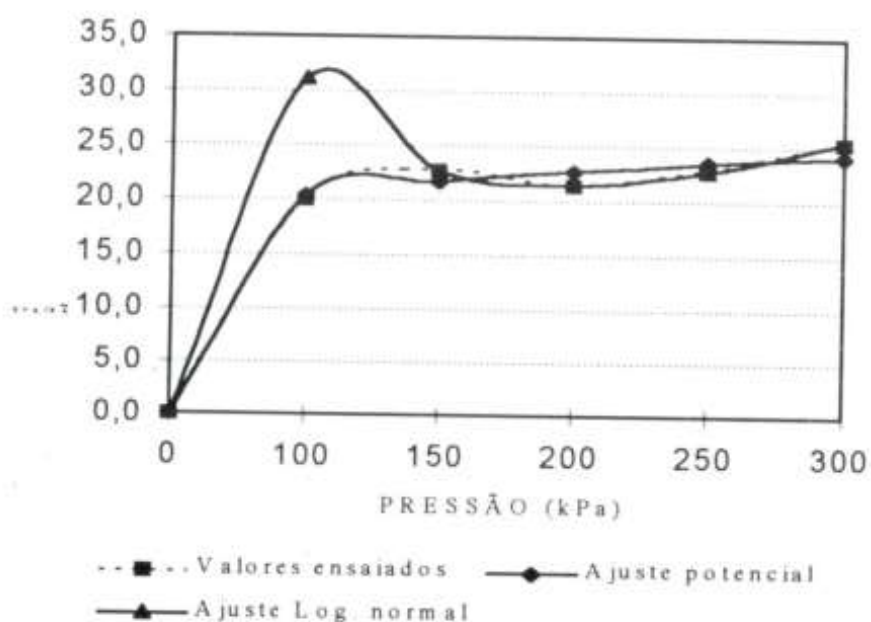


FIGURA 4 - Curvas de valores de vazão de acordo com as equações logarítmica normal e potencial a partir dos dados de auto-compensação.

6. CONCLUSÕES

Tendo como base os resultados obtidos através dos métodos usados na avaliação da performance hidráulica do microaspersor Dan Sprinkler 2001, e nas condições em que os testes foram analisados, chegou-se as seguintes conclusões:

O modelo do microaspersor avaliado apresenta uma excelente uniformidade de fabricação, com um coeficiente de uniformidade de variação de fabricação igual a 0,044.

A variação de vazão em relação a sua média com o emissor operando a uma pressão de 200 kPa, segue um modelo de distribuição do tipo normal.

O microaspersor é caracterizado como auto-compensante no intervalo de 136 kPa a 300 kPa, proporcionando vazão mínima de 21,1 l/h e máxima de 24,2 l/h, cujos valores são superiores, respectivamente, em 5,5% e 21,0% à vazão nominal, fornecida pelo fabricante.

A equação potencial sugerida pela maioria dos pesquisadores não foi a equação que melhor representou o ajuste para a relação vazão-pressão do microaspersor, mas sim

as equações da parábola (77,87%) e a logarítmica normal (99,62%), respectivamente, para todos os dados ensaiados e para os dados do intervalo de auto-compensação.

A abertura do diafragma, que funciona como regulador de fluxo, ocorre praticamente da mesma forma para pressões crescentes e decrescentes, proporcionando um fenômeno de histerese desprezível.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Emissores para sistema de irrigação localizada: avaliação de características operacionais: projeto 12:02.08.21*. São Paulo, 1986. 6p.
- ABREU, J. M. H., LOPES, J. R., REGALADO, A. P. et al. *El riego localizado*. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987. 317p.
- ALVES, D. R. D.; LIMA, L.A. Avaliação da uniformidade de distribuição de água de microaspersores e microdifusores. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas. *Resumo...* Campinas: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994. p. 116.
- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 4. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1986. 488p.
- BORDIGNON W. D., TESTEZLAF, R. Normas de ensaio para gotejadores auto-compensantes. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. *Anais...* Ilhéus: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. v.5, p.3071-87.
- COLOMBO, A., SCALOPPI, E. J. Ensaio de equipamentos para irrigação. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11, 1981, Brasília. *Anais...* Brasília: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1981. v.2, p.1009-16.
- FARIA, M. A., BERNARDO, S., FERREIRA, P.A. et al. Irrigação por gotejamento. I - Características hidráulicas do microgotejador Irtec. *Ceres*, v.29, p.417-78, 1982.
- KELLER, J., BLIESNER, R. D. *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990, 651p.

* ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: referências bibliográficas. Rio de Janeiro, 1989. 19p.

- LIMA, V. L. A. *Caracterização hidráulica de tubulações laterais em microaspersão, utilizando microtubos como dissipadores de energia*. Campina Grande, 1991. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba.
- LUCENA, K. F. M. *Performance hidráulica de microgotejadores Katif novos e usados*. Campina Grande, 1993. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba.
- NOGUEIRA, L. C., GORNAT, B. Desempenho de gotejador autocompensante. *ITEM*, n.42, p22-8, 1990.
- OLIVEIRA, C. A. da S., BERNARDO, S., FERREIRA, P. A. Características hidráulicas de gotejadores. *Ceres*, v.26, p.352-9, 1979.
- PARCHOMCHUCK, P. Temperature effects on emitter discharge rates. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.19, p.690-2, 1976.
- PITTS, D. J., FERGUSON, J. A., WRIGTH, R. E. Trickle irrigation lateral line design by computer analysis. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.29, n.5, p.1320-24, 1986.
- SAMPAIO, S.C., VILELA, L. A. A., DIAS, J. A. A. et al. Características hidráulicas e da distribuição de água do microaspersor Naan 7110. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa. *Resumo...* Viçosa: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. p.215.
- SCHMIDT, M. V. V., LOUREIRO, B. T., DENICULI, W. Características hidráulicas do tubogotejador "Queen gil". IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. *Anais...* Ilhéus: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. v.4, p. 2612-25.