

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PERFIL RADIAL E UNIFORMIDADE DE PRECIPITAÇÃO DO
ASPERSOR NAANDANJAIN 427, EM FUNÇÃO DO DEFLETOR
DE AJUSTE**

Paulo Eduardo Silva Martins

Engenheiro Ambiental

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PERFIL RADIAL E UNIFORMIDADE DE PRECIPITAÇÃO DO
ASPERSOR NAANDANJAIN 427, EM FUNÇÃO DO DEFLETOR
DE AJUSTE**

Paulo Eduardo Silva Martins

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)

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Fevereiro de 2011

M386p Martins, Paulo Eduardo Silva
Perfil radial e uniformidade de precipitação do aspersor
NaanDanJain 427, em função do defletor de ajuste / Paulo Eduardo
Silva Martins. -- Jaboticabal, 2011
ix, 47f. ; il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011
Orientador: José Renato Zanini
Banca examinadora: José Carlos Barbosa , Fernando Braz
Tangerino Hernandez
Bibliografia

1. Uniformidade de irrigação. 2. Perfil de distribuição de água.
3 Performance hidráulica 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.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

PAULO EDUARDO SILVA MARTINS – Nascido em 10 de novembro de 1983 na cidade de Salvador – BA. Filho de Eva Silva Martins e Paulo Ricardo Saquete Martins. Possui Graduação em Engenharia Ambiental (2008 – UNIT – SE), onde foi Bolsista de Iniciação Científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Bolsista como Monitor da disciplina Química Ambiental Experimental e Teórica. Tem especialização em Gestão e Manejo Ambiental na Agroindústria (2010 – UFLA – MG). Ingressou no curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) em março de 2009, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP – Jaboticabal – SP, tendo recebido bolsa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP – TT3), e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – DS), desenvolvendo pesquisa na Área de Hidráulica e Irrigação.

*A DEUS.
Aos meus pais Paulo e Eva.
Ao meu irmão Paulinho, minha cunhada Dani e minha sobrinha Giovanna.
À Natasha.*

OFERREÇO

*Aos meus pais Paulo e Eva
Que diariamente doam suas vidas pelos seus filhos.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal;

Ao Professor (e amigo) Dr. José Renato Zanini, especialmente, por toda orientação, dedicação e valiosos ensinamentos;

Ao Professor Dr. José Carlos Barbosa, pela colaboração nas análises estatísticas;

Ao Professor Antônio Carlos Barreto (IFTM), pela colaboração no uso do Catch-3D;

Aos membros da banca de qualificação Prof. Dr. Luiz Carlos Pavani e Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho, pelas valiosas contribuições;

À empresa NaanDanJain pela doação dos aspersores;

Aos meus pais, que apesar da distância, estavam presentes em todos os dias deste curso e com muita sabedoria souberam me ajudar e me guiar para as melhores escolhas;

À Natasha, por estar presente diariamente e incondicionalmente e por realmente ter feito parte desta história;

À família Miceli por me dar a oportunidade de ter uma família tão perto;

Aos colegas que me ajudaram durante o experimento (Rodrigão, Donizeti, Marcão, Jacqueline, Ana Paula e Victor), muito obrigado;

Aos Amigos de República: Júnio, Rodrigo, Macaxeira e Beybe, além dos incontáveis agregados presentes nestes dois anos, por todos os momentos de lazer;

Aos amigos, Victor e Naílson pelos grandes momentos de amizade;

Ao grande amigo Olegário, por todos os ensinamentos, pela amizade e pela confiança;

Enfim, a todos que durante este ciclo, estiveram presentes na minha vida. Eu realmente fiz muitas amizades durante este período, e agradeço a todos vocês.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
SUMMARY.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Uso de sistemas convencionais de irrigação por aspersão.....	3
2.2 Seleção do aspersor.....	5
2.3 Fatores que afetam o desempenho dos aspersores.....	5
2.3.1 Bocal.....	5
2.3.2 Pressão.....	6
2.3.3 Vento.....	7
2.3.4 Sobreposição.....	7
2.3.5 Precisão do processo de fabricação do aspersor.....	8
2.4 Uniformidade de distribuição de água de aspersores.....	9
2.4.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).....	10
2.4.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).....	11
2.5 Ensaio com aspersores.....	12
2.6 Cálculo digital da uniformidade de aplicação de água.....	13
2.7 Intensidade de aplicação de água.....	14
2.8 Relações entre uniformidade de distribuição de água e os impactos ambientais relacionados à agricultura irrigada.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Características técnicas do aspersor NaanDanJain 427.....	15
3.2 Características técnicas da motobomba.....	17
3.3 Coletores.....	17
3.4 Procedimentos experimentais.....	17
3.5 Método de amostragem.....	18
3.6 Determinação da vazão e do coeficiente de variação de fabricação (CVf).....	19
3.7 Curva característica vazão-pressão.....	20
3.8 Uniformidade de aplicação de água.....	20
3.9 Grau de pulverização.....	20
3.10 Intensidade média de aplicação de água.....	21
3.11 Avaliação estatística do experimento.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 Determinação da vazão e do coeficiente de variação de fabricação (CVf).....	22
4.2 Equação característica vazão-pressão.....	24
4.3 Uniformidade de distribuição de água.....	24
4.4 Raio de molhamento do aspersor.....	30
4.5 Grau de pulverização.....	31
4.6 Intensidade média de aplicação de água.....	31
4.7 Avaliação estatística.....	32
4.7.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen.....	32
4.7.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição.....	35
5. CONCLUSÕES.....	40
6. REFERÊNCIAS.....	41

PERFIL RADIAL E UNIFORMIDADE DE PRECIPITAÇÃO DO ASPERSOR NAANDANJAIN 427, EM FUNÇÃO DO DEFLETOR DE AJUSTE

RESUMO: O trabalho teve como objetivo avaliar o perfil radial e a uniformidade de distribuição de água do aspersor fabricado pela empresa NaanDanJain, modelo 427 1/2”M e bocal de 2,8 mm de diâmetro interno, operando com pressões de 150, 200, 300 e 400 kPa em cinco posições do defletor de ajuste (0, 20, 50, 80 e 100%). Para a determinação dos parâmetros avaliados utilizou-se o método da malha, e com o auxílio do aplicativo computacional CATCH 3D calculou-se a sobreposição das lâminas de água com dez espaçamentos. Os resultados obtidos demonstram que o defletor de ajuste influencia o raio de molhamento, o perfil de distribuição e a uniformidade de aplicação de água e mostrou-se como um mecanismo importante, pois permite comportamento diferenciado para o aspersor, garantindo ampla faixa de utilização do equipamento.

Palavras-chave: uniformidade da irrigação; perfil de distribuição de água; performance hidráulica

RADIAL PROFILE AND PRECIPITATION UNIFORMITY OF SPRINKLER NAANDANJAIN 427, DEPENDING ON THE DEFLECTOR ADJUSTMENT

SUMMARY: The study aimed to evaluate the radial profile and the uniformity of water distribution of sprinkler manufactured by the company NaanDanJain, model 427 1/2"M and nozzle with 2.8 mm of internal diameter, operating at pressures of 150, 200, 300 and 400 kPa and five positions of the deflector (0, 20, 50, 80 and 100%). For the determination of the parameters rated, we used the method of the grid, and with the aid of computer application CATCH 3D, it was calculated overlapping layers of water with ten spacing. The results show that the deflector adjustment influences the radius of wetness, the distribution profile and the uniformity of water application and showed itself as an important mechanism, since it gave different behavior for the sprinkler, ensuring wide track usage of the equipment.

Keywords: irrigation uniformity; profile water distribution; hydraulic performance

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é muito importante para o desenvolvimento da agricultura, pois permite a estabilidade da produção em períodos de déficit hídrico. Entretanto, seja pela conservação dos recursos naturais ou para auspiciar maior produtividade de uma cultura, é necessário, para o sucesso de um projeto de irrigação, saber quanto e com que frequência devem ser aplicados água e fertilizantes, propiciando condições para o desenvolvimento das espécies vegetais, na direção da conservação da água e do solo e na redução do consumo energético.

Diante deste panorama, a agricultura irrigada, maior usuário de água do Mundo, tem sofrido pressões sociais e econômicas para que se reduza principalmente o consumo de água. Com isto, a otimização no uso dos recursos, tem se tornado um desafio para os irrigantes, que por necessitarem priorizar a aplicação de água de forma precisa, precisam ter conhecimento sobre as principais características dos equipamentos a ser utilizados, visando prepará-los para o melhor uso nas condições de campo. E por esta necessidade, justifica-se o investimento em pesquisa que visa o melhor aproveitamento dos recursos hídricos e menor impacto ambiental na agricultura irrigada.

Em relação à aspersão convencional, esta tem se desenvolvido desde o final da II Guerra Mundial, com o desenvolvimento de tubos de alumínio, leves, que permitiam a diminuição do alto investimento inicial, e a facilidade de mobilidade da linha de aspersores. Porém, mesmo se tratando de um dos métodos mais empregados, os dados técnicos fornecidos pelos fabricantes de aspersores são restritos, não permitindo ao irrigante dispor de informações técnicas necessárias como: o perfil de distribuição de água e a intensidade com que a lâmina de água é disposta ao longo de uma área ou mesmo indicações de melhores espaçamentos entre aspersores para uma melhor distribuição de água.

Diante do exposto e o atual apelo ambiental relacionado ao consumo de água, o presente estudo teve como objetivo avaliar o perfil radial e a uniformidade de

distribuição de água do aspersor fabricado pela empresa NaanDanJain, modelo 427 1/2”M e bocal de 2,8 mm de diâmetro interno, operando com quatro pressões em cinco posições do defletor de ajuste.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Uso de sistemas convencionais de irrigação por aspersão

A agricultura irrigada tem atingido grande expressividade no setor produtivo mundial, sendo responsável por 44% da produção mundial de alimentos (CHRISTOFIDIS, 2008). Neste panorama, a irrigação se tornou uma importante técnica no desenvolvimento da agricultura (COSTA, 2003) permitindo que o material genético expresse em campo todo seu potencial de produção.

Não existe um método de irrigação ideal, capaz de atender satisfatoriamente todas as condições de clima, solo, cultura e socioeconômica, motivo pelo qual se explica a grande variação de tipos de sistemas (ANDRADE & BRITO, 2006). Entre os métodos mais utilizados, PEREIRA (2000) destacou o uso da irrigação por aspersão convencional, utilizado para irrigação de hortaliças, especialmente em pequenas áreas de produção, além de irrigação de parques e jardins. Sua utilização em larga escala, é justificada por BERNARDO et al. (2006) devido à fácil adaptabilidade do método a diversas culturas, tipos de solo e a qualquer topografia.

A irrigação por aspersão se caracteriza por ser um método em que a água é aspergida, através de um aspersor, sobre a superfície do terreno, semelhante à chuva, por causa do fracionamento do jato de água em gotas, devido a sua passagem sob pressão através de pequenos orifícios ou bocais (OLITTA, 1984; BERNARDO et al., 2006), com o objetivo de distribuir água de maneira que o solo a absorva sem que ocorra escoamento superficial, proporcionando distribuição uniforme da lâmina aplicada.

Na maioria dos sistemas de aspersão, utilizam-se aspersores rotativos (Figura 1), que podem ser de giro completo ou setorial, permitindo regulagem da amplitude de giro, cujo movimento é produzido pelo impacto do jato de água em um braço, ou pela ação hidráulica sobre uma engrenagem ou por reação (OLITTA, 1984).

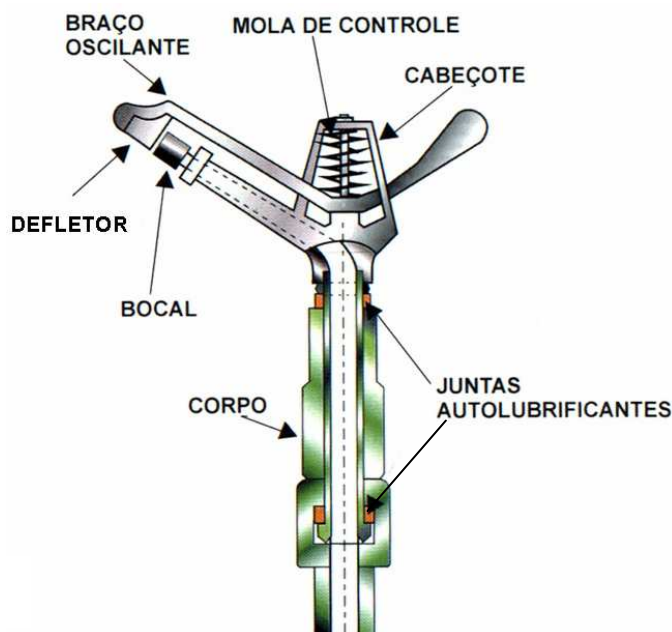


Figura 1. Corte esquemático de um aspersor rotativo.

Fonte: BERNARDO et al. (2006)

Há aspersores de vários tamanhos disponíveis no mercado. Porém, para fins de classificação, os aspersores podem ser reunidos em quatro grupos, segundo a pressão de serviço, de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1. Classificação dos tipos de aspersores, de acordo com a pressão de serviço (PS).

