

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INFLUÊNCIA DE PRESSÕES DE TRABALHO,
ESPAÇAMENTOS E ALTURA DE INSTALAÇÃO NA
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE ASPERSOR
AUTOCOMPENSANTE**

Vinicius Mendes Rodrigues de Oliveira
Engenheiro Agrônomo

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INFLUÊNCIA DE PRESSÕES DE TRABALHO,
ESPAÇAMENTOS E ALTURA DE INSTALAÇÃO NA
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE ASPERSOR
AUTOCOMPENSANTE**

**Vinicius Mendes Rodrigues de Oliveira
Orientador: Prof. Dr. José Renato Zanini**

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)**

Oliveira, Vinicius Mendes Rodrigues de
O48i Influência de pressões de trabalho, espaçamentos e altura de
 instalação na distribuição de água de aspersor autocompensante /
 Vinicius Mendes Rodrigues de Oliveira. - - Jaboticabal, 2015
 xi, 33 p. : il. ; 28 cm

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
 Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
 Orientador: José Renato Zanini
 Banca examinadora: Alexandre Barcellos Dalri, Sergio Nascimento
 Duarte
 Bibliografia

 1. Autocompensante. 2. CATCH-3D. 3. CUC. I. Título. II.
 Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

 CDU 631.674.5

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

Certificado

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

VINICIUS MENDES RODRIGUES DE OLIVEIRA – Brasileiro nascido em 13 de setembro de 1991 na cidade de Uberlândia, MG. Filho de Osvaldo Rodrigues de Oliveira e Cleonice Mendes Ferreira. Ingressou em março de 2005 no curso técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia, onde estagiou nas áreas de apicultura e irrigação. Em março de 2009 no curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, Campus de Rio Paranaíba/MG. Durante o período de graduação desenvolveu trabalhos na área de Manejo do Solo, Entomologia Agrícola e posteriormente na área de Irrigação e Manejo de pastagem sob orientação do Prof. Dr. Luis César Dias Drumond; foi bolsista de iniciação científica e membro de vários projetos na área de entomologia agrícola, irrigação e manejo de pastagem e fertirrigação com água residuária. Em julho de 2013 obteve o título de Engenheiro Agrônomo e em agosto de 2013 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal/SP, na linha de pesquisa de Engenharia da Água e Solo, sob orientação do Prof. Dr. José Renato Zanini, desenvolvendo pesquisas com desenvolvimento de técnicas hidráulicas para melhor eficiência no uso de equipamentos de irrigação. Durante o mestrado participou de coorientações, bancas de trabalhos de conclusão de curso e estágio docência não obrigatório na disciplina de Hidráulica, sob coordenação do Prof. Dr. José Renato Zanini. Em junho de 2015 foi aprovado para cursar Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo, na UNESP – Jaboticabal, e Doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa.

A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”.

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à minha família, ao meu Pai Osvaldo Rodrigues de Oliveira, à minha Mãe Cleonice Mendes Ferreira e ao meu Irmão Lucas Mendes Rodrigues de Oliveira, pelo apoio nas horas fáceis e principalmente nas horas difíceis desta jornada.

Ao professor Dr. Luis César Dias Drumond, por apoiar a mim e a minha família em todos momentos da minha graduação e pós-graduação.

À minha namorada pelo apoio e sempre estar ao meu lado em todos os momentos e ser compreensível com a distância.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo).

Ao Prof. Dr. José Renato Zanini, pela competente orientação, além da paciência, compreensão e atenção, necessárias para a elaboração deste e de demais trabalhos.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudos concedida. Aos Professores do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e Produção Vegetal, pelos conhecimentos que adquiri durante o período de Mestrado.

Aos colegas e parceiros de trabalho Miqueias Gomes do Santos, Geffson Figueredo Dantas e João Alberto Fisher Filho. Ao Prof. Dr. Paulo Martins pela ajuda durante toda a dissertação.

Aos companheiros e grandes parceiros de República, Antônio Tassio, Clebson, Lucas Rodrigues, Juno Ferreira Silva Diniz e os agregados Ludmila Freitas e Ivanildo.

À empresa NaanDanJain pela doação dos equipamentos utilizados nos testes. E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!!!

SUMÁRIO

RESUMO.....	II
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Agricultura irrigada.....	3
2.2 Válvulas reguladoras de pressão.....	4
2.3 Principais avaliações hidráulicas realizadas	5
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Local de realização do experimento	9
3.2 Aspersor utilizado para os testes	9
3.3 Ensaio de vazão	10
3.4 Ensaio de uniformidade de distribuição	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1 Variação na vazão.....	14
4.2 Coeficiente de variação de fabricação	15
4.3 Autocompensação de pressão	17
4.4 Equações características vazão x pressão	19
4.5 Uniformidade de distribuição de água.....	22
4.6 Perfil de distribuição de água.....	26
4.7 Raio de alcance.....	28
5 CONCLUSÕES	29
6 REFERÊNCIAS	30

INFLUÊNCIA DE PRESSÕES DE TRABALHO, ESPAÇAMENTOS E ALTURA DE INSTALAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE ASPERSOR AUTOCOMPENSANTE

RESUMO: Atualmente há grande preocupação com o desperdício de água. Utilizando equipamentos e sistemas que possuem maior uniformidade de distribuição de água, obtém-se melhor aproveitamento da água aplicada. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do aspersor modelo FR Super 10 com compensador de pressão, sob diferentes pressões de trabalho, espaçamentos e alturas de instalação. Os testes foram realizados em laboratório, controlando-se a pressão com dois manômetros previamente calibrados com coluna de mercúrio e a uniformidade de distribuição avaliada utilizando-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD). Foram utilizados quatro bocais do aspersor Super 10, duas alturas (0,6 e 1,2 m), seis pressões (25, 30, 35, 40, 45 e 50 m.c.a.) e seis espaçamentos (9x9, 9x10, 10x10, 9x12, 10x12 e 12x12 m). Os bocais azul, amarelo e vermelho apresentaram características autocompensantes e o bocal verde não foi totalmente autocompensante, os coeficientes de variação de fabricação (CVF) foram maiores nos bocais com menor abertura (azul e amarelo) comparados com os bocais de maior abertura. Aumentando-se da altura de instalação do aspersor, de 0,6 para 1,2 m, proporciona melhoria da uniformidade e do perfil radial de distribuição, diminuindo a intensidade de aplicação próximo do aspersor. Como este aspersor possui compensador de pressão a variação de pressão não influenciou no raio de alcance do aspersor.

Palavras-chave: autocompensante, CATCH-3D, CUC, CUD, CVF, economia de água.

WORK PRESSURE, SPACING AND INSTALLATION HEIGHT INFLUENCE IN SPRINKLER self-compensating WATER DISTRIBUTION

ABSTRACT: Actually, there is great concern about the waste of water. When using equipment and systems that have more uniform water distribution, it will have better utilization of the applied water. The objective of this study was to evaluate the performance of the model FR Super 10 sprinkler with pressure compensator under different pressures, spacing and installation heights. The tests were performed in the laboratory, controlling the pressure with two gauges calibrated with mercury column and the distribution uniformity measured using the Christiansen uniformity coefficient (CUC) and the distribution uniformity coefficient (CUD). Four spray nozzles were utilized in the Super 10 sprinkler, two heights (0.6 and 1.2 m), six pressures (25, 30, 35, 40, 45 and 50 m H₂O) and six spacing (9x9, 9x10, 10x10, 9x12, 10x12 and 12x12 m). The blue, yellow and red nozzles presented self-compensating features and green nozzle was not fully self-compensating, the coefficients manufacturing variations (CVF) were lower in the nozzles with smaller aperture (blue and yellow) compared to the higher nozzle opening. Increasing the sprinkler height provides better water uniformity distribution and of the radial distribution profile, lowering the application rate near the sprinkler. As this sprinkler has compensator pressure change the pressure did not influence the sprinkler range.

KEY WORDS: self-compensating, CATCH-3D, CUC, CUD, CVF, water saving.

1. INTRODUÇÃO

Um dos desafios dos pesquisadores da área de irrigação é minimizar as perdas de água relacionadas com a instalação hidráulica e distribuição de água dos emissores. Neste sentido, o desenvolvimento de equipamentos que utilizem a água com maior eficiência é uma das estratégias para se buscar menores perdas em sistemas de irrigação.

Alguns fatores devem ser avaliados para definir a melhor condição de instalação de um sistema de aspersão, entre os quais destaca-se a altura de instalação do aspersor e o espaçamento entre aspersores. Muitas vezes, os catálogos dos fabricantes fornecem informações incompletas, apresentando poucas informações sobre o desempenho dos aspersores em diferentes condições de espaçamento e altura.

Avaliando o efeito da altura do tubo de subida dos aspersores na uniformidade de distribuição de água, Gomide (1978) concluiu que o aumento da altura do tubo de subida dos aspersores, na ausência de vento, aumenta a uniformidade de distribuição de água.

Outro fator que afeta o desempenho dos aspersores é a pressão de trabalho. A maioria dos aspersores, quando o sistema de irrigação não mantém pressão de trabalho constante, apresenta grande variação na vazão. Variações na pressão, ao longo do sistema de irrigação, prejudicam a uniformidade de vazão aplicada pelos equipamentos. Para controlar estas variações é comum a instalação de válvulas reguladoras de pressão. Avaliando a influência do uso de válvulas reguladoras de pressão na uniformidade de aplicação de água, Oliveira e Figueiredo (2007) concluíram que a utilização de válvulas reguladoras de pressão reduz a variação de vazão entre laterais, e promove economia de 12% de água e ainda quando o terreno apresenta diferenças de níveis as válvulas reguladoras de pressão garantem maior uniformidade de aplicação, aumentando os valores de CUC e CUD.

Além das válvulas reguladoras de pressão como alternativa para promover maior uniformidade de vazão, alguns emissores tem compensadores de pressão, os

quais garantem vazões semelhantes ao longo das linhas, contornando os problemas de variação de pressão (ZANINI; PAVANI; SILVA, 1998).

As condições de instalação e equipamentos usados definem a distribuição de água do sistema de irrigação. Uma das formas mais importantes de avaliar a distribuição de água pelos aspersores é a uniformidade de distribuição (CLEMMENS; MOLDEN, 2007). Dois coeficientes são frequentemente utilizados para a determinação da uniformidade: o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (CHRISTIANSEN, 1942) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) (CRIDDLE et al., 1956). CUC é usado para medir a variabilidade espacial da lâmina de água aplicada pelo sistema de irrigação, sendo este o principal parâmetro para determinação da uniformidade de aplicação (MARTINS et al., 2012). O CUD relaciona as menores lâminas aplicadas no quartil da área total com a lâmina média aplicada.

Segundo Alvarez et al. (2004) quanto maior a uniformidade de aplicação de água maior será o retorno econômico da cultura, implicando em menor consumo de água, energia e fertilizantes, com ganho de produtividade, sendo o menor consumo de energia relacionado à aplicação da quantidade correta de água, não ligando assim o equipamento sem necessidade.

Partindo-se da hipótese que a posição de instalação e a modernidade de fabricação de aspersores influenciam a distribuição de água em sistemas de irrigação, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do aspersor modelo FR Super 10 com compensador de pressão, sob diferentes pressões de trabalho, espaçamentos e alturas de instalação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AGRICULTURA IRRIGADA

A agricultura irrigada utiliza aproximadamente 70% de toda água doce captada mundialmente (ANA, 2004) (Figura 1). A área de 17,7%, no mundo, sob cultivo irrigado produz mais de 40% da produção total agrícola, enquanto a agricultura de sequeiro responde pelo restante. No Brasil, em 27 anos, entre os anos de 1975 e 2001, houve aumento de 2,0 milhões de hectares irrigados destinados à agricultura, existindo ainda a necessidade de aperfeiçoamento da eficiência do manejo da irrigação para melhor aproveitamento da água e otimização de equipamentos (CHRISTOFIDIS, 2002). Segundo o Ministério do Meio Ambiente, a prioridade do uso da água é o consumo humano e dessedentação de animais em questões de escassez; outros usos como geração de energia elétrica, irrigação, navegação, abastecimento industrial, turismo e lazer não possuem ordem de prioridade definida.

No início do século XX, no Brasil, a irrigação por aspersão começou a ser empregada, principalmente em jardins e pequenos pomares, mas com a necessidade de irrigação de áreas de produção e a impossibilidade de utilização de métodos de irrigação por superfície, a irrigação por aspersão começou a se difundir sobre a área de produção agrícola (BERNARDO; SOARES e MANTOVANI, 2001).

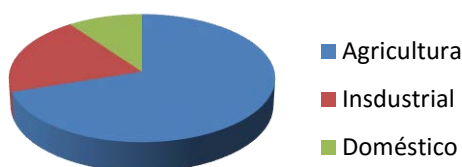


Figura 1. Distribuição do uso de água mundial. Fonte: ANA (2004).

Os métodos de irrigação estão agrupados em três categorias: a) irrigação por superfície, que pode ser em sulcos ou inundação; esse método apresenta grande consumo de água por área apresentando assim baixa eficiência; b) irrigação por

aspersão, tendo-se aspersão convencional, que apresenta eficiência de 60 a 75%, aspersão por autopropelidos, com eficiência de 50 a 60% e pivô central que apresenta eficiência de 80 a 85%; c) irrigação localizada, que pode ser por gotejamento, superficial e subsuperficial e microaspersão, todas com eficiência acima de 85%. Para a escolha do método mais adequado deve-se então conhecer a eficiência e qual situação mais se adapta (COELHO; COELHO FILHO; OLIVEIRA, 2005).

As principais vantagens da irrigação por aspersão são a não necessidade de sistematização do terreno, utilização em diversos tipos de solo, distribuição uniforme da água, alta eficiência de condução, permite irrigação em período noturno, permite a aplicação de fertilizantes, produtos fitossanitários e água residuária e utilização na proteção contra geadas (SILVEIRA; STONE, 2005). Com isso, houve grande migração de produtores da irrigação por superfície para a irrigação por aspersão.

Como desvantagens, a irrigação por aspersão não é recomendada sob condições de ventos fortes, por molhar as folhas pode favorecer aparecimento de doenças, principalmente fúngicas, pode interferir em tratos culturais, pode causar queda de folhas, flores e frutos por impacto mecânico das gotas, requer alto investimento inicial e dependendo do tipo de irrigação por aspersão requer muita mão de obra (SILVEIRA; STONE, 2005).

2.2 VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESSÃO

Válvulas reguladoras de pressão reagem a variações de pressão de entrada nos aspersores diminuindo ou aumentando o atrito através do controle da abertura interna de passagem da água, mantendo a pressão de saída, dentro dos limites de regulação da válvula (ZAGGO; COLOMBO; GIL, 1990).

A caracterização da válvula reguladora de pressão é feita através de uma curva que relaciona a pressão de entrada com a pressão de saída da válvula, mas segundo Von Bernuth e Baird (1990) um regulador ideal deve manter a pressão ou

vazão de saída constante apesar das variações de pressão de entrada, mantendo uma uniformidade de aplicação de água ideal.

A maioria dos reguladores é do tipo mola. A mola empurra um êmbolo tendendo a mantê-lo em máxima abertura; quando a pressão que chega à base da mola é superior a do regulador, esta faz com que a mola empurre o embolo fechando o orifício de passagem da água e assim aumentando a perda de carga e diminuindo a pressão final; quando essa pressão é menor que a pressão do regulador o êmbolo fica totalmente pressionado pela mola, mantendo o orifício totalmente aberto e ocorrendo a passagem da água com mínima perda de carga (TARJUELO, 2001).

2.3 PRINCIPAIS AVALIAÇÕES HIDRÁULICAS

Apesar da fabricação de um grupo de emissores com mesmas características, durante o processo pode ocorrer variações que se distribuem em um valor médio (KELLER; KARMELI, 1974; BRALTS et al., 1981). O coeficiente de variação de fabricação (CVF) é a medida estatística que avalia essa variação durante a fabricação dos emissores. Para o cálculo da CVF utiliza-se a equação 1.

$$CVF=100 \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}{n-1}}}{q_m} \quad (1)$$

em que:

CVF - coeficiente de variação de fabricação (%);

q_i - vazão de cada emissor ($L \cdot h^{-1}$);

q_m - vazão média dos emissores ($L \cdot h^{-1}$);

n - número de emissores do lote de amostragem.

O CVF é avaliado através da uniformidade, sendo usualmente classificado por Solomon (1979), ABNT (1999) e ASAE (1999), conforme descrito nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 1. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVF) de emissores (ABNT, 1999).

CVF (%)	Interpretação
≤ 10	Uniformidade boa
> 10 a 20	Uniformidade média
> 20 a 30	Uniformidade marginal
> 30	Uniformidade inaceitável

Tabela 2. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVF) de emissores (ASAE, 1999).

CVF (%)	Interpretação
≤ 5	Uniformidade excelente
> 5 a 7	Uniformidade média
> 7 a 10	Uniformidade baixa
> 10 a 15	Uniformidade marginal
> 15	Uniformidade inaceitável

Tabela 3. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVF) de emissores (SOLOMON, 1979).

CVF (%)	Interpretação
≤ 3	Uniformidade excelente
> 3 a 7	Uniformidade média
> 7 a 10	Uniformidade baixa
> 10 a 14	Uniformidade pobre
> 14	Uniformidade inaceitável

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) representa a variabilidade espacial da lâmina de água aplicada pelo sistema de irrigação (CHRISTIANSEN, 1942). Um sistema com CUC de 50% significa que aproximadamente 50% da área receberão lâmina maior ou igual à lâmina média de

aplicação. Segundo Rocha et. al (1999), o valor mínimo aceitável de CUC é 80%. O CUC é calculado com a seguinte fórmula (Eq. 2):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \bar{X}}\right) 100 \quad (2)$$

em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen;

n - número de observações;

X_i - lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo, mm;

$\bar{X}$ - lâmina média aplicada, mm.

Outra variável que avalia a uniformidade de aplicação dos emissores é o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) que relaciona as menores lâminas aplicadas no quartil da área total com a lâmina média aplicada (CRIDDLE et al., 1956). A classificação do CUD varia conforme o sistema radicular da planta cultivada; para sistema radicular raso o CUD deve ser superior a 80%, para sistema radicular médio o CUD varia de 70 a 80% e para sistema radicular profundo o CUD pode apresentar valores de 50 a 70% (MERRIAN e KELLER, 1978). O CUD é calculado com a Equação 3.

$$CUD = \left(\frac{X_{25}}{\bar{X}}\right) 100 \quad (3)$$

em que:

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

X_{25} – lâmina média de $\frac{1}{4}$ das lâminas com menores valores, mm.

A classificação conforme a uniformidade de distribuição de água, utilizando o CUC e CUD, proposta por MANTOVANI (2001), está apresentada na Tabela 4, sendo esta classificação feita por valores combinados de CUC e CUD.