Tipo	Aspersores	Característica
1	Muito baixa pressão	Operam com PS de 35 a 100 kPa, raio de molhamento de 3 a 8 m e intensidade de precipitação ao redor do aspersor de 100 mm h ⁻¹ .
2	Baixa pressão	Operam com PS de 100 a 200 kPa, raio de molhamento de 9 a 12 m e intensidade de precipitação mínima de 5 mm h ⁻¹ .
3	Média pressão	Operam com PS de 200 a 400 kPa, raio de molhamento de 10 a 35 m e intensidade de precipitação mínima de 6 mm h ⁻¹ .
4	Alta pressão	
4.1	Médio alcance	Operam com PS de 350 a 800 kPa e raio de molhamento de 30 a 60 m
4.2	Longo alcance	Operam com PS de 500 a 1000 kPa, raio de molhamento de 40 a 80 m. Os aspersores de alta pressão, em geral, apresentam elevada intensidade de precipitação e são muito influenciados pela ação dos ventos.

Fonte: Adaptado de PEREIRA (2000) e BERNARDO et al. (2006)

Entre os componentes do aspersor que melhor podem modificar o perfil de distribuição de água, destaca-se o bocal, o braço oscilante e o defletor.

Os bocais são peças que apresentam o orifício para a saída do jato de água, sendo responsável pela vazão, pulverização do jato, distribuição, diâmetro de cobertura e tamanho da gota de água, quando operando a uma determinada pressão (OLITTA, 1984). O braço oscilante é um mecanismo que atua diretamente na rotação do aspersor devido ao impacto da água que sai do bocal do aspersor sobre o mesmo, provocando impactos pequenos e periódicos (BERNARDO et al., 2006). Já o defletor, também chamado de defletor de ajuste, contribui para o fracionamento do jato que sai através do bocal, com o intuito de melhorar a uniformidade de distribuição de água. O conhecimento de sua atuação permite ao projetista e ao usuário do sistema de irrigação, a utilização do aspersor em maior amplitude de situações, tais como: necessidades de alterações do raio de molhamento em função da fase da cultura, do formato da parcela irrigada e do espaçamento entre aspersores.

2.2 Seleção do aspersor

A escolha do aspersor, para um tipo de projeto, envolve o conhecimento de vários parâmetros, como: características de funcionamento (PS, diâmetro de bocal, vazão, intensidade de aplicação de água e raio de alcance); um espaçamento correto no campo; uma menor intensidade de aplicação de água em relação à velocidade de infiltração básica (VIB) do solo; e um modelo adequado ao tipo de cultura em relação ao grau de pulverização do jato (PEREIRA, 2000). Como a maioria dos aspersores aplica água em áreas circulares, há a necessidade de sobreposição para se obter uniformidade satisfatória, pois existem diversos fatores que afetam direta ou indiretamente esta uniformidade (BERNARDO et al., 2006).

2.3 Fatores que afetam o desempenho dos aspersores

2.3.1 Bocal

Os aspersores convencionais podem ter um, dois ou três bocais, com diâmetros em uma faixa variável entre 2 e 30 mm, e podem ser divididos em duas categorias de

bocais: um para longo alcance e outro para espalhar o jato (SPRINKLER IRRIGATION ASSOCIATION, 1975; OLITTA, 1984; PEREIRA, 2000; BERNARDO et al., 2006). Em estudo realizado por AQUINO (2006), a utilização de diferentes diâmetros de bocais afetou o desempenho do aspersor Rain Bird LF1200, influenciando a velocidade de rotação e a vazão do aspersor, alterando os valores da intensidade de aplicação de água.

2.3.2 Pressão

A vazão de um aspersor é função do diâmetro do bocal e da PS. Segundo OLITTA (1984), PEREIRA (2000) e BERNARDO et al. (2006), para a obtenção de bom perfil de distribuição, os aspersores devem funcionar dentro dos limites de pressão especificados pelos fabricantes, pois, pressões acima do limite estabelecido irão acarretar em uma pulverização muito grande pelo jato produzindo gotas de tamanho reduzido, com excesso de deposição de água próximo ao aspersor e perda no alcance do jato; quando em menor pressão em relação ao limite recomendado, ocorrerá inadequada pulverização do jato, proporcionando maior deposição de água na extremidade da área molhada (Figura 2).

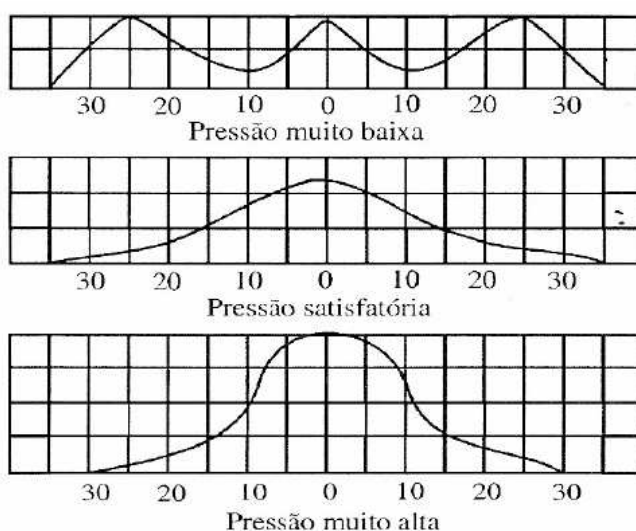


Figura 2. Variação na distribuição da água do aspersor com a pressão.

Fonte: BERNARDO et al. (2006)

2.3.3 Vento

O efeito da ação do vento sobre a distribuição de água por aspersores, constitui em uma das principais causas da baixa uniformidade de aplicação de água (AQUINO, 2006). A potencialização do seu efeito sobre a distribuição de água, depende de fatores como: o tipo do aspersor, a PS que influencia o tamanho das gotas, a velocidade e a direção do vento, além da altura e da velocidade de rotação (PEREIRA, 2003).

Estudos realizados por OLIVEIRA et al. (2009) com o canhão Plona RL-250, mostraram que a velocidade dos ventos entre 0 e 5 m s⁻¹ tem relações lineares com a redução do raio de molhamento nas direções perpendiculares e contrárias ao vento, e em acréscimo, em relação ao sentido do vento.

Segundo BERNARDO et al. (2006), o efeito do vento pode ser minimizado pelo decréscimo do espaçamento ao longo das linhas laterais e entre as linhas laterais. PEREIRA (2000) cita o grau de pulverização (Gp), que representa a dimensão das gotas aspergidas, como um bom índice para caracterizar a susceptibilidade do aspersor em relação à influência do vento. O mesmo autor ainda classifica as gotas em relação ao Gp e faz uma associação entre a sensibilidade de culturas ao diâmetro de gotas e o Gp (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação das gotas quanto ao grau de pulverização (Gp) do aspersor e quanto à sensibilidade de culturas em geral.

Gp (Adimensional)	Classificação	Sensibilidade
< 3	Grossa	Culturas praticamente insensíveis: Pastagens
3 – 4	Semi-grossa	Culturas pouco sensíveis: Cana-de-açúcar
4 – 5	Semi-fina	Culturas moderadamente sensíveis: Hortaliças e pomares em geral
5 – 6	Fina	Culturas muito sensíveis: Hortaliças mais delicadas
> 6	Finíssima	Culturas extremamente sensíveis: Flores

Fonte: Adaptado de PEREIRA (2000)

2.3.4 Sobreposição

Para a obtenção de boa uniformidade de distribuição de água sobre a área irrigada, os aspersores devem ser espaçados, de modo que se obtenha sobreposição

entre os perfis de distribuição de água dos aspersores, ao longo das linhas laterais e entre linhas laterais ao longo da linha principal (Figura 3) (PEREIRA, 2000).

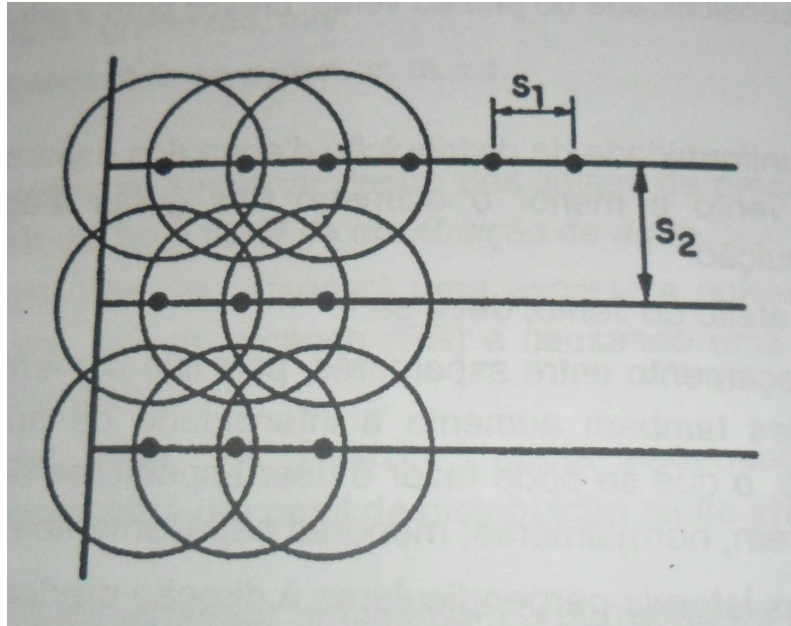


Figura 3. Sobreposição de áreas por aspersores espaçados $S_1 \times S_2$.

Fonte: PEREIRA (2000)

2.3.5 Precisão do processo de fabricação do aspersor

Segundo SOLOMON (1979), a uniformidade de precipitação de água pode sofrer variações devido à precisão com que os equipamentos são fabricados. Para fins de classificação quanto ao processo de fabricação, e como a variação da vazão do emissor, resultado da variação de fabricação segue a distribuição normal de Gauss, SOLOMON (1979) e VERMEIREN & JOBLING (1980), sugerem o uso do coeficiente de variação de fabricação (CVf), que pode ser definido como sendo a relação entre o desvio-padrão da vazão do emissor e a sua vazão média submetida a testes com pressão constante.

Existem diversas classificações para emissores em relação ao CVf, porém a mais restritiva é definida por SOLOMON (1979) para gotejamento (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf) segundo proposta de SOLOMON (1979).

CVf (%)	Classificação
Até 3	Excelente
4 a 7	Médio
8 a 10	Marginal
11 a 14	Pobre
Acima de 15	Ruim

Estudos realizados por diversos autores, para caracterização hidráulica de equipamentos para irrigação, como REZENDE et al. (1998), HOLANDA FILHO et al. (2001), ROCHA et al. (2001a), ROCHA et al. (2001b), ANDRADE (2009), avaliam a precisão com que esses equipamentos são fabricados, por meio do CVf.

2.4 Uniformidade de distribuição de água de aspersores

A uniformidade de aplicação de água é um dos parâmetros de desempenho da irrigação, que muitos especialistas consideram importante para se avaliar a qualidade da irrigação (CASTIBLANCO, 2009). Além disso, à medida que a proteção ambiental é enfatizada e a conservação da água é cada vez mais necessária, a uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação ganha mais importância para projetistas, fabricantes e usuários, principalmente devido à necessidade de se reduzir os custos com água e energia (LOUIE & SELKER, 2000).

Em sistemas de irrigação por aspersão, a uniformidade de irrigação se refere à igualdade de distribuição da altura de precipitação lançada pelos aspersores sobre a superfície irrigada (PEREIRA, 2000). Ainda de acordo com o mesmo autor, em sistemas de irrigação com baixa uniformidade, algumas zonas recebem menos água que a quantidade necessária, o que pode acarretar em prejuízos para o desenvolvimento da cultura; enquanto que outras zonas, que recebem mais água, estão sujeitas a encharcamentos, erosão do solo, percolação e lavagem de nutrientes.

FRIZZONE et al. (2007) citam que a uniformidade do teor de água do solo e a produtividade das culturas irrigadas são bastante dependentes da uniformidade com que a água é aplicada com a irrigação. ROCHA et al. (1999) descrevem a importância

da avaliação do desempenho de sistemas de irrigação em relação à variabilidade da uniformidade de distribuição de água.

Diversos coeficientes e padrões de classificação são usados para expressar e interpretar esta variabilidade, porém, a literatura atribui destaque aos coeficientes propostos por CHRISTIANSEN (1942) e CRIDDLE et al. (1956).

2.4.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

De acordo com KELLER & BLIESNER (1990), na escolha de um aspersor, o objetivo principal é ter uma combinação entre espaçamentos de aspersores, pressão de operação e tamanho do bocal, que proporcionará melhor grau de uniformidade de distribuição de água.

Para buscar a melhor uniformidade de distribuição de água, CHRISTIANSEN (1942) foi o primeiro a realizar esse estudo, utilizando um sistema de irrigação com aspersores rotativos e determinando o efeito da pressão de serviço, da rotação, do espaçamento entre aspersores e da velocidade do vento. A partir desse trabalho, Christiansen estabeleceu o parâmetro conhecido como Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), definido pela Equação 1:

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

em que:

CUC – Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

Y_i – Lâmina de água coletada, no i-ésimo coletor (mm);

\bar{Y} – Lâmina média de água coletada (mm); e

n – Número de observações.

BERNARDO et al. (2006), de maneira abrangente, citam que o valor mínimo recomendável do CUC para irrigação por aspersão, deve ser na ordem de 80%. De

forma mais específica, FRIZZONE (1992) e PEREIRA (2000) descrevem que em um sistema de irrigação por aspersão utilizando culturas de alto valor econômico e com sistema radicular raso, o CUC a ser obtido deve estar com valores acima de 88%. Em relação às culturas de sistemas radicular médio ou profundo, FRIZZONE (1992) sugere coeficientes entre 80 e 88%, e 70 e 80%, respectivamente, enquanto PEREIRA (2000) sugere 82 a 88% e 70 a 82%, respectivamente.

Outra proposta de interpretação dos valores de CUC foi sugerida por MANTOVANI (2001) de acordo com a Tabela 4:

Tabela 4. Classificação dos valores do CUC para sistemas de aspersão.

Classificação	CUC (%)
Excelente	> 90
Bom	80 – 90
Razoável	70 – 80
Ruim	60 – 70
Inaceitável	< 60

Fonte: MANTOVANI (2001)

MARTÍN-BENITO et al. (1992) afirmam que baixos valores de coeficiente de uniformidade geralmente indicam má combinação entre pressão de operação, espaçamento de aspersores, número e tamanho de bocais.

2.4.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

Outro coeficiente largamente utilizado nas avaliações de equipamentos de aspersão é o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) proposto por Criddle et al. (1956), que considera a razão entre a média do menor quartil (quartil que menos recebe água) e a média da precipitação, definido pela Equação 2:

$$CUD = 100 \left(\frac{q_n}{\bar{q}} \right) \quad (2)$$

em que:

CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

q_n – média das menores precipitações, representando 25% do total avaliadas; e

\bar{q} – média de todas as precipitações coletadas.

A obtenção de baixo valor de CUD indica que excessiva perda por percolação ocorre se toda a área receber lâmina maior ou igual à necessária (MANTOVANI et al., 2007).

Segundo KELLER & BLIESNER (1990), valores do CUD abaixo de 60% são considerados baixos, usados para culturas de baixos valores econômicos, enquanto que para culturas de alto valor econômico, os autores recomendam o valor de CUD acima de 75%.

Outra proposta de interpretação dos valores de CUD foi realizada por MANTOVANI (2001) de acordo com a Tabela 5:

Tabela 5. Classificação dos valores do CUD para sistemas de aspersão.

Classificação	CUD (%)
Excelente	> 84
Bom	68 – 84
Razoável	52 – 68
Ruim	36 – 52
Inaceitável	< 36

Fonte: MANTOVANI (2001)

2.5 Ensaio com aspersores

Avaliações de equipamentos para irrigação visam quantificar o desempenho desses, procurando a sua adequação a uma determinada condição de utilização e a realização de estudos comparativos entre os dados fornecidos pelos fabricantes e os valores obtidos em campo, possibilitando uma melhor indicação de uso dos mesmos (AQUINO, 2006).

Porém, de acordo com PRADO e COLOMBO (2009), a existência de inúmeras possibilidades de combinações de pressão de serviço e diâmetro de bocais, faz com que os fabricantes não disponibilizem, ou apresentem de maneira inadequada as características técnicas de distribuição de água de seus aspersores. Desta maneira, é preciso trabalhar com técnicas de modo a reduzir o número de ensaios (PRADO & COLOMBO, 2005). Como alternativa para a caracterização de aspersores, com economia de recursos materiais e financeiros, além de ganhos de tempo, BORGES JÚNIOR et al. (2008) citaram o uso de modelos computacionais para cálculo digital da uniformidade de aplicação de água.

A metodologia para o ensaio de aspersores é descrita pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A ABNT (1999b) define para o ensaio de aspersores rotativos 2 metodologias: método da malha, onde há um espalhamento dos coletores ao redor do aspersor, igualmente espaçados formando uma malha; e o método radial, onde os coletores encontram-se distribuídos ao longo de uma linha radial ao aspersor.

2.6 Cálculo digital da uniformidade de aplicação de água

Para MONTERO et al. (2001), como a escassez de água e energia é um desafio para os agricultores e pesquisadores, torna-se necessário o desenvolvimento de estratégias para reduzir o consumo e incrementar a eficiência na utilização desses recursos. Com isto, o uso de aplicativos computacionais que determinam a uniformidade de precipitação de água em sistemas de irrigação baseados em dados de precipitação, estão sendo cada vez mais utilizados (CARRIÓN et al., 2001). PRADO (2008) complementa afirmando que os cálculos digitais assumem importante papel no suporte ao estudo de alternativas para maximizar a uniformidade de aplicação de água nas regiões onde a distribuição de água é deficitária.

Diversos aplicativos computacionais, baseados na sobreposição da distribuição de água dos aspersores estão disponíveis para calcular a uniformidade de aplicação de água em determinada disposição de aspersores. Para a operação desses aplicativos, FARIA (2008) cita que é necessária a caracterização da distribuição espacial de água dos aspersores, e complementa destacando o uso de diversos aplicativos, como:

Sprinkler Catch Can Overlap Program - Catch 3D, desenvolvido pela Utah State University (ALLEN, 1992 e MERKLEY, 2004); SORA, desenvolvido por CARRIÓN et al. (2001), entre outros.

2.7 Intensidade de aplicação de água

Segundo OLITTA (1984), o planejamento de um sistema de irrigação por aspersão, exige além do conhecimento da distribuição de água aplicada, a intensidade de aplicação do sistema, que deverá ser selecionada baseando-se na capacidade de infiltração da água do solo. A intensidade de aplicação de água para este sistema de irrigação, deve ocorrer de forma que toda água aspergida se infiltre no solo, não havendo, desta forma, escoamento sobre a superfície (BERNARDO et al., 2006) para que não ocorra a erosão nos terrenos acidentados, nem a acumulação, por longo tempo, de água na superfície dos terrenos planos ou com depressões (PEREIRA 2000).

2.8 Relações entre uniformidade de distribuição de água e os impactos ambientais relacionados à agricultura irrigada

A crescente utilização da água para fins de irrigação tem despertado a preocupação da opinião pública e das lideranças políticas, devido aos impactos causados ao ambiente pela má utilização das águas pelos irrigantes.

A importância da uniformidade na distribuição de água na agricultura irrigada tem sido observada por diversos pesquisadores como SGINER (1979), CURTIS et al. (1996) e ROCHA et al. (2001a), que observaram que o aumento da uniformidade pode além de causar benefícios econômicos, aumentar o rendimento das culturas e reduzir as perdas por percolação, caracterizando benefício ambiental.

COELHO et al. (2005) citaram que a simples melhoria de 1% na eficiência do uso da água de irrigação nos países em desenvolvimento de clima árido e semi-árido, significaria economia de cerca de 200 mil litros de água por agricultor $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

A falta de uniformidade de distribuição de água dos sistemas, acarretando excesso de aplicação de água em parte da área irrigada, pode acarretar outros problemas ambientais como a lixiviação de fertilizantes e contaminação de águas

subterrâneas, devido à percolação (MONTERO et al., 2001; CAPRA & SCICOLONE, 2004; OLIVEIRA et al., 2009). Segundo OLITTA (1984), as perdas por percolação profunda abaixo da zona do sistema radicular e as perdas por escoamento superficial poderão ser praticamente anuladas com um correto planejamento do sistema.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido em área pavimentada, aproximadamente plana, com diversas construções e árvores ao redor, formando um quebra-vento, situada no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, a 21°15'22" de latitude sul, 48°18'58" de longitude oeste e altitude média de 570 m.

O clima predominante na região é classificado como Cwa (subtropical com inverno relativamente seco), conforme a classificação climática de Köppen. A temperatura média anual mínima é de 16,8 °C e a média anual máxima de 28,9 °C. A umidade relativa média do ar é de 70,8%.

3.1 Características técnicas do aspersor NaanDanJain 427

O trabalho foi desenvolvido com aspersor de plástico, de impacto, rotativo, com bocal de diâmetro interno de 2,8 mm (Figura 4a), fabricado pela empresa NaanDanJain, modelo 427 1/2" M, utilizado para irrigação em parques, jardins e culturas em geral. O aspersor possui defletor de ajuste, que possibilita modificar o perfil radial de distribuição de água em função de onze posições, variando o comprimento do defletor (Figura 4b) a cada 1 mm a partir posição inicial 0 mm (0%) até a posição final 10 mm (100%), de forma a aumentar, em cada posição, o grau de interferência do defletor sobre o jato. Deste modo, as possíveis ampliações do comprimento do defletor são: 0 mm (0%), 1 mm (10%), 2 mm (20%), 3 mm (30%), 4 mm (40%), 5 mm (50%), 6 mm (60%), 7 mm (70%), 8 mm (80%), 9 mm (90%) e 10 mm (100%). Dessas onze posições, foram

avaliadas cinco posições (0; 20; 50; 80; e 100%). O aspersor possui mecanismo de círculo completo e parcial, permitindo a irrigação setorial. Na avaliação foi utilizado o mecanismo de círculo completo (360°).

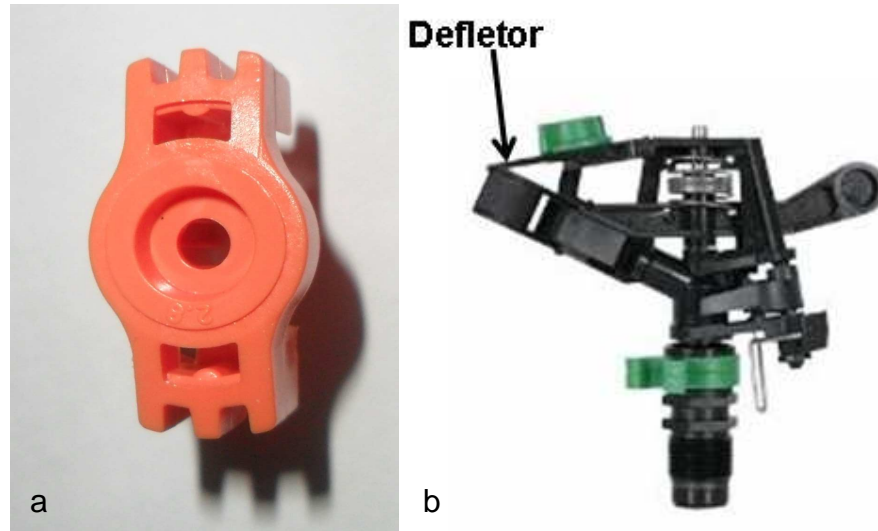


Figura 4. a) Bocal de 2,8 mm de diâmetro interno; b) Aspersor 427 1/2”M com o defletor de ajuste posicionado com 0% de comprimento.

De acordo com o catálogo do fabricante (Tabela 6), para o bocal de 2,8 mm de diâmetro interno, as vazões variam de $0,38 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a $0,63 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ para pressões de 150 a 400 kPa e os diâmetros de molhamentos situam-se entre 21 e 24 m, respectivamente. Os testes foram realizados de acordo com as pressões mencionadas no catálogo do fabricante (150, 200, 300 e 400 kPa).

Tabela 6. Vazões (Q) e diâmetros de molhamento (D) do aspersor 427 1/2”M em função da pressão (P) para o bocal de 2,8 mm de diâmetro interno (Fonte: NAANDANJAIN, 2010).

Tabela de Desempenho			
Diâmetro do bocal (mm)	P kPa (bar)	Q ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	D (m)
2,8	150 (1,5)	0,380	21,0
	200 (2,0)	0,450	22,0
	300 (3,0)	0,550	23,0
	400 (4,0)	0,630	24,0

3.2 Características técnicas da motobomba

A motobomba utilizada é do modelo C8R8, série 4478, rotor 162 mm, 3520 rpm, vazão $7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, altura manométrica de 48 m, fabricada pela Indústria Metalúrgica Castro Alves S.A.

3.3 Coletores

Os coletores utilizados foram os da marca Fabrimar, que possuem forma geométrica tronco-cônica, com diâmetro 80 mm na parte superior e altura de 102 mm.

3.4 Procedimentos experimentais

O aspersor foi instalado a 0,7 m da superfície, encontrando-se o bocal de saída de água do aspersor a uma distância vertical aproximada de 0,65 m dos coletores, conforme recomendações da ABNT (1999b) que especifica que a distância entre o bocal do aspersor e a borda superior dos coletores mais próximos deve ter altura mínima superior a dez vezes o diâmetro do tubo de subida e não deve ser inferior a 0,5 m.

A pressão de operação para cada teste foi controlada utilizando dois manômetros de Bourdon, acoplados um na base do aspersor e outro na saída da bomba, previamente calibrados em laboratório com manômetro de coluna de mercúrio. A pressão foi ajustada com registros de gaveta e de agulha, instalados na saída da bomba e na haste de subida do aspersor, respectivamente.

Os dados de velocidade do vento foram obtidos no local da área de testes. A velocidade do vento foi medida por um anemômetro no decorrer do teste que foi instalado a 2,0 m da superfície pavimentada. Os ensaios para determinação da característica técnica do aspersor foram realizados sob condições de vento inferiores a $2,0 \text{ m s}^{-1}$, conforme especificação da ABNT (1999a).

O volume armazenado dentro de cada coletor foi medido com provetas graduadas de 10 e 25 mL. Para o cálculo da intensidade de aplicação de água foi utilizada a Equação 3 (ABNT, 1999a):

$$H = \frac{V}{1000 A t} \quad (3)$$

em que:

H – Intensidade de aplicação de água (mm h^{-1});

V – Volume coletado em cada coletor (mL);

A – Área da borda superior do coletor (m^2); e

t – Duração do ensaio (horas).

Para medir a evaporação durante o teste, ao lado da malha de coletores foram colocados cinco coletores iguais aos usados como pluviômetros, com 1, 3, 5, 7 e 9 mm de lâmina d'água para a estimativa média da evaporação. O tempo de cada teste foi de 60 minutos, com o controle do tempo sendo realizado com cronômetro de precisão.

3.5 Método de amostragem

Para a determinação dos parâmetros avaliados, utilizou-se metodologia descrita pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (1999b), chamado método da malha, fazendo-se um espalhamento dos coletores igualmente espaçados, formando uma malha ao redor do aspersor. Os coletores foram espaçados de 2,0 m, a partir do aspersor formando quatro quadrantes em uma superfície pavimentada. Foram dispostas também duas linhas radiais de coletores, espaçados de 1,0 m a partir do aspersor, para obtenção do perfil radial de distribuição de água e raio de molhamento do aspersor (Figura 5). Para obter valores de precipitação correspondentes a aproximadamente 0 m de distância do aspersor, foram colocados também três coletores dispostos triangularmente a 0,05 m do tubo de elevação do aspersor. As posições dos coletores foram topograficamente marcadas com tinta na superfície pavimentada, anteriormente ao início do ensaio.