Tabela 4. Classificação dos valores de CUC e CUD para sistemas de aspersão (MANTOVANI, 2001).

Classificação	CUC (%)	CUD (%)
Excelente	> 90	> 84
Bom	> 80 – 90	> 68 – 84
Razoável	> 70 – 80	> 52 – 68
Ruim	60 – 70	36 – 52
Inaceitável	< 60	< 36

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Câmpus Jaboticabal, São Paulo, em ambiente fechado, sem efeito de ventos.

3.2 ASPERSOR UTILIZADO PARA OS TESTES

Os testes foram desenvolvidos com aspersor plástico compacto, com rotação provocada por esfera movida por ação centrífuga, com os bocais tipo baioneta, de cor azul, amarelo, verde e vermelho, que possuem ângulo de jato de 25°, fabricado pela empresa NaanDanJain, modelo FR (Flow Regulated) Super 10 (Figura 2), indicado para cultivo em estufas, campo aberto e paisagismo. O aspersor possui compensador de pressão constituído de disco flexível, que mantém a vazão para as pressões de 30 a 50 m.c.a., com os dados de performance expostos na Tabela 5.



Figura 2. Detalhe dos aspersores com bocais de quatro cores, esfera que provoca rotação por ação centrífuga e membrana compensadora de pressão.

Tabela 5. Performance do aspersor com 0,6 m de altura e com pressão de 25 a 50 m.c.a. com regulador de pressão, conforme catálogo do fabricante.

Bocal	Vazão (L/h)	Diâmetro de molhamento (m)	Espaçamentos recomendados (m x m)
Azul	360	18	9x9; 9x10; 10x10.
Amarelo	450	20	9x9; 9x10; 10x10; 9x12; 10x12; 12x12.
Verde	550	20	9x9; 9x10; 10x10; 9x12; 10x12; 12x12.
Vermelho	670	21	9x9; 9x10; 10x10; 9x12; 10x12; 12x12.

3.3 ENSAIO DE VAZÃO

A determinação da vazão foi realizada com auxílio de uma campânula, não prejudicando rotação do aspersor (Figura 6), e todo volume de água coletado em um recipiente de plástico e pesado, coletando a vazão por três minutos e seis pressões de trabalho (25, 30, 35, 40, 45 e 50 m.c.a.), com 4 aspersores tomados aleatoriamente da linha de produção, calculando assim o CVF e ajustando-se equações características para classificação do regime de escoamento. Os CVF foram classificados conforme Solomon (1979), ABNT (1999) e ASAE (1999), Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

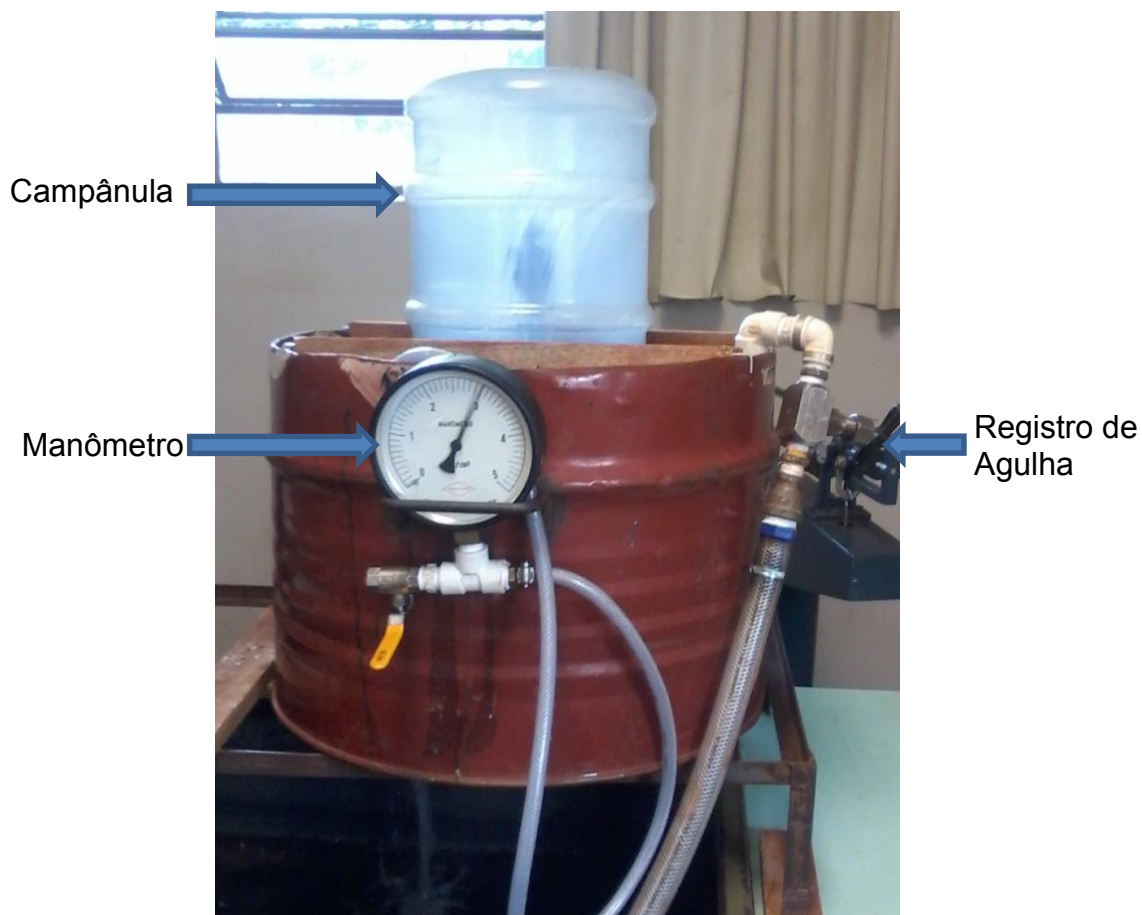


Figura 6. Campânula, manômetro e registro de agulha utilizados para auxílio da determinação da vazão.

3.4 ENSAIO DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO

Os testes de uniformidade de distribuição de água foram conduzidos com pressões de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 m.c.a. e duas altura (0,6 e 1,2 m), com 4 repetições. Para a determinação da distribuição de água foi utilizada a metodologia descrita pela ABNT (1999), método radial (Figura 7), colocando os coletores espaçados de 0,5 m, formando um raio a partir do aspersor, em local protegido contra o efeito de ventos, possuindo duração de 1 hora. Os coletores possuem forma tipo tronco-cônica, com diâmetro de 0,08 m na parte superior e 0,102 m de altura, e o volume armazenado durante o teste foi medido com provetas graduadas. As alturas de instalação dos aspersores foram 0,6 m, conforme recomendação do fabricante e 1,2 m acima da parte superior dos coletores.

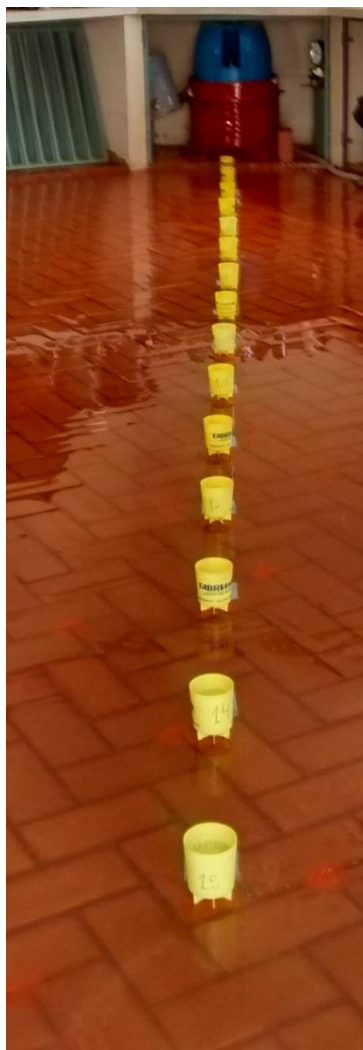


Figura 7. Disposição dos coletores em perfil radial.

O controle da pressão de operação foi feito utilizando-se dois manômetros de Bourdon, acoplados um na base do aspersor e o outro na saída da bomba, previamente calibrados em laboratório com manômetro de coluna de mercúrio. Para o ajuste da pressão durante o teste utilizaram-se registros de gaveta e de agulha, instalados na saída da bomba e na haste de subida do aspersor, respectivamente.

Utilizando-se o aplicativo computacional CATCH 3D, versão 4.45 (ALLEN, 1992), foram calculados o CUC e o CUD, para 6 espaçamentos indicados no catálogo do fabricante (9x9, 9x10, 10x10, 9x12, 10x12 e 12x12 m). Com os resultados dos coeficientes CUC e CUD, os mesmos foram classificados conforme Tabela 4.

As repetições das avaliações foram realizadas com 4 aspersores utilizados, inicialmente, para as determinações de vazões e cálculo do CVF dos mesmos, permitindo comprovar a representatividade dos aspersores como repetições.