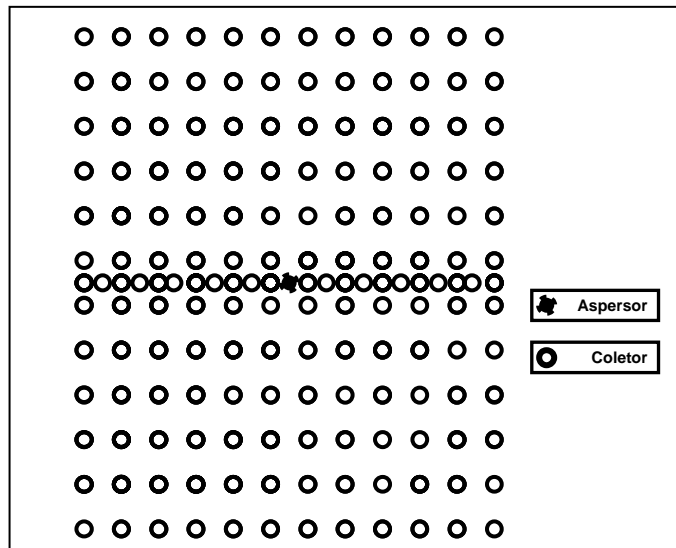


Figura 5. Esquema de distribuição dos coletores.

3.6 Determinação da vazão e do coeficiente de variação de fabricação (CVf)

Para a determinação da vazão, foi realizado o teste do volume de água coletado em função do tempo e da pressão de trabalho. Para isso, inicialmente foram realizados testes com três aspersores novos, determinando-se as vazões nas quatro pressões avaliadas (150, 200, 300 e 400 kPa), possibilitando calcular o coeficiente de variação de fabricação (CVf) (Equação 4) dos mesmos, permitindo comprovar a representatividade dos aspersores como repetições. Essa representatividade foi baseada na classificação de uniformidade de vazão de SOLOMON (1979) descrita na Tabela 3.

$$CVf = 100 \frac{\sqrt{(q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_n^2 - nq_m^2) \div (n-1)}}{q_m} \quad (4)$$

em que:

CVf – Coeficiente de variação de fabricação (%);

q_1, q_2, \dots, q_n – Vazão de cada emissor ($L h^{-1}$);

q_m – Vazão média dos emissores ($L h^{-1}$); e

n – Número de emissores do lote de amostragem.

3.7 Curva característica vazão-pressão

Com base nas vazões médias para cada pressão, ajustou-se a equação característica conforme KELLER & KARMELI (1974) (Equação 5):

$$Q = K H^n \quad (5)$$

em que:

Q – Vazão (m³ h⁻¹);

H – Pressão (kPa); e

K e n – Parâmetros de ajuste.

3.8 Uniformidade de aplicação de água

A metodologia para avaliação da uniformidade de irrigação foi baseada nos índices CUC (CHRISTIANSEN, 1942) e CUD (CRIDDLE et al., 1956). Foram analisados os efeitos das posições do defletor de ajuste combinadas com as pressões de serviço e dos espaçamentos dos aspersores, sobre a uniformidade de distribuição de água.

A interpretação dos valores de CUC e CUD baseou-se nas proposições de MANTOVANI (2001), apresentadas nas Tabelas 4 e 5 respectivamente.

Foi utilizado o aplicativo computacional CATCH 3D, versão 4.45 (ALLEN, 1992), para calcular a sobreposição com diferentes espaçamentos. Os resultados relativos à sobreposição e determinação da uniformidade de distribuição de água pelo aspersor foram baseados nos dados de precipitação, sendo simulados espaçamentos (6 x 6, 6 x 8, 6 x 10, 6 x 12, 8 x 8, 8 x 10, 8 x 12, 10 x 10, 10 x 12, 12 x 12 m) entre aspersores e entre linhas laterais, respectivamente.

3.9 Grau de pulverização

O grau de pulverização foi calculado por meio da Equação 6, descrita por PEREIRA (2003):

$$G_p = \frac{P_s}{D} \quad (6)$$

em que:

G_p – Grau de pulverização (adimensional);

P_s – Pressão de serviço (m c. a.);

D – Diâmetro do bocal (mm).

A interpretação dos valores do G_p baseou-se na proposição de PEREIRA (2000), apresentada na Tabela 2.

3.10 Intensidade média de aplicação de água

A intensidade de aplicação de água do aspersor 427, para as diferentes pressões e espaçamentos estudados foi ajustada a partir de metodologia proposta pela ABNT (1999b), e é representada pela Equação 7:

$$I_{ma} = \frac{1000 q_m}{S_l \cdot S_m} \quad (7)$$

em que:

I_{ma} – Intensidade média de aplicação de água (mm h^{-1});

q_m – Vazão média relativa às repetições do aspersor em cada pressão de serviço estudada ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$);

S_l – Espaçamento entre linhas laterais (m); e

S_m – Espaçamento dos aspersores ao longo da linha lateral (m);

3.11 Avaliação estatística do experimento

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com 50 tratamentos e três repetições para cada pressão. Os tratamentos representam o esquema fatorial constituído de cinco posições do defletor de ajuste (0, 20, 50, 80 e 100%) e dez espaçamentos entre aspersores e linhas laterais (6 x 6, 6 x 8, 6 x 10, 6 x 12, 8 x 8, 8 x 10, 8 x 12, 10 x 10, 10 x 12, 12 x 12 m).

Para apreciação estatística dos dados, foi realizado o Teste F de análise de variância e, posteriormente, aplicado o Teste de Tukey, a 5% de probabilidade, na comparação entre médias. Também foram realizadas análises de variância da

regressão, para avaliar o comportamento entre os valores médios de CUC e CUD, em relação ao comprimento do defletor de ajuste. Foram realizadas avaliações para as duas variáveis estudadas (CUC e CUD), em cada pressão estudada, isoladamente. Os testes estatísticos foram realizados utilizando-se do Software AgroEstat - Versão 1.0 (BARBOSA & MALDONADO JÚNIOR, 2010)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Determinação da vazão e do coeficiente de variação de fabricação (CVf)

Os valores do CVf, que refletem os efeitos dos fatores relacionados à fabricação para o aspersor NaanDanJain 427 de bocal com 2,8 mm de diâmetro e o defletor na posição de 0%, nas pressões estudadas, estão representados na Tabela 7.

Tabela 7. Classificação do aspersor NaanDanJain 427 em função do coeficiente de variação de fabricação (CVf; %) segundo proposta de SOLOMON (1979).

Pressão (kPa)	Vazão (m ³ h ⁻¹)	CVf (%)	Classificação
			SOLOMON (1979)
150	0,44	1,69	Excelente
200	0,52	1,83	Excelente
300	0,64	2,10	Excelente
400	0,72	2,43	Excelente

Verifica-se que o aspersor NaanDanJain 427 apresentou CVf variando entre 1,69 e 2,43%, atingindo grau máximo de classificação, definido como Excelente por SOLOMON (1979), mostrando pequena variação no fluxo dos emissores devido ao processo de fabricação. A importância da obtenção de CVf de baixo valor é justificada por KELLER e KARMELI (1974), os quais afirmaram que a uniformidade de distribuição de água é dependente também da precisão com que os aspersores são fabricados.

A avaliação da influência da pressão no CVf, mostrou efeito linear da pressão sobre o CVf. Foi observado aumento do CVf a medida que a pressão aumenta (Figura

6). Resultados similares já haviam sido encontrados por HOLANDA FILHO et al. (2001) com o microaspersor Rondo (50 L h^{-1}).

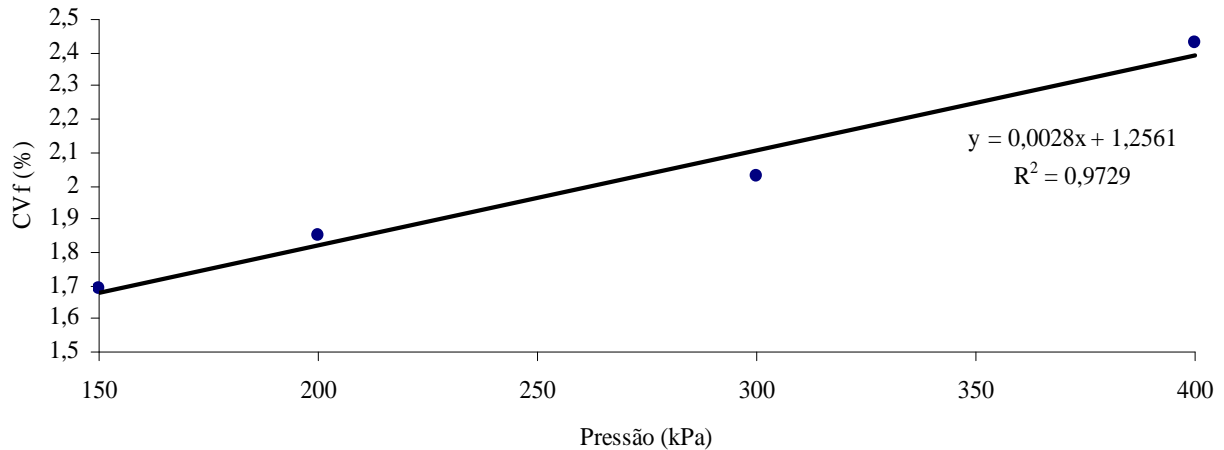


Figura 6. Valores dos coeficientes de variação de fabricação (CVf) para o aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm de diâmetro interno.

Na Tabela 8 são apresentados os valores médios da vazão em função da pressão obtidos durante os ensaios, junto aos erros estimados entre as vazões informadas pelo fabricante e as vazões médias obtidas durante os ensaios. Foram encontrados erros em torno de 15%, muito superiores aos 5% aceitável pela ABNT (1999a).

Tabela 8. Comparação entre vazões encontradas durante os ensaios e vazões fornecidas pelo fabricante.

Pressão (kPa)	Vazão Obtida ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	Vazão Informada ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	Erro (%)
150	0,44	0,38	15,78
200	0,52	0,45	15,55
300	0,64	0,55	16,36
400	0,72	0,63	14,28

4.2 Equação característica vazão-pressão

A partir dos dados de vazão medidos em cada pressão, através de análise de regressão, determinou-se a equação característica do aspersor, sendo: $Q = 0,0357 H^{0,5036}$ e o coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9957 (Figura 7), demonstrando bom ajuste dos dados observados.

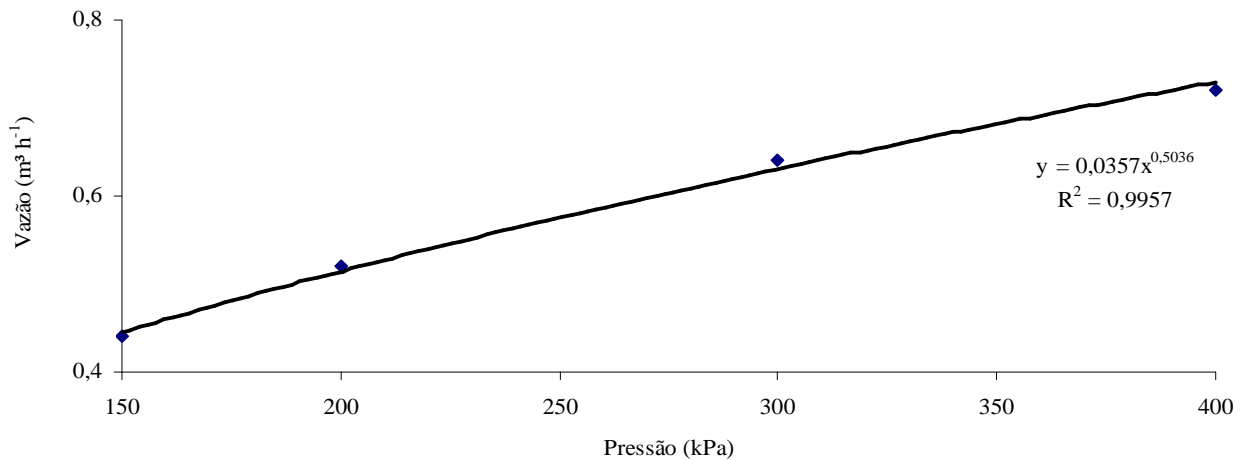


Figura 7. Curva característica vazão-pressão para o aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm de diâmetro interno.

4.3 Uniformidade de distribuição de água

Nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 estão representados os valores médios de CUC e CUD para os espaçamentos adotados (6 x 6, 6 x 8, 6 x 10, 6 x 12, 8 x 8, 8 x 10, 8 x 12, 10 x 10, 10 x 12, 12 x 12 m) nas pressões de 150, 200, 300 e 400 kPa, respectivamente, calculados pelo aplicativo computacional CATCH-3D.

Na Tabela 9, que representa os valores com pressão de 150 kPa, pode-se observar que os valores de CUC e CUD somente foram superiores aos preconizados como “Excelente” pela classificação proposta por MANTOVANI (2001) em 6 e 10% dos dados, respectivamente. Para 200 kPa (Tabela 10) foram encontrados 16% em ambos os coeficientes; para 300 kPa (Tabela 11), 30 e 32%; e 46 e 52%, respectivamente, para 400 kPa (Tabela 12).

Tabela 9. Valores médios obtidos de CUC (%), CUD (%) para a pressão de 150 kPa, em função do espaçamento entre aspersores, calculados pelo aplicativo CATCH-3D.

Defletor	CUC e CUD	Espaçamento entre aspersores (m x m)									
		6 x 6	6 x 8	6 x 10	6 x 12	8 x 8	8 x 10	8 x 12	10 x 10	10 x 12	12 x 12
0%	CUC	89,8	79,7	87,7	84,7	74,2	79,9	80,2	85,0	75,3	72,1
	CUD	88,5	70,7	85,6	75,5	49,6	67,8	65,7	77,9	58,2	59,1
20%	CUC	88,6	78,6	86,5	83,5	72,6	79,1	80,2	80,0	71,5	67,5
	CUD	86,0	72,9	79,2	74,4	50,4	66,8	67,6	70,6	50,9	46,7
50%	CUC	90,6	78,6	89,2	82,8	72,7	78,8	78,2	82,3	72,0	70,8
	CUD	88,7	73,1	81,9	70,4	49,2	65,9	64,0	73,7	55,7	55,4
80%	CUC	94,5	79,2	57,8	39,7	74,0	53,9	33,8	37,4	20,0	4,4
	CUD	90,3	73,7	20,5	5,8	51,4	26,7	5,2	8,1	0,0	0,0
100%	CUC	91,1	66,9	46,9	30,7	63,2	40,0	20,0	18,4	2,4	0,0
	CUD	83,4	57,1	7,8	2,2	33,7	14,0	1,9	3,0	0,0	0,0

Legenda: Conjuntos de dados (CUC e CUD) com hachuras representam valores combinados considerados excelentes por MANTOVANI (2001)

Tabela 10. Valores médios obtidos de CUC (%), CUD (%) para a pressão de 200 kPa, em função do espaçamento entre aspersores, calculados pelo aplicativo CATCH-3D.

Defletor	CUC e CUD	Espaçamento entre aspersores (m x m)									
		6 x 6	6 x 8	6 x 10	6 x 12	8 x 8	8 x 10	8 x 12	10 x 10	10 x 12	12 x 12
0%	CUC	93,1	82,4	86,4	91,2	79,5	80,2	84,0	83,0	80,1	76,6
	CUD	92,9	71,0	80,9	86,3	62,0	65,5	73,3	77,0	65,2	62,4
20%	CUC	93,1	84,5	91,1	90,2	81,2	84,9	83,8	89,0	81,0	77,6
	CUD	92,9	76,3	85,0	80,6	63,2	72,4	73,9	85,0	63,3	61,5
50%	CUC	92,6	80,7	90,5	86,1	76,2	79,0	79,2	85,5	76,4	75,2
	CUD	90,1	73,8	85,8	80,7	52,5	69,0	65,7	81,6	61,6	62,0
80%	CUC	97,0	85,8	64,9	46,4	83,6	63,8	45,8	56,5	38,8	24,0
	CUD	96,4	81,0	44,5	20,8	68,6	46,6	18,5	30,4	14,0	9,3
100%	CUC	89,3	72,7	53,9	37,4	66,3	47,2	27,3	28,6	12,6	0,0
	CUD	80,4	65,5	16,9	3,7	41,9	20,7	3,3	5,4	0,5	0,0

Legenda: Conjuntos de dados (CUC e CUD) com hachuras representam valores combinados considerados excelentes por MANTOVANI (2001)

Tabela 11. Valores médios obtidos de CUC (%), CUD (%) para a pressão de 300 kPa, em função do espaçamento entre aspersores, calculados pelo aplicativo CATCH-3D.

Defletor	CUC e CUD	Espaçamento entre aspersores (m x m)									
		6 x 6	6 x 8	6 x 10	6 x 12	8 x 8	8 x 10	8 x 12	10 x 10	10 x 12	12 x 12
0%	CUC	95,4	88,7	95,1	88,9	88,1	89,8	87,6	92,0	84,4	81,3
	CUD	92,9	81,3	92,1	81,6	76,5	84,5	78,0	88,9	69,0	73,7
20%	CUC	97,1	91,6	95,6	89,0	88,5	90,5	86,7	93,6	85,5	83,2
	CUD	95,1	85,0	92,0	81,6	78,0	82,7	77,0	92,6	73,8	77,2
50%	CUC	97,7	91,2	97,6	93,0	86,8	88,2	87,9	90,3	85,8	88,2
	CUD	96,3	88,3	96,0	89,2	76,7	85,4	76,7	85,8	79,1	82,9
80%	CUC	95,8	90,5	72,0	54,6	88,8	72,0	54,6	67,1	50,3	38,1
	CUD	94,0	87,2	61,9	34,4	82,8	61,0	33,7	47,5	27,7	19,8
100%	CUC	87,3	72,3	51,1	33,1	70,7	48,5	28,5	37,1	22,4	9,1
	CUD	80,4	57,3	23,9	9,6	46,5	23,0	8,6	15,8	4,0	0,8

Legenda: Conjuntos de dados (CUC e CUD) com hachuras representam valores combinados considerados excelentes por MANTOVANI (2001)

Tabela 12. Valores médios obtidos de CUC (%), CUD (%) para a pressão de 400 kPa, em função do espaçamento entre aspersores, calculados pelo aplicativo CATCH-3D.

Defletor	CUC e CUD	Espaçamento entre aspersores (m x m)									
		6 x 6	6 x 8	6 x 10	6 x 12	8 x 8	8 x 10	8 x 12	10 x 10	10 x 12	12 x 12
0%	CUC	96,0	93,6	97,4	90,1	91,9	92,8	88,9	93,3	88,1	86,3
	CUD	93,6	91,6	95,3	83,2	84,9	90,6	79,1	88,9	77,0	81,9
20%	CUC	98,6	92,9	97,5	91,4	91,8	93,2	89,9	92,9	87,6	85,4
	CUD	98,3	89,8	95,9	86,3	84,8	90,0	81,7	89,4	77,3	80,0
50%	CUC	95,6	92,5	95,0	92,4	91,2	91,8	89,8	90,8	89,0	89,4
	CUD	93,2	89,4	91,0	88,4	84,3	86,6	79,9	85,1	84,1	85,9
80%	CUC	95,3	89,7	72,1	56,9	88,6	72,1	57,4	68,5	52,6	42,3
	CUD	92,6	86,5	63,7	40,0	85,4	64,7	38,6	52,3	32,3	24,2
100%	CUC	92,5	84,5	65,3	49,0	78,7	64,3	45,2	49,8	34,0	20,0
	CUD	88,9	80,4	44,7	21,4	65,6	46,9	20,1	29,0	14,8	9,6

Legenda: Conjuntos de dados (CUC e CUD) com hachuras representam valores combinados considerados excelentes por MANTOVANI (2001)

Em 23% dos conjuntos de dados (CUC e CUD) nos espaçamentos estudados, identificados nas Tabelas 9 a 12 por hachuras, ocorreram valores preconizados por MANTOVANI (2001) como “Excelentes”.

Em estudo realizado por FARIA et al. (2009), foram obtidos resultados similares a estes, observando-se que espaçamentos reduzidos apresentaram melhores valores de CUC. Entretanto, é válido acrescentar que a água aplicada ao solo sofre redistribuição ao infiltrar-se (HART, 1972). Além disso, de acordo com PEREIRA (2003), pequenos espaçamentos aumentam os custos do sistema com tubulações e aspersores e requerem maior mão-de-obra para mudar as linhas de distribuição.

Observa-se redução dos valores de CUC e CUD com o aumento do espaçamento dos aspersores. HOLANDA FILHO et al. (2001) encontraram resultados semelhantes em relação aos valores de CUC com o microaspersor Rondo (50 L h^{-1}) da empresa Plastro. Pode ser observado também que o aumento da pressão acarretou em melhoria dos valores de CUC e do CUD entre os espaçamentos estudados, com resultados satisfatórios no espaçamento $10 \times 10 \text{ m}$ nas pressões de 300 e 400 kPa com o defletor em até 50%, em conformidade com PEREIRA (2003), que citou que o ideal é utilizar espaçamentos médios entre aspersores no campo.

Nas Figuras 8, 9, 10 e 11 são representados graficamente os perfis de distribuição de água para todas as posições do defletor e pressões estudadas. Observa-se que em todas as pressões estudadas, as posições de 0, 20 e 50% do defletor de ajuste, apresentaram maiores valores de diâmetros de molhamentos e perfis de distribuição de água mais uniformes com precipitações máximas variando de 4,7 a $7,0 \text{ mm h}^{-1}$ junto à haste do aspersor, enquanto que para as posições de 80 e 100% do comprimento do defletor, observa-se que o perfil radial de distribuição apresenta forma geométrica tendendo para triangular e com maiores amplitudes de precipitação. Segundo MONTERO et al. (2003), aspersores que apresentam perfis de distribuição de água mais uniformes sofrem menos influência do vento, quando comparados com aspersores que apresentam perfil radial de distribuição de água com forma geométrica tendendo a triangular.

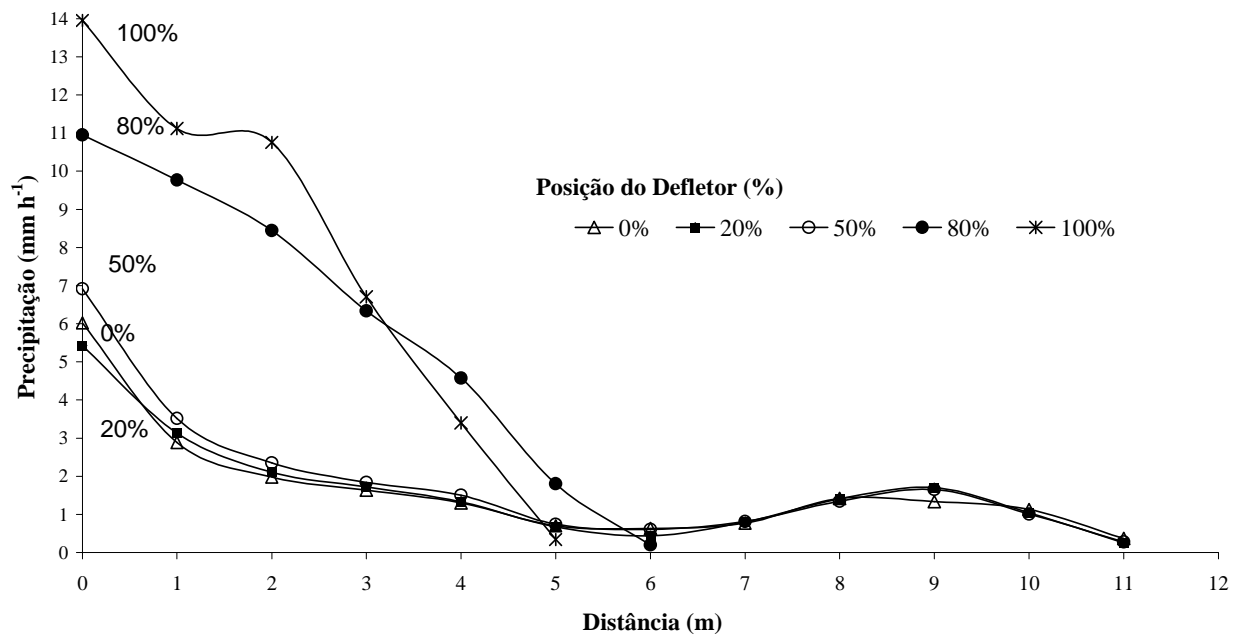


Figura 8. Perfis de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão de 150 kPa.

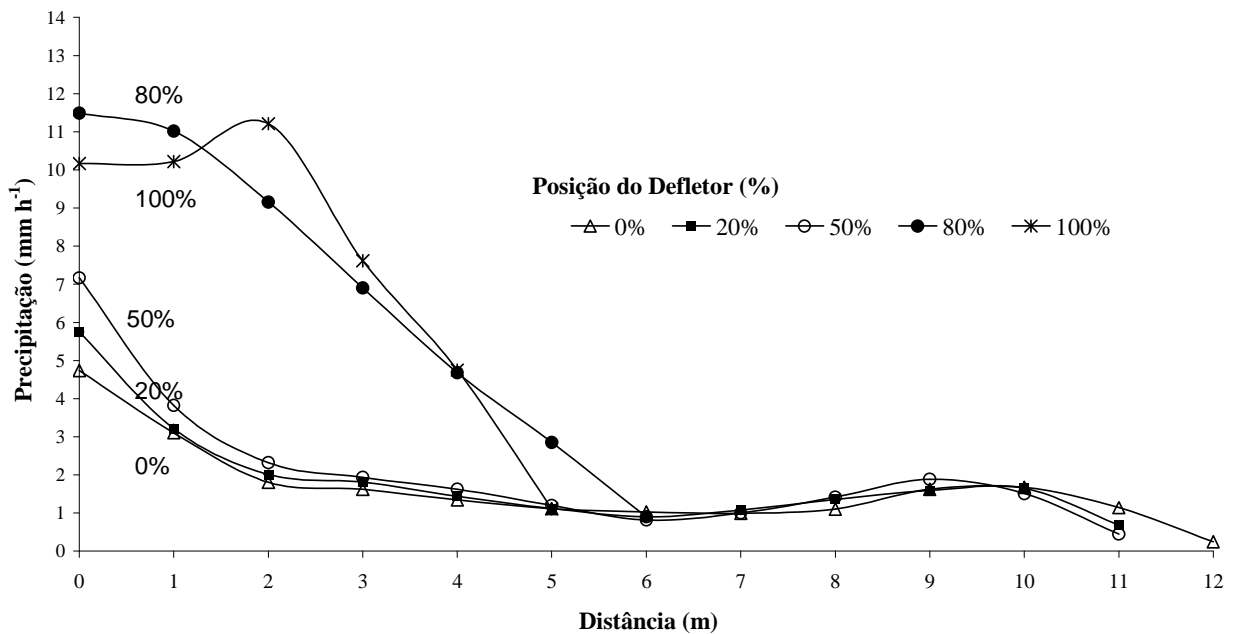


Figura 9. Perfis de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão de 200 kPa.