Os valores de CUC e CUD foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) para as variáveis altura e pressão, no esquema fatorial duplo, sendo analisadas 6 pressões x 2 alturas, e posteriormente aplicado teste Tukey ($p < 0,05$). Foram ajustados modelos de regressão ($p < 0,05$) e análise potencial das equações, para equações de resposta entre vazão e pressão para todos os bocais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VARIAÇÃO NA VAZÃO

Na Tabela 6 estão apresentadas as variações das vazões informadas em relação às vazões obtidas durante os ensaios. Para os bocais azul e amarelo, apenas para a menor pressão (25 m.c.a.), a variação foi maior (10,21 e 11,59%, respectivamente) que o limite máximo aceitável (5%) conforme ABNT (1999). O bocal verde apresentou variação superior a 5% para as pressões de 25, 35 e 50 m.c.a., já o bocal vermelho teve variação superior a 5% para as pressões de 25 e 40 m.c.a.

A faixa de pressão em que os aspersores são autocompensantes é de 30 a 50 m.c.a., segundo o catálogo do fabricante, os bocais azul e amarelo apresentaram nesta faixa de compensação CVF abaixo dos 10%, recomendados pela ABNT (1999), mostrando que a vazão fornecida pelo fabricante apresentou variação aceitável, quando testados posteriormente. Nos bocais verde e vermelho, ocorreram variações acima de 5% em pressões dentro da faixa de compensação. Estas variações de vazão aliadas a condições de instalação em campo, como a topografia que influencia na pressão no aspersor podem ocasionar maiores variações do que estes valores encontrados em laboratório (OLIVEIRA; FIGUEIREDO, 2007).

Tabela 6. Comparação entre vazões obtidas e vazões informadas pelo fabricante, para os bocais azul, amarelo, verde e vermelho

Bocal	Pressão (m.c.a.)	Vazão Obtida (L h ⁻¹)	Vazão Informada (L h ⁻¹)	Variação* (%)
Azul	25	323,23	360	10,21
	30	346,39	360	3,78
	35	372,23	360	-3,40
	40	372,47	360	-3,46
	45	360,08	360	-0,02
	50	354,55	360	1,51
Amarelo	25	397,85	450	11,59
	30	439,02	450	2,44
	35	470,82	450	-4,63
	40	470,57	450	-4,57
	45	472,17	450	-4,93
	50	471,68	450	-4,82
Verde	25	502,63	550	8,61
	30	547,88	550	0,39
	35	594,49	550	-8,09
	40	548,50	550	0,27
	45	573,41	550	-4,26
	50	581,68	550	-5,76
Vermelho	25	630,61	670	5,88
	30	688,47	670	-2,76
	35	691,89	670	-3,27
	40	724,71	670	-8,17
	45	686,44	670	-2,45
	50	683,11	670	-1,96

* Variação da vazão informada em relação à vazão obtida.

4.2 COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE FABRICAÇÃO

O CVF foi classificado (Tabela 7) como possuindo uniformidade “boa” conforme ABNT (1999) para todas as pressões em todos os bocais. O bocal azul teve o CVF variando de 2,7 a 5,5%, o bocal amarelo de 2 a 7,9%, o bocal verde e vermelho o CVF variou de 1 a 1,8%.

Tabela 7. Classificação do CVF dos bocais azul, amarelo, verde e vermelho de acordo com ABNT (1999), ASAE (1999) e Solomon (1979).

Bocal	Pressão (m.c.a.)	CVF (%)	Classificação de Uniformidade		
			ABNT	ASAE	Solomon
Azul	25	2,65	Boa	Excelente	Excelente
	30	3,54	Boa	Excelente	Média
	35	3,40	Boa	Excelente	Média
	40	3,80	Boa	Excelente	Média
	45	5,36	Boa	Média	Média
	50	5,48	Boa	Média	Média
Amarelo	25	1,97	Boa	Excelente	Excelente
	30	2,45	Boa	Excelente	Excelente
	35	2,50	Boa	Excelente	Excelente
	40	5,38	Boa	Média	Média
	45	7,89	Boa	Baixa	Baixa
	50	7,98	Boa	Baixa	Baixa
Verde	25	1,03	Boa	Excelente	Excelente
	30	1,29	Boa	Excelente	Excelente
	35	1,00	Boa	Excelente	Excelente
	40	1,06	Boa	Excelente	Excelente
	45	1,63	Boa	Excelente	Excelente
	50	1,85	Boa	Excelente	Excelente
Vermelho	25	0,97	Boa	Excelente	Excelente
	30	1,00	Boa	Excelente	Excelente
	35	1,50	Boa	Excelente	Excelente
	40	1,07	Boa	Excelente	Excelente
	45	1,34	Boa	Excelente	Excelente
	50	1,79	Boa	Excelente	Excelente

Para a classificação proposta por Solomon (1979) e ASAE (1999) (Tabela 7) os bocais verde e vermelho apresentaram CVF excelente em todas as pressões, o bocal azul teve CVF excelente apenas para a menor pressão (25 m.c.a.) e média para as demais pressões e o bocal amarelo teve CVF excelente para as pressões de 25, 30 e 35 m.c.a., média para 40 m.c.a. e baixa para 45 e 50 m.c.a. De acordo com Martins (2014) existe relação linear positiva entre pressão e CVF, fato este observado nos bocais azul, amarelo, verde e vermelho. É importante os aspersores apresentarem baixos valores de CVF, pois a uniformidade de fabricação dos

aspersores influencia também na uniformidade de distribuição de água (KELLER e KARMELI, 1974). Os bocais azul e amarelo, com o aumento da pressão, diminuíram sua classificação de excelente (SOLOMON, 1979; ASAE, 1999) para baixo.

Os maiores CVF foram observados para os bocais azul e amarelo. Como estes apresentam menor vazão possuem menor orifício, com isto o processo de fabricação dos orifícios com tamanhos menores podem apresentar maior variação. O aumento da pressão de trabalho dos aspersores mostrou, em todos os bocais, efeito linear sobre o CVF (Figura 8), sendo observado aumento no CVF à medida que aumenta a pressão de trabalho. Resultados estes também encontrados por HOLANDA FILHO et al. (2001) e Martins (2014).

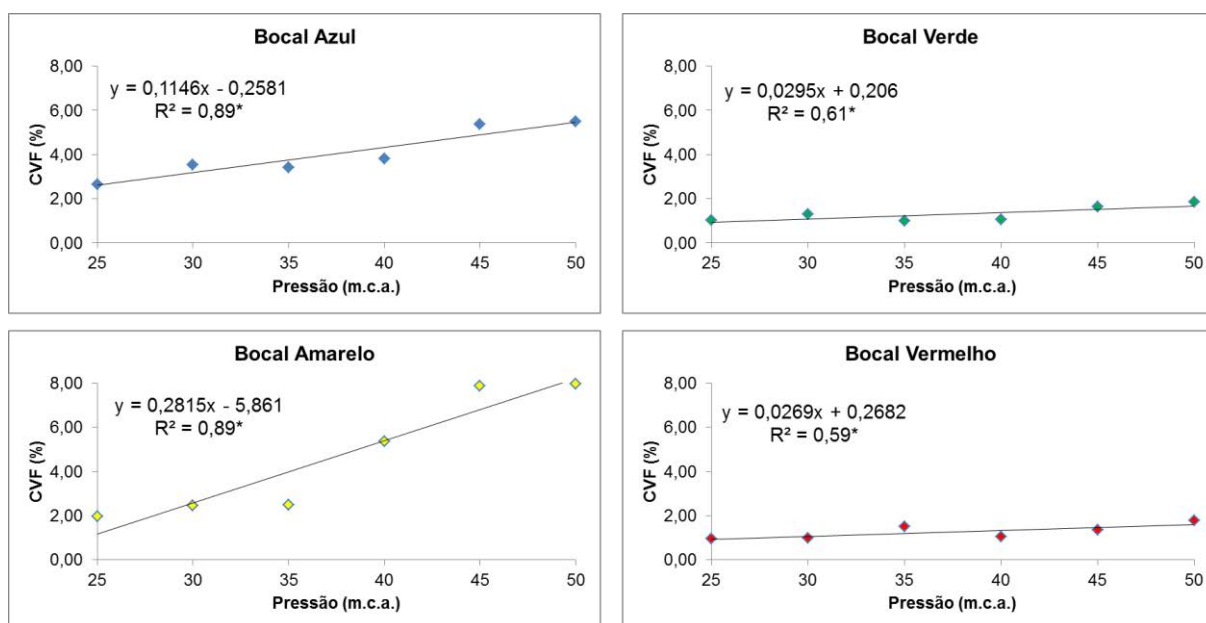


Figura 8. Relação entre as pressões de trabalho e CVF para os bocais azul, amarelo, verde e vermelho. (* R^2 significativos a 5% de probabilidade).

4.3 AUTOCOMPENSAÇÃO DE PRESSÃO

A faixa de pressão em que o aspersor FR Super 10 é autocompensante, de acordo com o fabricante, é de 30 a 50 m.c.a., e na Tabela 8 está apresentado o resultado do teste Tukey para comparação entre as médias de vazão para as pressões de 25 a 50 m.c.a. O bocal azul apresentou a mesma faixa de autocompensão que o fabricante indica (30 a 50 m.c.a.) e a vazão média destas

pressões foi de 361,14 L h⁻¹ enquanto no catálogo a vazão indicada é de 360 L/h, variando em 0,3%. Este fato também foi observado no bocal amarelo, sendo as vazões iguais estatisticamente nas pressões de 30 a 50 m.c.a. e a variação entre a vazão média obtida e a vazão do catálogo foi de 3,3%.

Tabela 8. Vazões médias dos bocais azul, amarelo, verde e vermelho.