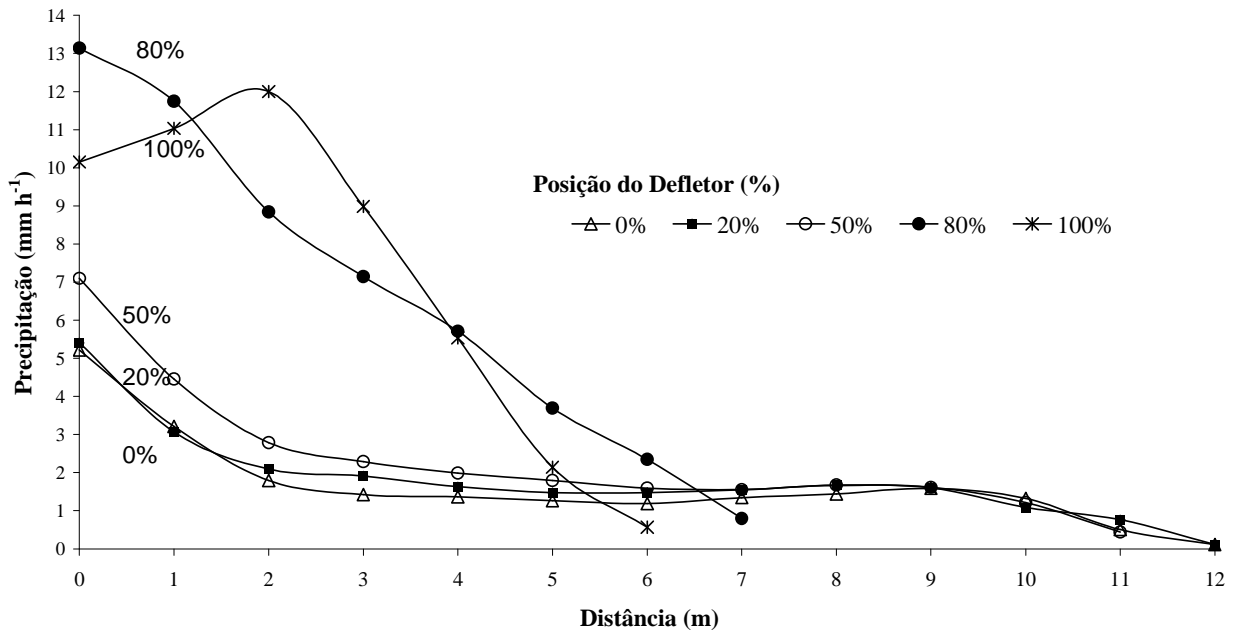


Figura 10. Perfis de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão de 300 kPa.

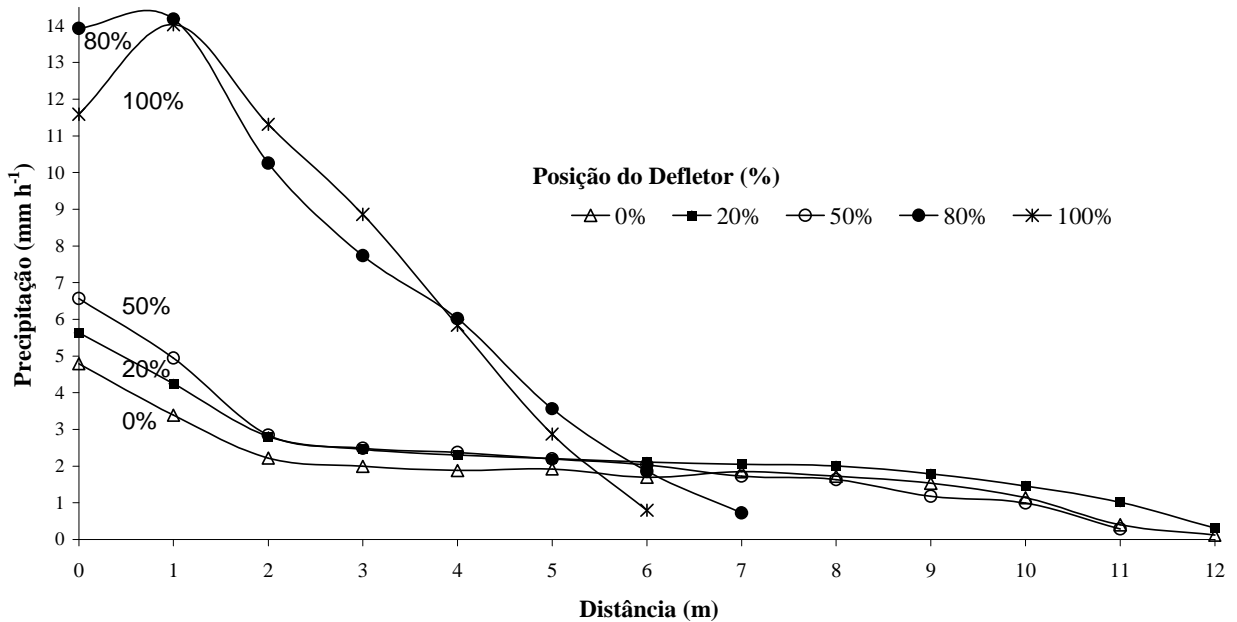


Figura 11. Perfis de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão de 400 kPa.

Também pode ser observado nas Figuras 8, 9, 10 e 11 que, predominantemente, à medida que houve variação na posição do defletor de ajuste da posição de 0% até a posição 100% houve incremento no volume de água aplicado nas distâncias mais próximas ao aspersor, principalmente dentro do raio de 2,0 m a partir do aspersor.

4.4 Raio de molhamento do aspersor

Na Tabela 13 são apresentados os valores médios dos raios de molhamento para o aspersor 427 ½”M com bocal de 2,8 mm de diâmetro para as quatro pressões estudadas em função das posições do defletor de ajuste.

Tabela 13. Valores médios obtidos do raio de molhamento do aspersor 427 para as pressões de 150, 200, 300 e 400 kPa, em função da posições 0, 20, 50, 80 e 100% do comprimento defletor de ajuste.

Defletor	Pressão (kPa)			
	150	200	300	400
Raio (m)				
0%	11	12	12	12
20%	11	11	12	12
50%	11	11	11	11
80%	6	6	7	7
100%	5	5	6	7

Legenda: Dados hachurados representam valores observados onde o último coletor apresentou intensidade de precipitação de água inferior a 0,25 mm h⁻¹

Em todas as pressões estudadas, observou-se que os valores do raio de molhamento decresceram à medida que o comprimento do defletor de ajuste aumentou, indicando influência direta do defletor na distribuição de água, devido à interceptação e fracionamento do jato d'água que sai através do bocal do aspersor.

Pode-se observar também, relação direta entre o aumento do raio de molhamento e o aumento da pressão. Porém, conforme a ABNT (1999a) a intensidade de precipitação em cada coletor deve ser superior a 0,25 mm h⁻¹ para se considerar o raio de molhamento do aspersor, premissa esta não atendida pelo aspersor em relação à informação presente no catálogo do fabricante, nas pressões de 300 e 400 kPa, identificados na Tabela 13, sombreados.

4.5 Grau de pulverização

Verifica-se que o aspersor 427 1/2”M com bocal de 2,8 mm de diâmetro apresenta grau de pulverização variando entre 5,3 e 14,2, atingindo grau de classificação “Fina” para a pressão de 150 kPa e “Finíssima” para as pressões de 200, 300 e 400 kPa (Tabela 14), em classificação definida por PEREIRA (2000), mostrando que o aspersor pode ser utilizado inclusive para irrigação de culturas mais sensíveis à dimensão das gotas, como hortaliças e flores (PEREIRA, 2000).

Tabela 14. Classificação do Grau de pulverização do aspersor 427 1/2”M com bocal de 2,8 mm de diâmetro interno.

Diâmetro do Bocal (mm)	Pressão (kPa)			
	150	200	300	400
2,8	5,3	7,1	10,7	14,2
Classificação (PEREIRA, 2003)	Fina	Finíssima	Finíssima	Finíssima

4.6 Intensidade média de aplicação de água

Nas quatro pressões estudadas, no que se refere à intensidade média de aplicação de água (mm h^{-1}), o aspersor 427 1/2”M com bocal de 2,8 mm de diâmetro, apresentou os resultados presentes na Tabela 15. Verifica-se que a amplitude da intensidade de aplicação aumenta com o aumento da pressão e com a redução do espaçamento.

Tabela 15. Intensidade média de aplicação de água (mm h^{-1}) para o aspersor 427 com bocal de 2,8 mm de diâmetro interno.

Espaçamento (m x m)	Pressão (kPa)			
	150	200	300	400
	Vazão média ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)			
	0,44	0,52	0,64	0,72
6 x 6	12,22	14,44	17,78	20,00
6 x 8	9,17	10,83	13,33	15,00
6 x 10	7,33	8,67	10,67	12,00
6 x 12	6,11	7,22	8,89	10,00
8 x 8	6,88	8,13	10,00	11,25
8 x 10	5,50	6,50	8,00	9,00
8 x 12	4,58	5,42	6,67	7,50
10 x 10	4,40	5,20	6,40	7,20
10 x 12	3,67	4,33	5,33	6,00
12 x 12	3,06	3,61	4,44	5,00

4.7 Avaliação estatística

4.7.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

Pelos resultados das análises de variância apresentados na Tabela 16 observa-se através do Teste F, que houve efeito significativo ($P < 0,01$) dos fatores estudados e de suas interações sobre o CUC em todas as pressões estudadas.

Tabela 16. Resumo da análise de variância com os Coeficientes de Variação (CV) e a Média Geral do experimento para as pressões de 150, 200, 300 e 400 kPa que testa o efeito dos Fatores A (Comprimento do defletor de ajuste) e Fator B (Espaçamento entre aspersores e linhas laterais) sobre a variável CUC.

Fontes de variação	Pressão			
	150kPa F	200kPa F	300kPa F	400kPa F
Efeito Fator A	954,09**	3307,95**	1.716,6744**	2844,96**
Efeito Fator B	233,30**	747,97**	279,2814**	557,56**
Ef. Interação AxB	45,53**	165,54**	55,9358**	112,23**
CV (%)	5,44	2,43	3,20	1,98
Média Geral	64,48	70,43	76,35	80,31

Legenda: ** Significativo pelo Teste F, a 1% de probabilidade

Ainda em relação à análise de variância, pode-se observar também, relação direta entre o aumento da média geral dos valores de CUC à medida que houve aumento na pressão de serviço do aspersor, confirmando os resultados obtidos nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 que apresentaram mais valores de CUC melhores classificados de acordo com proposta de MANTOVANI (2001), à medida que houve incremento na pressão de serviço do aspersor. É válido acrescentar que houve redução no CV à medida que houve aumento da pressão, exceto para a pressão de 300 kPa.

Os resultados do teste de comparação de médias estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Resultados do Teste de Tukey para o CUC (%) obtido nas posições de 0, 20, 50, 80 e 100% do comprimento do defletor de ajuste, nas pressões de 150, 200, 300 e 400 kPa, respectivamente.

Comprimento do defletor de ajuste (%)	CUC (%)			
	150 kPa	200 kPa	300 kPa	400 kPa
0	80,67 a	82,89 b	87,87 b	90,57 b
20	77,12 b	84,83 a	88,95 ab	91,84 a
50	77,99 b	80,63 c	89,39 a	91,39 ab
80	49,24 c	60,46 d	68,33 c	69,37 c
100	37,40 d	43,35 e	47,24 d	58,41 d
DMS (5%)	2,52	1,23	1,25	1,14

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade

Os resultados apresentados na Tabela 17 indicam que para a pressão de 150 kPa, o defletor na posição 0% é a melhor posição em relação às médias dos valores de CUC. Para 200 kPa, a melhor média dos valores de CUC em relação ao comprimento do defletor de ajuste, é na posição 20%; para 300 kPa, 50 e 20%; e para 400 kPa, 20 e 50%. É válido ressaltar, entretanto, que as diferenças entre as médias do grupo formado pelos melhores resultados (0, 20 e 50%) em todas as pressões estudadas, são pequenas, confirmando a existência de 2 grupos distintos em relação ao comprimento do defletor de ajuste, conforme também observado nas Figuras 8, 9, 10 e 11. Estes 2 grupos podem ser explicados, nas Figuras 12, 13, 14 e 15, conforme observa-se a tendência do comportamento do CUC (%) em função do comprimento defletor de ajuste, para as pressões de 150, 200, 300 e 400 kPa, respectivamente. Verifica-se, em todas as pressões estudadas, que os valores de CUC (%) apresentam-se praticamente com comportamento linear constante de 0 a 50%, formando o Grupo I, e linearmente decrescente de 50 a 100%, formando o Grupo II.