Bocal	Pressão (m.c.a.)	Vazão (L h ⁻¹)		Bocal	Pressão (m.c.a.)	Vazão (L h ⁻¹)	
Azul	25	323,23	b	Verde	25	502,63	d
	30	346,39	ab		30	547,88	c
	35	372,23	a		35	594,49	a
	40	372,47	a		40	548,5	c
	45	360,08	a		45	573,41	b
	50	354,55	ab		50	581,68	ab
Dms		36,35				19,06	
CV (%)		4,56				1,52	
Média*		361,14				569,19	
Amarelo	25	397,85	b	Vermelho	25	630,61	c
	30	439,02	ab		30	688,47	b
	35	470,82	a		35	691,89	b
	40	470,57	a		40	724,71	a
	45	472,17	a		45	686,44	b
	50	471,68	a		50	683,11	b
Dms		70,25				25,21	
CV (%)		6,90				1,58	
Média*		464,85				694,92	

* Média das vazões obtidas nas pressões de 30 a 50 m.c.a.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não se diferenciam pelo teste Tukey a 1% de probabilidade.

O bocal verde não foi perfeitamente autocompensante, não possuindo uma faixa bem definida de autocompensação, mas a média das vazões nas pressões, em que o aspersor apresenta autocompensação (569,19 L h⁻¹) variou 3,5%, sendo esta variação bem próxima da apresentada pelo bocal amarelo (3,3%) que foi autocompensante nas pressões indicadas pelo fabricante (30 a 50 m.c.a.). A baixa variação em relação ao catálogo (3,5%), não é relevante, permitindo a utilização desta vazão do catálogo em projetos de irrigação.

O aspersor do modelo Super 10 é fabricado com autocompensante e sem autocompensante. Martins (2014) avaliando o aspersor Super 10 sem compensador de pressão encontrou aumento da vazão com o aumento da pressão.

As vazões obtidas nas pressões de 30, 35, 45 e 50 m.c.a. para o bocal vermelho foram iguais estatisticamente, mas a vazão obtida na pressão de 40 m.c.a. foi superior às demais. A variação entre a vazão média obtida nas pressões de 30 a 50 m.c.a. e a vazão indicada no catálogo para essa faixa foi de 3,7%, também não sendo relevante para prejudicar um projeto de irrigação.

ABNT (1999) determina o limite de variação de 5% com vazão nominal superior a 250 L h^{-1} . Então, os resultados observados de todos os bocais estão abaixo deste limite, corroborando com valores de variação encontrados por Martins (2014), que estudando o aspersor Super 10 sem compensador encontrou variações menores que 4%.

4.4 EQUAÇÕES CARACTERÍSTICAS VAZÃO X PRESSÃO

Com os dados de vazão obtidos nas pressões testadas, foram gerados gráficos (Figura 9 e 10) e equações (Tabela 9) para determinação da equação característica vazão x pressão, proposta por Keller e Karmeli (1974).

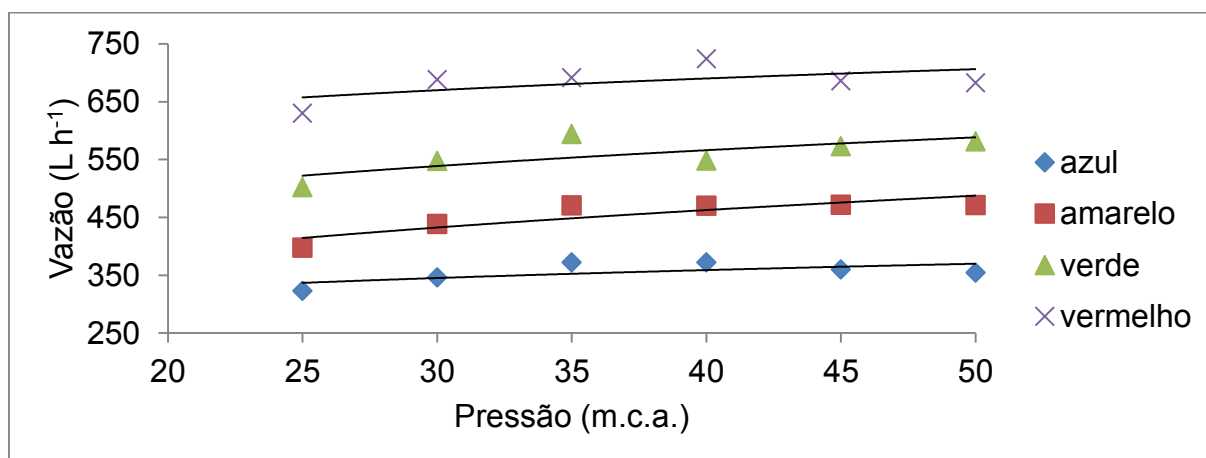


Figura 9. Curvas características vazão x pressão para o aspersor Super 10

autocompensante com os bocais azul, amarelo, verde e vermelho, em pressões de 25 a 50 m.c.a.

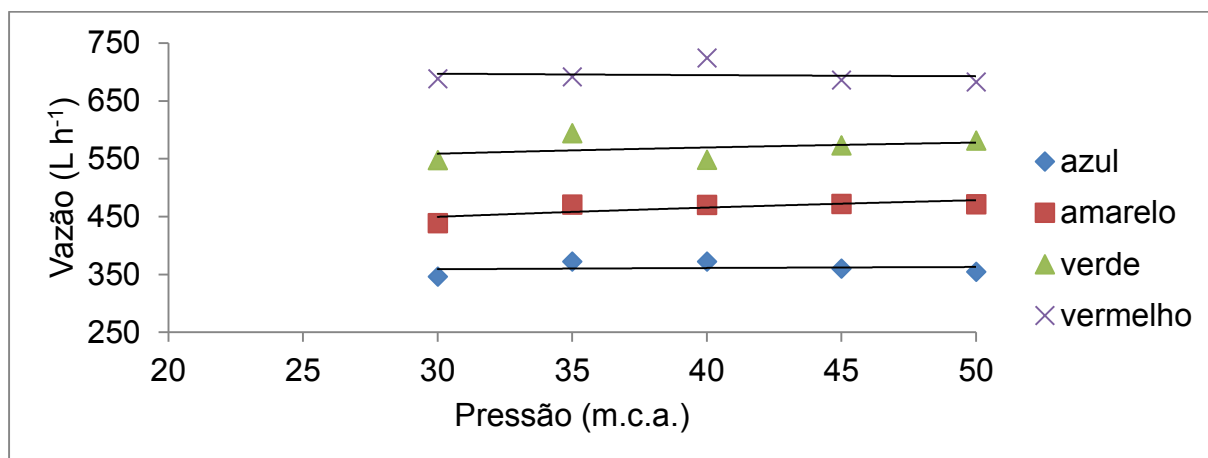


Figura 10. Curvas características vazão x pressão para o aspersor Super 10 autocompensante com os bocais azul, amarelo, verde e vermelho, em pressões de 30 a 50 m.c.a.

Tabela 9. Equações características vazão x pressão e coeficientes de determinação (R^2) obtidos para os quatro bocais.

Bocal	Equação $q = K H^x$	R^2
Azul (pressão de 25 a 50 m.c.a.)	$217,86 H^{0,1353}$	0,43
Azul (pressão de 30 a 50 m.c.a.)	$333,82 H^{0,0213}$	Ns
Amarelo (pressão de 25 a 50 m.c.a.)	$194,69 H^{0,2346}$	0,76
Amarelo (pressão de 30 a 50 m.c.a.)	$297,34 H^{0,1215}$	0,60
Verde (pressão de 25 a 50 m.c.a.)	$299,78 H^{0,1724}$	0,55
Verde (pressão de 30 a 50 m.c.a.)	$445,56 H^{0,0665}$	Ns
Vermelho (pressão de 25 a 50 m.c.a.)	$471,19 H^{0,1035}$	0,35
Vermelho (pressão de 30 a 50 m.c.a.)	$727,20 H^{-0,0120}$	Ns

ns – não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Como o aspersor é autocompensante, o expoente “x” possui valores próximos a 0 para os quatro bocais, e portanto a vazão mantém-se estável com a variação da pressão. Os modelos de regressão que melhor se ajustaram (maior R^2) para todos os bocais foram obtidos quando utilizou-se também a pressão de 25 m.c.a., e ainda somente para o bocal amarelo o coeficiente da equação foi significativo quando não se considerou a pressão de 25 m.c.a. Conforme o catálogo do fabricante esta pressão não está na faixa de compensação do aspersor (30 a 50 m.c.a.).

O modelo potencial não teve um bom ajuste, pois os valores de R^2 foram baixos (Tabela 9). Lopez et al. (1997) estudando gotejadores autocompensados, obtiveram que o modelo exponencial é deficiente quando aplicado a emissores autocompensados, explicando assim o melhor ajuste do modelo quadrático. Conforme o coeficiente de determinação (R^2), o modelo quadrático (Figura 11 e 12, e Tabela 10) obteve melhor ajuste comparado com o exponencial. Com exceção do bocal verde, quando se usou a pressão de 25 m.c.a., que não está na faixa de compensação (30 a 50 m.c.a.), todas as equações apresentaram R^2 maior que 80%. O aspersor com bocal verde foi o único que não se mostrou perfeitamente autocompensante (Tabela 8). Do mesmo modo que no modelo de regressão potencial, quando não se usou a menor pressão (25 m.c.a.), para a confecção do modelo de regressão, o ajuste das equações, conforme o R^2 , foi menor (Tabela 10).

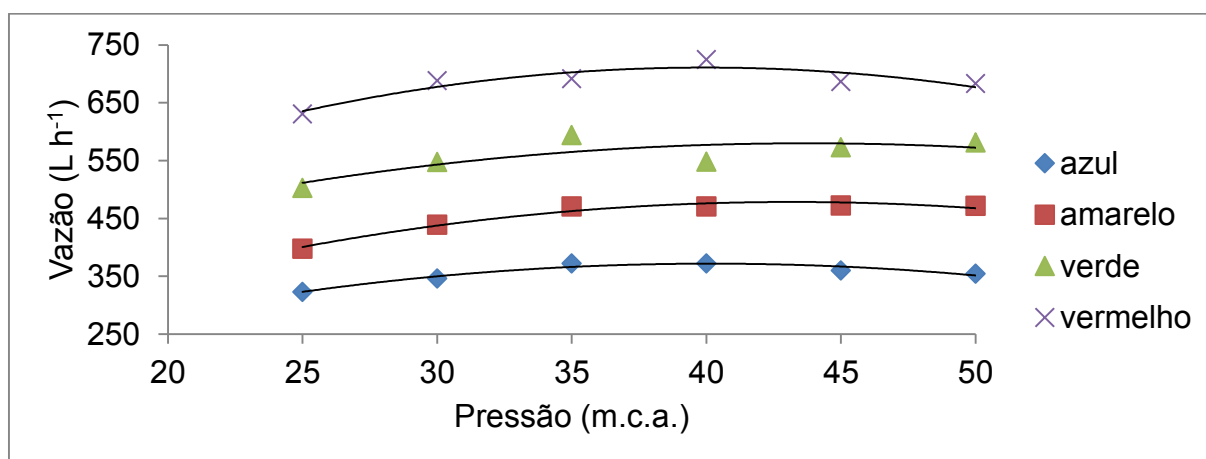


Figura 11. Modelo de ajuste de segundo grau para a relação entre vazão x pressão para o aspersor Super 10 autocompensante, com os bocais azul, amarelo, verde e vermelho, em pressão de 25 a 50 m.c.a.

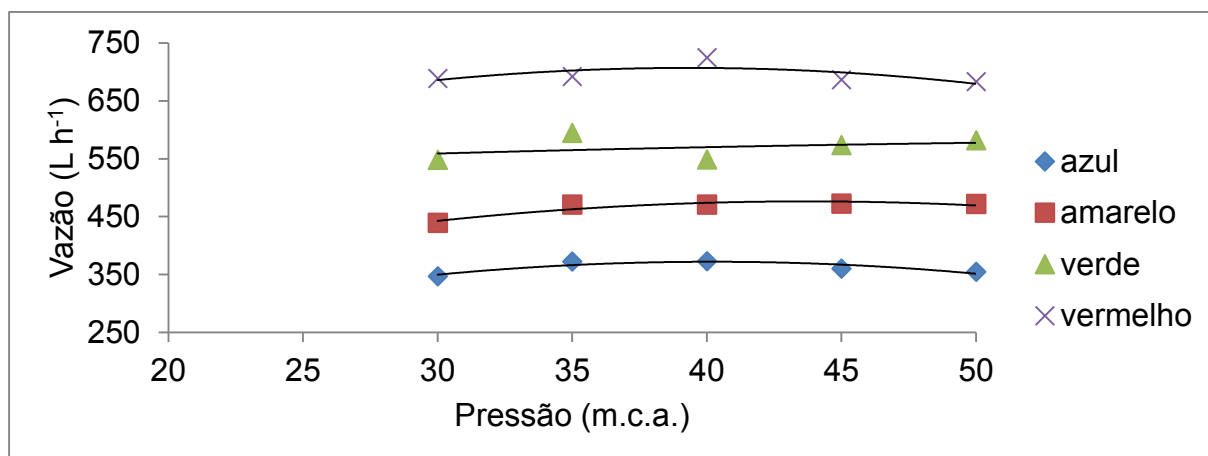


Figura 12. Modelo de ajuste de segundo grau para a relação entre vazão x pressão para o aspersor Super 10 autocompensante, com os bocais azul, amarelo, verde e vermelho, em pressão de 25 a 50 m.c.a.

Tabela 10. Equações de segundo grau ($q = aH^2 + bH + c$) entre vazão x pressão e coeficiente de determinação (R^2) obtidos para os quatro bocais.

Bocal	Equação	R^2
Azul (pressão de 25 a 50 m.c.a.)	$-0,2117 H^2 + 17,005 H + 30,204$	0,94
Azul (pressão de 30 a 50 m.c.a.)	$-0,2153 H^2 + 17,308 H + 24,071$	0,80
Amarelo (pressão de 25 a 50 m.c.a.)	$-0,2351 H^2 + 20,305 H + 39,915$	0,97
Amarelo (pressão de 30 a 50 m.c.a.)	$-0,1792 H^2 + 15,673 H + 133,68$	0,87
Verde (pressão de 25 a 50 m.c.a.)	$-0,1941 H^2 + 16,990 H + 208,07$	0,64
Verde (pressão de 30 a 50 m.c.a.)	$-0,0166 H^2 + 2,2569 H + 506,27$	ns
Vermelho (pressão de 25 a 50 m.c.a.)	$-0,3377 H^2 + 26,977 H + 172,01$	0,84
Vermelho (pressão de 30 a 50 m.c.a.)	$-0,2417 H^2 + 19,009 H + 333,33$	0,47

ns – não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

4.5 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

De acordo com a análise de variância ($p < 0,05$) o efeito da pressão nos valores de CUC e CUD, assim como a interação entre pressão e altura, foram não significativos. O fator altura de instalação foi significativo e as médias comparadas pelo teste de Tukey (Tabela 11). Observando a Tabela 3, encontra-se que os valores de CUC e CUD, para todos os bocais, na maior altura (1,2 m) foram superiores ao da menor altura (0,6 m), mostrando assim que teve melhora na uniformidade de distribuição com aumento da altura do aspersor.

Tabela 11. Resultados médios de CUC e CUD para as duas alturas de instalação dos aspersores (0,6 e 1,2 m).

Bocal	CUC (%)*		CUD (%)*	
	Altura (m)			
	0,6	1,2	0,6	1,2
Azul	78,40 b	88,27 a	75,96 b	82,55 a
Amarelo	86,14 b	88,60 a	82,66 b	84,86 a
Verde	84,81 b	89,55 a	80,92 b	84,86 a
Vermelho	81,76 b	87,36 a	75,10 b	81,30 a
Dms	1,47		1,56	

Médias seguidas pela mesma letra, na linha para CUC e CUD, não se diferenciam pelo teste Tukey a 1% de probabilidade.

* Valores médios de todos espaçamentos.

Conforme a Tabela 12, considerando a combinação de valores de CUC e CUD (MANTOVANI, 2001), para todos os bocais, apenas na altura de 1,2 m foram encontrados CUC e CUD classificados como excelentes. Como o bocal azul tem menor vazão (360 L h^{-1}), é indicado pelo fabricante a sua instalação em menores espaçamentos, fato este observado também nos testes (Tabela 12), sendo que na menor pressão e nos espaçamentos que possuem maiores áreas, não foi possível obter CUC e CUD excelentes, assim como o fabricante recomenda a utilização deste bocal apenas nos espaçamentos de 9x9, 9x10 e 10x10 m.

Tabela 12. Valores médios de CUC (%) e CUD (%) em função da pressão, altura e espaçamento para os bocais azul e amarelo.

Bocal	Pressão (m.c.a.)	Altura (m)	Espaçamentos (m x m)											
			9x9		9x10		9x12		10x10		10x12		12x12	
			CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD
Azul	25	0,6	77,9	77,8	76,6	75,3	74,0	71,8	75,4	74,3	73,2	69,8	71,3	65,5
		1,2	89,0	84,7	87,9	83,4	84,4	77,9	87,1	83,1	82,8	75,7	78,4	67,0
	30	0,6	82,4	82,5	81,5	80,5	78,8	75,8	80,9	78,9	78,2	73,8	75,9	69,5
		1,2	92,0	88,0	91,7	87,4	87,5	80,8	91,1	86,3	86,1	78,2	81,4	71,4
	35	0,6	86,0	85,6	84,5	83,9	81,0	78,0	84,1	82,4	80,4	76,5	77,9	72,3
		1,2	93,7	90,0	92,8	89,3	87,6	81,2	91,4	87,9	86,5	79,3	82,4	73,5
	40	0,6	84,3	84,5	83,3	82,5	78,8	74,8	82,2	81,4	78,1	73,6	74,6	67,7
		1,2	93,5	90,5	92,8	89,4	88,4	82,4	92,1	88,2	87,3	80,5	83,4	74,6
	45	0,6	80,6	80,5	79,2	78,8	74,3	71,8	77,6	77,4	73,2	70,0	69,7	65,4
		1,2	93,3	90,3	92,6	88,9	86,9	80,9	91,7	87,8	85,7	78,4	81,7	72,0
	50	0,6	82,3	81,8	80,7	80,5	76,5	72,7	79,5	78,9	75,8	72,0	72,2	66,4
		1,2	93,0	90,2	92,5	89,0	88,1	82,3	91,9	87,8	86,8	80,2	82,9	73,6
Amarelo	25	0,6	84,7	82,0	84,9	81,2	82,8	77,6	83,0	78,9	82,7	77,2	82,9	77,3
		1,2	88,0	85,5	89,1	85,7	86,6	82,5	87,9	83,6	86,5	81,2	85,9	80,6
	30	0,6	85,9	82,5	86,7	82,9	85,6	81,4	85,9	82,6	85,1	80,8	84,9	79,8
		1,2	87,9	84,6	89,7	86,4	87,8	82,8	88,9	85,2	87,2	81,9	86,2	80,5
	35	0,6	87,2	84,1	87,8	84,8	86,3	83,0	87,1	84,2	85,9	81,9	85,2	80,0
		1,2	89,4	86,1	91,1	87,9	89,3	85,1	90,6	87,5	88,8	83,8	87,5	82,1
	40	0,6	87,1	85,7	87,7	85,8	86,6	84,1	87,3	84,8	86,5	83,1	86,0	81,6
		1,2	90,1	86,7	91,9	88,5	90,2	86,0	91,6	88,8	89,7	84,6	88,2	82,2
	45	0,6	87,0	84,9	87,7	85,2	86,5	83,3	86,9	84,2	86,2	82,1	85,8	81,4
		1,2	89,7	85,7	91,7	88,2	90,1	85,4	91,6	88,3	89,3	83,8	87,7	81,7
	50	0,6	87,8	85,9	88,6	86,1	87,4	84,2	88,0	85,4	87,0	83,4	87,1	82,7
		1,2	89,0	84,5	91,5	88,4	90,4	85,3	91,9	89,0	89,1	84,0	87,9	81,3

Tabela 12. Continuação ...