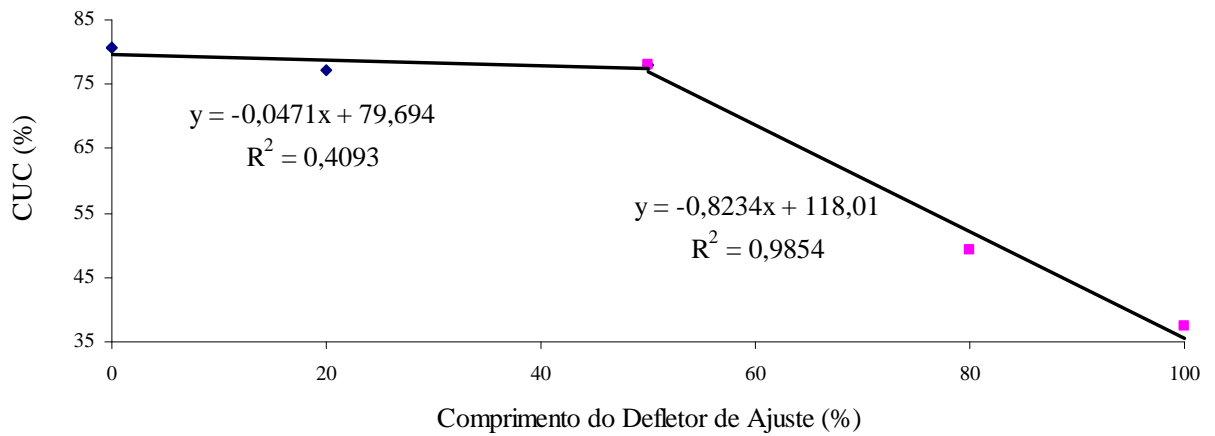


Figura 12. Tendência do comportamento do CUC em função de comprimentos do defletor de ajuste para o aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando na pressão de 150 kPa.

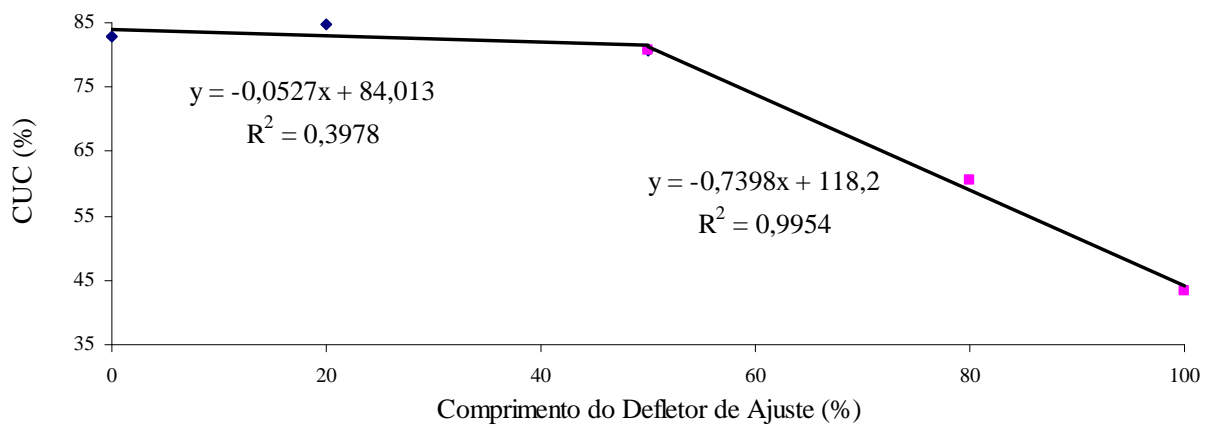


Figura 13. Tendência do comportamento do CUC em função de comprimentos do defletor de ajuste para o aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando na pressão de 200 kPa.

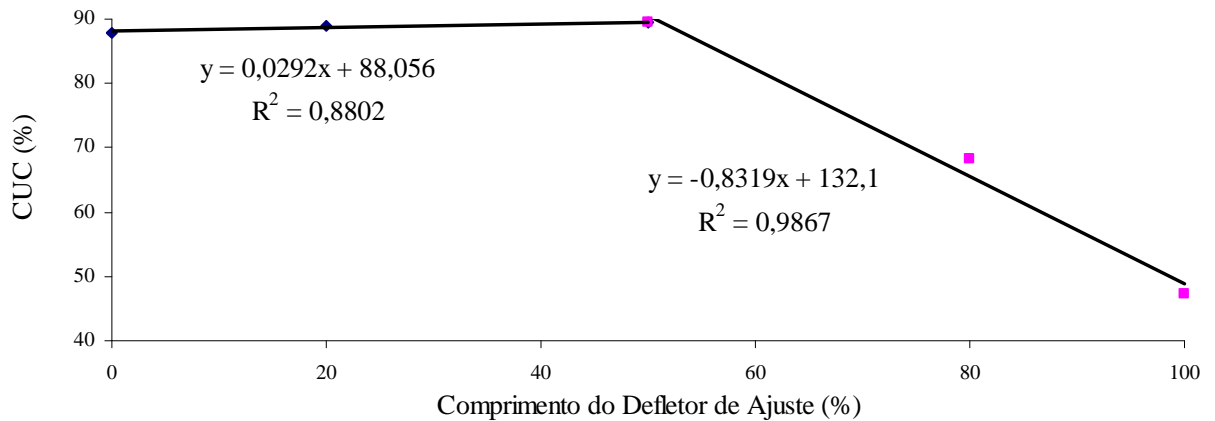


Figura 14. Tendência do comportamento do CUC em função de comprimentos do defletor de ajuste para o aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando na pressão de 300 kPa.

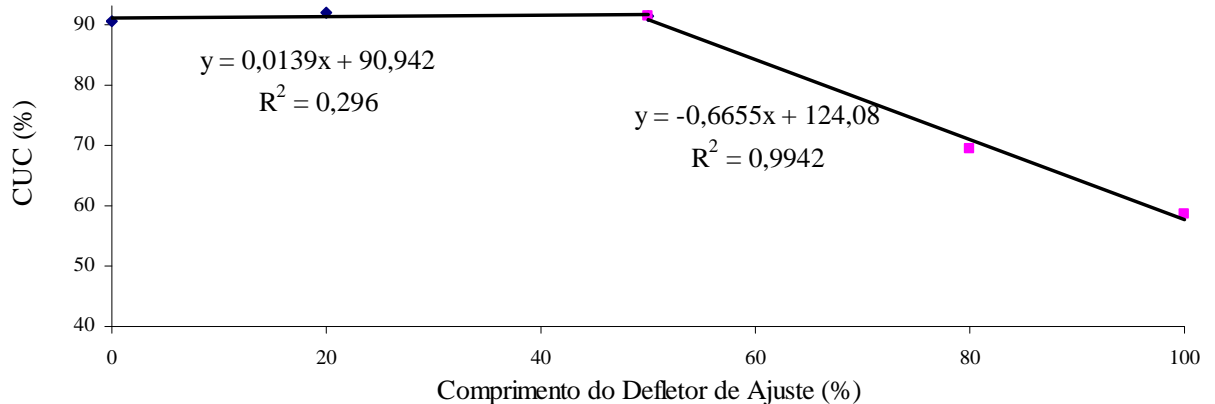


Figura 15. Tendência do comportamento do CUC em função de comprimentos do defletor de ajuste para o aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando na pressão de 400 kPa.

4.7.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição

Pelos resultados das análises de variância apresentados na Tabela 18, observa-se através do Teste F, que houve efeito significativo ($P < 0,01$) dos fatores estudados e de suas interações sobre o CUD em todas as pressões estudadas.

Tabela 18. Resumo da análise de variância com os Coeficientes de Variação (CV) e a Média Geral do experimento para as pressões de 150, 200, 300 e 400 kPa que testa o efeito dos Fatores A (Comprimento do defletor de ajuste) e Fator B (Espaçamento entre aspersores e linhas laterais) sobre a variável CUD.

Fontes de variação	Pressão			
	150kPa	200kPa	300kPa	400kPa
	F	F	F	F
Efeito Fator A	1.036,88**	1.561,46**	1.671,30**	1.283,69**
Efeito Fator B	244,85**	352,38**	255,70**	249,05**
Ef. Interação AxB	41,73**	70,53**	45,31**	45,64**
CV (%)	8,17	5,50	4,91	4,52
Média Geral	49,54	56,74	65,82	71,21

Legenda: ** Significativo pelo Teste F, a 1% de probabilidade

Em relação à análise de variância, pode-se observar também, relação direta entre o aumento da média geral dos valores de CUD à medida que houve aumento na pressão de serviço do aspersor, confirmando os resultados obtidos nas Tabelas 9, 10, 11 e 12, que apresentaram mais valores de CUD melhores classificados de acordo com proposta de MANTOVANI (2001), à medida que houve incremento na pressão de serviço do aspersor. É válido acrescentar também que à medida que houve aumento da pressão, houve redução no CV.

Os resultados do teste de comparação de médias estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Resultados do Teste de Tukey para o CUD (%) obtido nas posições de 0, 20, 50, 80 e 100% do comprimento do defletor de ajuste, na pressões de 150, 200, 300 e 400 kPa, respectivamente.

Comprimento do defletor de ajuste (%)	CUC (%)			
	150 kPa	200 kPa	300 kPa	400 kPa
0	69,69 a	72,59 ab	80,60 b	84,49 b
20	63,98 b	74,37 a	81,62 ab	86,95 a
50	66,55 b	70,42 b	83,87 a	86,43 ab
80	27,73 c	42,61 c	54,92 c	57,57 c
100	19,75 d	23,78 d	28,12 d	40,65 d
DMS (5%)	2,90	2,24	2,32	2,31

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade

Os resultados apresentados na Tabela 19 indicam que para a pressão de 150 kPa, o defletor na posição 0% é a melhor posição em relação às médias dos valores de CUD. Para 200 kPa, as melhores médias dos valores de CUC em relação ao comprimento do defletor de ajuste, são nas posições 20 e 0%; para 300 kPa, 50 e 20%; e para 400 kPa, 20 e 50%. É válido ressaltar, entretanto, que as diferenças entre as médias do grupo formado pelos melhores resultados (0, 20 e 50%) em todas as pressões estudadas, são pequenas, confirmando a existência de 2 grupos distintos em relação ao comprimento do defletor de ajuste, conforme também observado nas Figuras 8, 9, 10 e 11. Estes 2 grupos podem ser explicados nas Figuras 16, 17, 18 e 19, conforme observa-se a tendência do comportamento do CUD (%) em função do comprimento defletor de ajuste para as pressões de 150, 200, 300 e 400 kPa, respectivamente. Verifica-se, em todas as pressões estudadas, que os valores de CUD (%) apresentam-se praticamente com comportamento linear constante de 0 a 50%, formando o Grupo I, e linearmente decrescente de 50 a 100%, formando o Grupo II.

O defletor de ajuste se mostrou um mecanismo interessante, pois permite o comportamento diferenciado do aspersor, possibilitando ampla faixa de sua utilização em situações de interesse prático. Porém, é importante que o fabricante coloque em seu catálogo informações sobre a distribuição de água do aspersor em função da posição do defletor de ajuste.

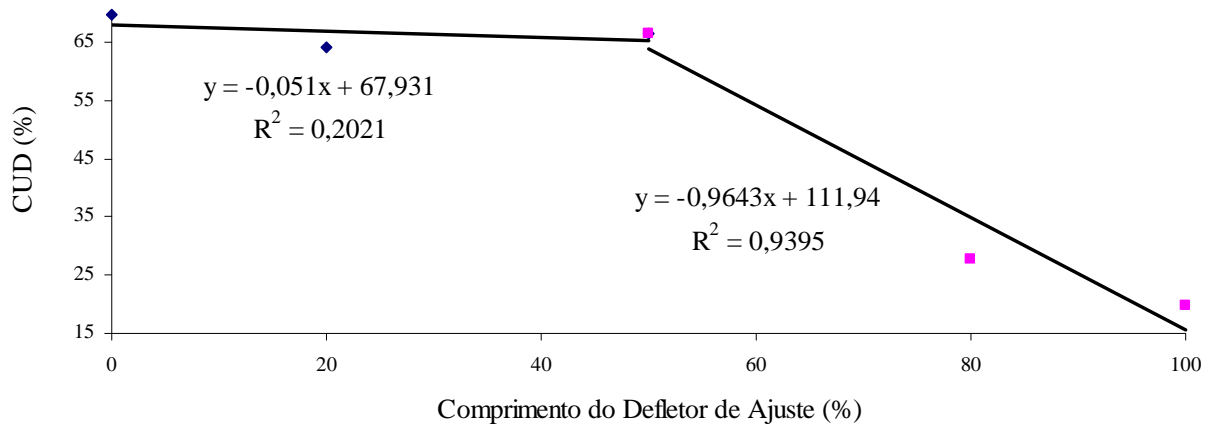


Figura 16. Tendência do comportamento do CUD em função de comprimentos do defletor de ajuste para o aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando na pressão de 150 kPa.

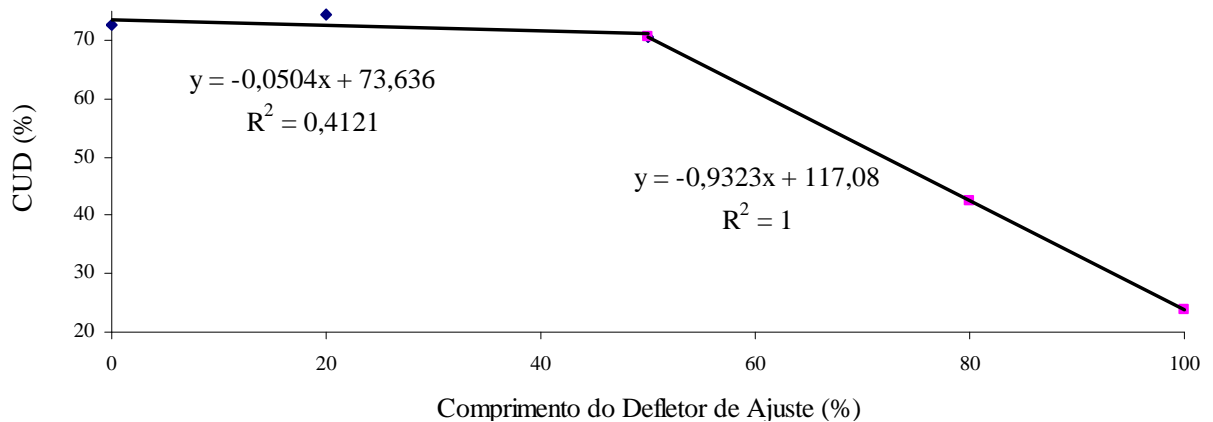


Figura 17. Tendência do comportamento do CUD em função de comprimentos do defletor de ajuste para o aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando na pressão de 200 kPa.

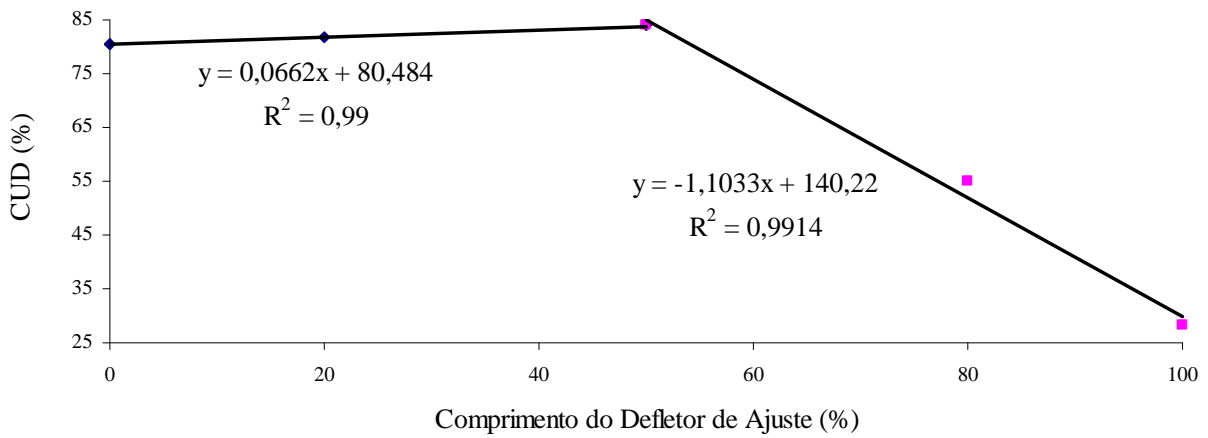


Figura 18. Tendência do comportamento do CUD em função de comprimentos do defletor de ajuste para o aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando na pressão de 300 kPa.

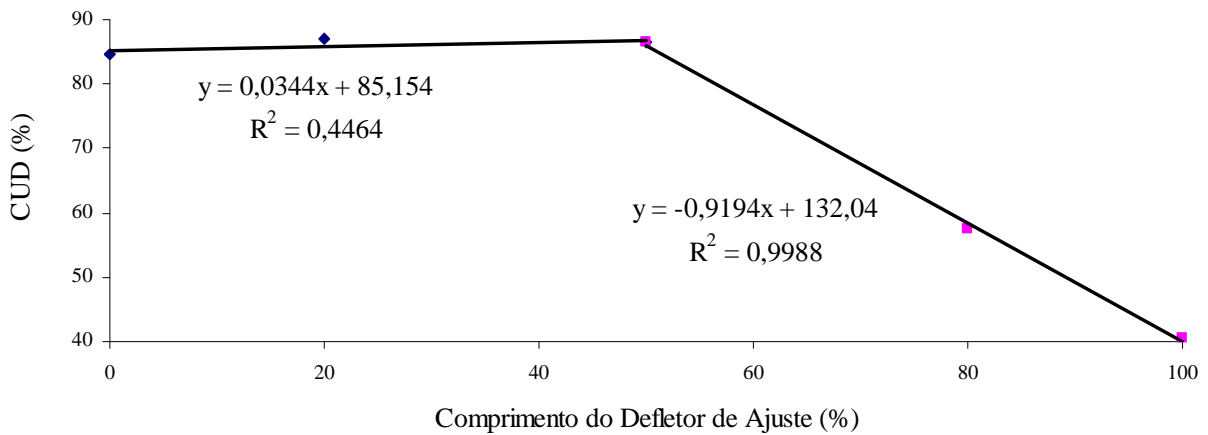


Figura 19. Tendência do comportamento do CUD em função de comprimentos do defletor de ajuste para o aspersor NaanDanJain 427 com bocal de 2,8 mm operando na pressão de 400 kPa.

5. CONCLUSÕES

1. As combinações entre as posições do defletor de ajuste e as pressões estudadas influenciam no raio de molhamento do aspersor, na uniformidade de aplicação e no perfil de distribuição de água.

2. O raio de molhamento praticamente não é influenciado até a posição 50%, porém reduz-se à metade do alcance máximo com 80 ou 100% da expansão do defletor, induzindo altas uniformidades de distribuição de água.

3. O aumento da pressão de serviço aumenta a uniformidade de distribuição de água do aspersor.

4. Para alta uniformidade de distribuição de água e maiores raios de molhamento, o aspersor deve trabalhar nas pressões entre 300 e 400 kPa, podendo-se utilizar espaçamentos de até 10 x 10 m.

5. O defletor nas posições 0, 20 e 50%, combinadas com os espaçamentos simulados, apresenta as melhores uniformidades de distribuição de água.

6. REFERÊNCIAS

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

ANDRADE, C. de L. T. de; BRITO, R. A. L. **Métodos de irrigação e quimigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 17 p. (Circular Técnica, 2).

ANDRADE, L. A. **Estudo da uniformidade de emissão de água utilizando diferentes espaçamentos entre gotejadores na linha lateral**. 2009. 105 p. Tese (Doutorado em Agronomia. Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

AQUINO, R. F. **Análise do desempenho e da uniformidade de aplicação de água do aspersor Rain Bird® LF1200™**. 2006. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola. Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Emissores para sistema de irrigação localizada**: Avaliação de características operacionais. Método de ensaio. Projeto 12:02.08.021. Rio de Janeiro, 1986. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Equipamentos de irrigação agrícola**: Aspersores rotativos. Parte 1: Requisitos para projetos e operação. Projeto 04:015.08-012. Rio de Janeiro, 1999a. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Equipamentos de irrigação agrícola**: aspersores rotativos. Parte 2: Uniformidade de distribuição e método de ensaio. Projeto 04:015.08-013. Rio de Janeiro, 1999b. 8 p.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat** – Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos, Versão 1.0, FCAV – UNESP, Jaboticabal, 2010.

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

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A.; HEDDEN-DUNKHORST, B.; ANDRADE, C. L. T. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas: Parte I: Desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 3-11, 2008.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter test for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 68, p. 135–149, 2004.

CARRIÓN, P.; TARJUELO, J. M.; MONTERO, J. SIRIAS: A simulation model for sprinkler irrigation. Part I: Description of model. **Irrigation Science**, New York, v. 20, n. 2, p. 73-84, 2001.

CASTIBLANCO, C. J. M. **Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água**. 2009. 71 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

CHRISTOFIDIS, D. O futuro da irrigação e a gestão das águas. **Item**, Brasília, n. 80, p. 40-47, 2008.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1942. 124 p. (Bulletin, 670).

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

COELHO, R. D. **Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas**. 1990. 141 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Revista Bahia Agrícola Online**, Bahia, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.

COSTA, S. G. D. Irrigação, a dualidade no semi-árido nordestino: desenvolvimento econômico x impactos sócio-ambientais. In: Simpósio Regional de Geografia – Perspectivas para o cerrado no Século XXI, 2., 2003, Uberlândia-MG. **Anais...Uberlândia: Instituto de Geografia, 2003. 1 CD.**

CURTIS, L. M.; POWELL, A. A.; TYSON, T. W. Microirrigation of peaches in the southeast California. **Irrigation Journal**, New York, v. 46, n. 2, p. 22-26, 1996.

FARIA, L. **Simulação da uniformidade de aplicação de água em sistemas convencionais de irrigação operando sob diferentes condições de vento.** 2008. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola. Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E. de; PRADO, G. do. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 19-27, 2009.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência.** Piracicaba, SP: ESALQ, 1992. 53p. (Série Didática 003).

FRIZZONE, J. A.; VIEIRA, A. T.; PAZ, V. P. da S.; BOTREL, T. A. Caracterização hidráulica de um tubo gotejador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 278-283, 1998.

FRIZZONE, J. A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; HEBEL JÚNIOR, A. Produtividade do feijoeiro sob diferentes uniformidades de distribuição de água na

superfície e na subsuperfície do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 414-425, 2007.

HART, W. E. Subsurface distribution of nonuniformity applied surface waters. **Transactions of American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 15, n. 4, p. 656-661, 1972.

HOLANDA FILHO, R. S. F. de; PORTO FILHO, F. de Q.; MIRANDA, N. de O.; MEDEIROS, J. F. de. Caracterização hidráulica do microaspersor Rondo, da Plastro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v. 5, n. 1, p. 16-21, 2001.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

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

LI, J.; RAO, M. Field evaluation of crop yield as affected by nonuniformity of sprinkler-applied water and fertilizer. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 76, n. 3, p. 1-13, 2003.

LOUIE, M.; SELKER, J. S. Sprinkler head maintenance effects on water application uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 126, n. 3, p. 142-148. 2000.

LUCAS, A. A. T. **Impacto da irrigação na bacia hidrográfica do ribeirão dos Marins**. 2007. 102 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

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

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2 ed., atual e. ampl. Viçosa, MG: UFV, 2007. 358 p.

MARTÍN-BENITO, J. M. T.; GOMEZ, M. V.; PARDO, J. L. Working conditions of sprinkler to optimize application of water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, New York, v. 118, n. 6, p. 895-914, 1992.

MERKLEY, G. P. **Catch-3D sprinkler pattern analysis software: user's guide**. Logan: Utah:BIED – Utah State University, 2004. 48 p.

MONTERO, J.; TARJUELO, J. M.; CARRIÓN, P. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation. Part II: Calibration and validation of the model. **Irrigation Science**, New York, v. 20, n. 2, p. 85-98, 2001.

MONTERO, J.; AGUADO, A.; GARCÍA, J. M.; CARRIÓN, P.; TARJUELO, J. M. Characterization and improvement of the range of products (sprinkler and control valves) manufactured by cometal. In: EUROPEAN REGIONAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE, 20., 2003, Montpellier. **Anais...** Montpellier: AFEID, 2003.

NAANDANJAIN. Aspersor 427 1/2": especificações técnicas. Disponível em: <<http://www.naandanjain.com.br/produto.aspx?id=97>>. Acesso em 10 de setembro de 2010.

NEWELL, G.F.; FOLEY, J.; SMITH, R. **TRAVGUN- Travelling Gun Simulation model user's manual**. Version 1.1 Toowooba, QLD. Austrália, 2003. 91 p.

OLIVEIRA, H. F. E. de. **Modelagem semi-empírica da distribuição de água de aspersores autopropelidos sob diferentes condições de vento**. 2008. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola. Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, H. F. E. de.; 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 (suplemento), p. 818-824, 2009.

OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Nobel, 1984. 267 p.

PAIVA, J. B. D. **Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão**. 1980. 333 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

PEREIRA, G. M. **Irrigação por aspersão convencional**. Lavras: FAEPE, 2000. 90 p.

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

PRADO, G. **Modelagem da aplicação de água com canhões hidráulicos sob diferentes condições de vento**. 2008. 121 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

PRADO, G.; COLOMBO, A. Interpolação de perfis radiais de aplicação de água de aspersores. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 34, 2005, Canoas. **Anais...**Jaboticabal: SBEA, 2005.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Composição de perfis radiais de distribuição de água de aspersores. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 41-53, 2009.

ROCHA, E. M. de M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. da. S.; CASTRO, P. T. de. 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, mai/ago. 1999.

ROCHA, F. A.; CÉSAR, J. H. F.; MELLO, C. R. de; ROCHA, F. S.; PEREIRA, G. M. Caracterização hidráulica de três modelos do miniaspensor Mamkad autocompensante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 6-9, 2001a.

ROCHA, F. A.; CÉSAR, J. H. F.; MELLO, C. R. de; PEREIRA, G. M. Performance hidráulica e perfil de distribuição de água de dois modelos do miniaspensor Supermamkad. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 386-390, 2001b.

ROLLAND, L. Mechanized sprinkler irrigation. **Irrigation and Drainage**, Roma, n. 35, 409 p., 1982.

ROLIM, J.; PEREIRA, L. S.; Desing and evaluation of traveling-gun systems: the simulation model TRAVGUN. In: EFITA WCAA JOINT CONGRESS ON IT IN AGRICULTURE, 2005, Vila Real. **Proceedings...** Vila Real: EFITA WCAA, 2005. p. 166-171.

SEGINER, I. Irrigation uniformity related to horizontal extent of root zone. **Irrigation Science**, Berlim, v. 1, p. 89-96, 1979.

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

SPRINKLER IRRIGATION ASSOCIATION. **Sprinkler irrigation**. 4a ed., 1975. 615 p.

VANZELA, L. S.; ZOCOLER, J. L.; HERNANDEZ, F. B. T. Uniformidade de distribuição da água acima e abaixo da superfície do solo em um sistema de irrigação por aspersão convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador, 2002.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. Localized irrigation. Design, installation, operation, evaluation. **Irrigation and Drainage**, Roma, n. 36, 203 p., 1980.