Bocal	Pressão (m c.a.)	Altura (m)	Espaçamentos (m x m)											
			9x9		9x10		9x12		10x10		10x12		12x12	
			CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD
Verde	25	0,6	82,9	78,3	85,1	82,3	84,7	79,9	85,4	83,5	83,6	79,0	82,8	75,8
		1,2	86,0	80,5	88,1	83,2	88,5	82,4	88,9	84,3	87,3	82,5	86,6	79,6
	30	0,6	83,4	79,1	85,4	82,5	85,2	80,5	85,8	83,5	84,3	80,1	83,4	76,5
		1,2	88,2	83,5	90,2	86,3	89,9	84,9	90,3	86,7	89,2	85,1	88,6	82,9
	35	0,6	84,5	80,6	86,0	83,3	85,4	81,9	86,1	84,0	84,7	81,5	84,0	78,1
		1,2	88,8	84,9	90,4	86,8	90,4	85,6	90,4	86,0	89,5	85,7	88,9	84,0
	40	0,6	85,7	82,2	87,1	84,7	86,2	84,1	86,9	85,5	85,7	83,0	84,6	79,0
		1,2	89,7	85,2	91,0	87,4	91,1	86,2	91,1	86,8	89,9	86,4	89,5	84,9
	45	0,6	83,2	78,2	85,1	80,6	84,9	80,7	85,5	82,4	84,0	81,0	83,0	77,0
		1,2	87,9	82,0	89,3	84,1	90,6	84,5	90,5	86,3	89,9	85,5	88,9	82,3
	50	0,6	83,7	78,8	85,6	81,5	85,4	81,5	86,0	83,9	84,6	81,5	83,7	77,3
		1,2	89,8	85,0	90,8	87,1	91,5	86,6	91,8	88,8	90,6	86,8	90,0	84,2
Vermelho	25	0,6	79,9	73,1	82,5	77,0	83,0	77,2	83,4	80,3	82,1	77,1	80,5	71,4
		1,2	86,2	81,6	88,6	85,4	87,8	78,6	88,9	85,2	86,6	80,6	85,5	78,8
	30	0,6	78,9	70,8	82,0	74,5	82,7	76,4	83,2	79,2	81,7	76,6	80,2	69,5
		1,2	87,3	82,5	90,3	86,3	89,3	84,3	90,6	87,9	88,4	83,0	86,4	79,0
	35	0,6	78,9	70,6	81,6	74,0	82,4	76,2	82,9	78,5	81,2	76,5	79,7	69,7
		1,2	84,9	77,3	88,0	81,0	88,7	81,9	89,9	85,1	88,3	82,4	85,9	76,7
	40	0,6	79,2	71,0	82,0	74,5	82,7	76,3	83,2	78,5	81,5	76,8	79,9	70,0
		1,2	84,1	76,6	86,9	80,0	88,1	80,6	88,7	83,9	87,4	81,3	85,4	76,3
	45	0,6	79,8	71,8	82,4	75,3	83,2	76,7	83,9	79,2	82,1	77,2	80,8	71,0
		1,2	85,0	78,7	87,8	82,1	88,0	81,6	88,5	84,6	87,1	81,4	85,3	77,5
	50	0,6	80,6	72,9	82,8	76,1	83,9	77,6	84,3	79,9	82,9	78,4	81,6	72,4
		1,2	84,9	78,5	87,5	81,6	87,9	81,5	88,2	84,0	87,3	81,6	85,7	77,9

Legenda: Conjunto de dados (CUC e CUD) hachurados de azul apresentam CUC>90 e CUD>84, classificados como excelentes; hachurados de cinza apresentam CUC entre 80 e 90 e CUD entre 68 e 84, classificados como bons; e sem hachura apresentam CUC<80 e CUD<68, classificados como razoáveis (MANTOVANI, 2001).

Guirra, Zanini e Silva (2013) e Martins et al. (2012) estudando CUC e CUD em emissores de irrigação, também encontraram que em maiores espaçamentos os valores de CUC e CUD diminuíram. Entretanto, vale ressaltar que a utilização de espaçamentos menores aumenta o custo do sistema com tubulações e mão de obra para transporte das linhas de distribuição (PEREIRA, 2003).

Para o bocal amarelo foram encontrados CUC e CUD excelentes para as pressões de 35 a 50 m.c.a., mas com o menor espaçamento (9x9 m) houve apenas um valor excelente de CUC e CUD, obtido com a pressão de 40 m.c.a. Mesmo com o compensador de pressão os valores de CUC e CUD para as duas menores pressões (25 e 30 m.c.a.) não apresentaram nenhum valor classificado como excelente. Para a altura de 0,6 m e para os maiores espaçamentos (9x12; 10x12; 12x12) foram encontrados em todas as pressões apenas valores de CUC e CUD considerados como bons (Tabela 12).

Os bocais verde e vermelho apresentam maiores vazões e também foram encontrados valores excelentes de CUC e CUD apenas para altura de 1,2 m (Tabela 12). Para o menor espaçamento (9x9) não foram encontrados valores excelentes de CUC e CUD. Diferentemente dos outros dois bocais, os bocais verde e vermelho são indicados para maiores espaçamentos, e isto foi comprovado através dos valores de CUC e CUD, que foram considerados bons para quase todas alturas e pressões (Tabela 12).

A uniformidade teve melhoria com o aumento da altura de instalação do aspersor, mas estes valores foram obtidos em condições de ausência de interferência de vento. Em condições de campo estes valores podem sofrer variações, e com isto diminuir os valores de uniformidade.

Testando a influência do vento no raio de molhamento do canhão Plona RL-250, OLIVEIRA et al. (2009) encontraram que o jato d'água tem relação linear com o vento: quando o vento está na mesma direção e sentido do jato de água o raio de molhamento aumenta e quando em sentido contrário ao jato de água o raio de molhamento diminui. Quando a irrigação é feita na presença de vento é recomendado diminuir o espaçamento (BERNARDO et al., 2006), pois com menores espaçamentos haverá maior sobreposição das lâminas e assim diminuindo o efeito do vento e podendo manter a uniformidade adequada.

4.6 PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Como é possível observar na Figura 13, os perfis radiais para todas as pressões mostram que há grande precipitação na distância de 0,5 m da base do

aspensor. Embora não tenham sido coletadas precipitações em 0 m de distância do aspensor, os perfis de distribuição indicam tendência de maiores precipitações nessa posição. Isso prejudica a uniformidade de distribuição e pode causar excesso de água próximo ao aspensor, fato este também observado por MARTINS et al. (2015). Com o aumento da altura do aspensor houve melhor distribuição ao longo do raio de alcance do aspensor e com isto menor acúmulo de água no primeiro coletor de água (0,5 m de distância da base do aspensor).

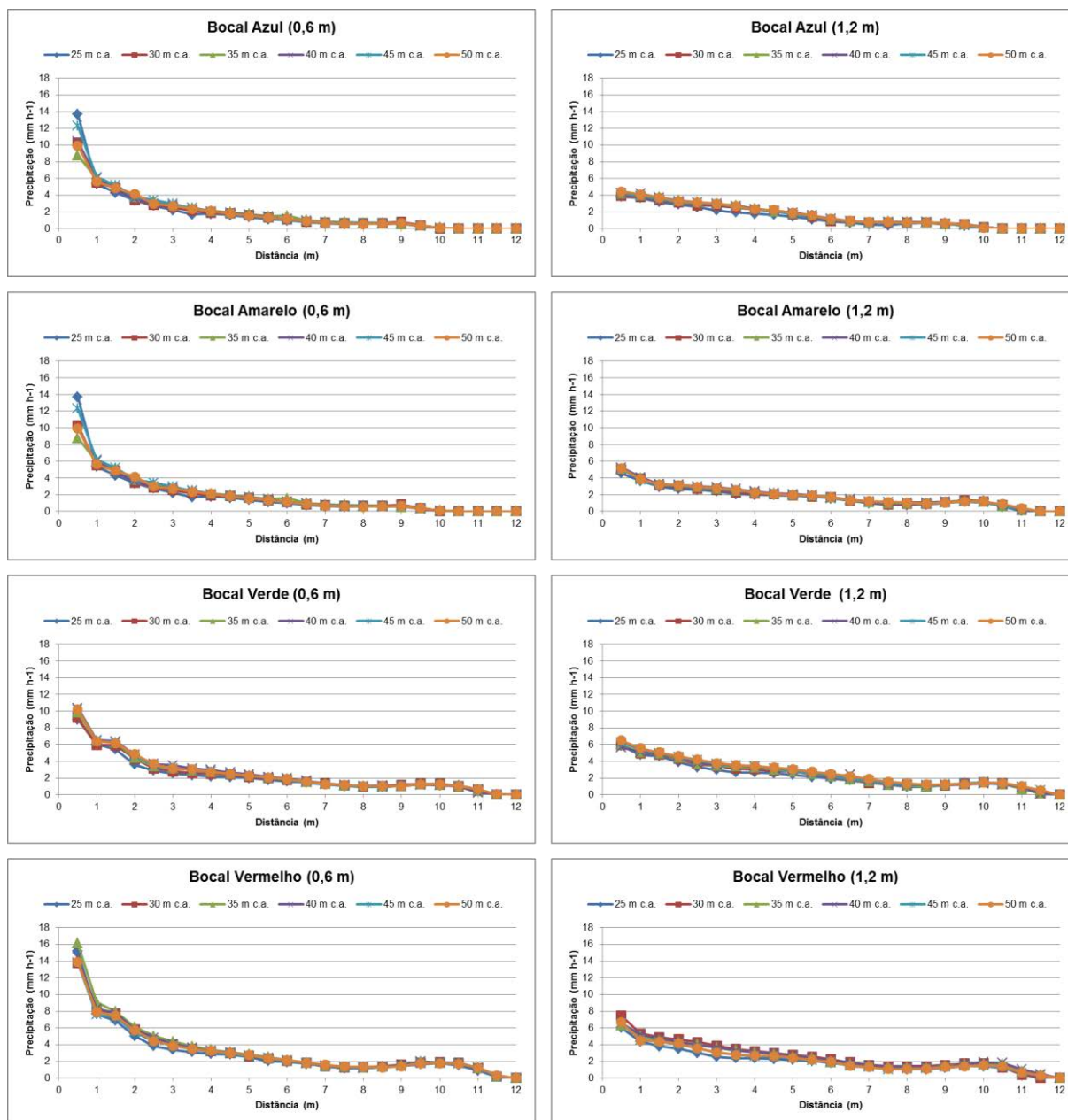


FIGURA 13. Perfis de distribuição de água dos quatro bocais em seis pressões e duas alturas de instalação (0,6 e 1,2 m).

4.7 RAIOS DE ALCANCE

Outro fato importante a ser observado é que os raios de alcance dos aspersores não variaram com as pressões (Tabela 13). Isto se deve ao fato de o aspersor possuir como regulador de vazão o compensador de pressão que mantém a vazão nas diferentes pressões. Com o aumento da altura de instalação do aspersor não houve aumento no raio de molhamento, mas como já foi observado ocorreu melhor uniformidade de distribuição, assim como a diminuição da quantidade de água aplicada próximo ao aspersor.

Tabela 13. Raio de alcance dos quatro bocais em relação à altura de instalação e pressões de trabalho

Bocal	Altura (m)	Pressões (m.c.a.)					
		25	30	35	40	45	50
Azul	0,6	10	10	10	10	10	10
	1,2	10	10	10	10	10	10
Amarelo	0,6	10	10	10	10	10	10
	1,2	10	10	10	10	10	10
Verde	0,6	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
	1,2	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
Vermelho	0,6	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
	1,2	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5

5. CONCLUSÕES

1. Os bocais menores (azul e amarelo) apresentam maiores coeficientes de variação de fabricação comparados com os bocais maiores (verde e vermelho).
2. Os bocais azul, amarelo e vermelho apresentaram comportamento de autocompensação e o bocal verde não foi perfeitamente autocompensante.
3. O aumento da altura de instalação do aspersor (de 0,6 para 1,2 m) proporciona melhor uniformidade de distribuição e diminuição da quantidade de água aplicada próximo do aspersor para todos os bocais.
4. O compensador de pressão permite que o raio de alcance do aspersor seja igual para todos os valores na faixa de pressão de 25 a 50 m.c.a.
5. O aumento dos espaçamentos resultou em diminuição dos valores de CUC e CUD, principalmente para os bocais de menor dimensão (azul < amarelo < verde < vermelho)
6. O aumento da vazão com bocal de maior dimensão (azul < amarelo < verde < vermelho) possibilita a utilização de maiores espaçamentos entre aspersores, obtendo-se melhores valores de CUC e CUD.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Equipamentos de irrigação agrícola: Aspersores rotativos. Parte 1: Requisitos para projetos e operação. Parte 2: Uniformidade de distribuição e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 22p.

ALLEN, R.G. **Catch-3D sprinkler pattern analysis software: user's manual.** Logan: Utah State University, Department of Biological and Irrigation Engineering, 1992, 14p.

ÁLVAREZ, J.F.O.; BENITO, J.M.T.M.; VALERO, J.A.J.; PÉREZ, P.C. Uniformity distribution and its economic effect on irrigation management in semiarid zones. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Delaware, v.130, n.4, p.257-268, 2004.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Agricultura irrigada: estudo técnico preliminar.** Brasília, DF, 2004, 107p.

ASAE – Standards 1999 Standards engineering practices data:EP405.1. **Design and installation of microirrigation systems.** St. Joseph. Mich: American Society of Agricultural Engineers. Dec., o. 879-883, 1999.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação.** 8.ed. Viçosa – MG - UFV: Imprensa Universitária, 2006. 625p.

BRA LTS, V.F.; WU, I.P.; GITLIN, H.M. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 1, p.113-119, 1981.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkler.** Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 212p.

CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos e irrigação no Brasil. In: Workshop Disponibilidade de Água e Irrigação no Nordeste, 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: ISPN, 1999. 34p.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica e a produção de alimentos. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 54, p. 46-55, 2002.

CLEMMENS, A.J.; MOLDEN, D.J. Water uses and productivity of irrigation systems. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.25, n.3, p.247-261, 2007.

COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.; OLIVEIRA, S.L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Revista Bahia Agrícola**, v.7, p.57-60, 2005.

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKELEY, D.G. **Methods for evaluating irrigation systems**. Washington: SCS-USDA, 1956. 24p. Agricultural Handbook, 82.

GOMIDE, D.J.L. **Determinação e análise da uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação por aspersão**. 1978. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Irrigação e Drenagem) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1978.

GUIRRA, A.P.P.M.; ZANINI, J.R.; SILVA, E.R. Desempenho do aspersor NaanDanJain 435 em função da posição do defletor. **Científica**, Jaboticabal, v.41, n.1, p.21-32. 2013.

HOLANDA FILHO, R.S.F.; PORTO FILHO, F.Q.; MIRANDA, N.O.; MEDEIROS, J.F. Caracterização hidráulica do microaspersor Rondo, da Plastro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.656-661, 1972.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v. 17, n. 2, p.678-684, 1974.

LOPEZ, R.J.; ABREU, J.H.; REGALADO, A.P.; HERNANDEZ, J.F.G. **Riego localizado**. 2 ed. Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 1997. 405p.

MANTOVANI, E.C. **AVALIA**: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada. Viçosa: UFV, 2001.

MARTINS, P.E.S.; ZANINI, J.R.; SILVA, E.R.; LEMOS FILHO, M.A.F. Perfil radial e uniformidade de precipitação do aspersor NaanDanJain 427, em função da regulagem do defletor. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.1, p.3-9. 2012.

MARTINS, P.E.S. **Caracterização hidráulica do aspersor Super 10 e sua influência na energia cinética e na erosividade**. 75p. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2014.

MARTINS, P.E.S.; SILVA, E.R.; SANTANA, V.G.; ARAÚJO NETO, J.A.; ZANINI, J.R. Uniformidade de distribuição de água do microaspersor MC-20. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v.38, n.1, p.65-70. 2015.

MERRIAM, J.L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

OLIVEIRA, F.G.; FIGUEIREDO, F.P. Influência do espaçamento entre aspersores e do uso de válvulas reguladores de pressão na uniformidade de irrigação por aspersão convencional. **Revista Ceres**, Viçosa, v.54, n.316, p.506-510, 2007.

OLIVEIRA, H.F.E.; COLOMBO, A.; FARIA, L.C. Modelagem dos efeitos do vento sobre as dimensões do alcance do jato de um canhão hidráulico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.818-824, 2009.

PEREIRA, G.M. Aspersão Convencional. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. v.2, 703p.

ROCHA, R.M.M.; COSTA, R.N.T.; MAPURUNGA, S.M.S. E CASTRO, P.T. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.154-160, 1999.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Irrigação por aspersão**. 2005. Disponível em: <[HTTP://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_37_1311200215102.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_37_1311200215102.html)>. Acesso em: 03 nov. 2013.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v.22, n.5, p.1034-1038, 1979.

TARJUELO, J.M.M.B. **El Riego por Aspersión y su Tecnología**, Madrid: Mundi Prensa, 1994, 491p.

VON BERNUTH, R.D.; BAIRD, D. Characterizing pressure regulator performance. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.33, n.1, p.145-150, 1990.

ZAGGO, S.P.; COLOMBO, A.; GIL, O.F. Desempenho de válvulas reguladoras de pressão utilizadas em sistemas pivô central, CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19, **Anais**, v.1, p.360-379, Piracicaba, SBEA, 1990.

ZANINI, J.R.; PAVANI, L.C.; SILVA, J.A.A. **Irrigação em citros**. Jaboticabal, Funep, 1998. 35p.