

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

**DESEMPENHO DO ASPERSOR NAANDANJAIN 435 EM
FUNÇÃO DA POSIÇÃO DO DEFLETOR**

Ana Paula Pires Maciel Guirra
Tecnóloga em Irrigação e Drenagem

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Dezembro de 2011

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

**DESEMPENHO DO ASPERSOR NAANDANJAIN 435 EM
FUNÇÃO DA POSIÇÃO DO DEFLETOR**

Ana Paula Pires Maciel Guirra

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

Dezembro de 2011

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

ANA PAULA PIRES MACIEL GUIRRA – nascida em 31 de julho de 1987, na cidade de Brasília – DF. Em 2006, ingressou pelo Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí – GO, no curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem, obtendo o título de Tecnóloga em Irrigação e Drenagem em julho de 2009. Durante a graduação realizou estágio no Centro de análises agrícolas laboratoriais – Grupo Campo em Paracatu – MG e na empresa Hidros Ltda, localizada em Brasília – DF. Em agosto de 2009 ingressou no programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP – Câmpus de Jaboticabal, SP, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. No segundo semestre de agosto de 2009, realizou estágio de docência na disciplina de Irrigação, para o sexto período de Agronomia da FCAV, sob o supervisionamento dos professores Dr. Luiz Carlos Pavani e Dr. Jairo Augusto Campos de Araujo.

*“Posso ter defeitos, viver ansioso e ficar irritado algumas vezes,
mas não esqueço de que minha vida
é a maior empresa do mundo...
E que posso evitar que ela vá à falência.
Ser feliz é reconhecer que vale a pena viver
apesar de todos os desafios, incompreensões e períodos de crise.
Ser feliz é deixar de ser vítima dos problemas e
se tornar um autor da própria história...
É atravessar desertos fora de si, mas ser capaz de encontrar
um oásis no recôndito da sua alma...
Ser feliz é não ter medo dos próprios sentimentos.
É saber falar de si mesmo.
É ter coragem para ouvir um 'não'!!!
É ter segurança para receber uma crítica,
mesmo que injusta...”*

Pedras no caminho?

Guardo todas, um dia vou construir um castelo...”

(Fernando Pessoa)

Aos meus queridíssimos pais **Maria Angélica P. M. Guirra** e **Anísio Guirra C. Filho**, pelo carinho, confiança, apoio e exemplo de dignidade que levarei para toda a vida. Aos irmãos **Alesson P. M. Guirra** e **Alessandro P. M. Guirra** pela força e compreensão em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

DEDICO

À **Gianne O. de Amorim**, **Saulo Strazeio Cardoso** e **Desirée Soares** pela amizade e por acreditar em mim até mesmo quando eu não acreditava que seria possível. Ao **Manoel Teixeira de Faria**, pelo apoio, compreensão e ensinamentos que foram fundamentais para chegar até aqui. Ao colega **Stocler de Andrade**, pela paciência e transferência de conhecimentos.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À **minha força maior**, meu querido e amado pai **Anísio Guirra Camargo Filho**, que sempre soube me mostrar o caminho certo, me orientou, ensinou, educou e me deu forças para chegar aonde cheguei.

Ao meu orientador, Prof. Dr. **José Renato Zanini**, pela amizade, orientação, incentivo e por todos os seus ensinamentos que muito enriqueceram a minha vida.

À **Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal**, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES)**, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores Dr. **Luiz Carlos Pavani** e Dr. **José Eduardo Pitelli Turco**, pela orientação, apoio e ensinamentos, pelas horas de discussões científicas e pelas sugestões apresentadas para a melhoria deste trabalho.

Aos **professores dos Departamentos de Engenharia Rural e Ciência do Solo FCAV/UNESP**, pelos conhecimentos que adquiri nestes dois anos.

Ao colega **Elcides Rodrigues da Silva**, pela ajuda na realização deste trabalho e pelas explicações.

À empresa **NaanDanJain** pelo fornecimento dos aspersores que foram utilizados neste experimento.

Aos **funcionários do Departamento de Engenharia Rural**, em especial ao **José Antônio Costa** e **Davi Aparecido Trevizolli**, pelo carinho e ajuda recebida.

Aos **colegas do Curso de Pós-Graduação**, pela troca de experiências, ensinamentos e bons momentos compartilhados.

A todos os **amigos** conquistados durante os estudos e durante o desenvolvimento desta dissertação, enfim, a **todos** aqueles que de forma direta ou indiretamente tenham contribuído para o êxito deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
SUMMARY.....	ii
1. Introdução.....	1
2. Revisão de Literatura.....	3
2.1 Considerações Gerais.....	3
2.2 Sistema por aspersão convencional	4
2.3 Aspensor.....	5
2.4 Escolha do aspensor	7
2.5 Fatores que afetam a distribuição de água do aspensor.....	8
2.5.1 Bocal.....	8
2.5.2 Pressão.....	9
2.5.3 Vento.....	10
2.5.4 Altura da haste de subida.....	11
2.5.5 Evaporação	11
2.5.6 Pressão do aspensor e diâmetro dos bocais	12
2.5.7 Sobreposição e raio de alcance.....	13
2.5.8 Variação de fabricação do aspensor	14
2.6 Uniformidade de distribuição de água	15
2.6.1 Perfil de distribuição de água dos aspersores	17
2.6.2 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)	19
2.6.3 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)	20
2.7 Ensaio com aspersores	21
2.8 Cálculos da uniformidade de aplicação da água	22
2.9 Eficiência de aplicação	23
2.10 Intensidade de aplicação de água	24
3. Material e Métodos	25
3.1 Características técnicas do aspensor NaanDanJain 435 ½”M	25

3.2 Coletores	27
3.3 Procedimentos experimentais	27
3.4 Método de amostragem	28
3.5 Determinação da vazão e do coeficiente de variação de fabricação ...	30
3.6 Curva característica dos emissores	31
3.7 Uniformidade de aplicação de água	31
3.8 Grau de pulverização	32
3.9 Intensidade média de aplicação da água	33
4. Resultados e discussão	34
4.1 Vazão e coeficiente de variação de fabricação (CVf)	34
4.2 Raio de alcance do aspersor	43
4.3 Grau de pulverização	44
4.4 Intensidade de aplicação de água	44
5. Conclusões	46
6. Referências	48

DESEMPENHO DO ASPERSOR NAANDDANJAIN 435 EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO DO DEFLETOR

RESUMO: A maioria dos catálogos técnicos dos fabricantes não especifica, para as diferentes posições do defletor e pressões de serviço, o perfil radial de distribuição de água de seus aspersores, limitando-se à apresentação de valores de vazão e raio de alcance. Devido a ausência das informações (posição do defletor x pressão de serviço x espaçamento), neste trabalho teve-se como objetivo avaliar o desempenho do aspersor NaanDanJain, com bocal de 3,5 mm de diâmetro (cor azul), modelo 435 ½" M, operando com as pressões de 100, 200, 300 e 400 kPa, em cinco posições do defletor de ajuste (30°; 21,4°; 12,8°; 4,2° e 0°). 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 oito espaçamentos. A simulação da uniformidade de aplicação de água (CUC e CUD) apresentou melhores resultados para o espaçamento 6 x 6 m nas pressões de 200, 300 e 400 kPa. A utilização da pressão de 100 kPa resultou em menor uniformidade de aplicação para todos os espaçamentos ensaiados, sendo recomendadas pressões superiores a 100 kPa. As diferentes pressões e ângulos do defletor influenciaram o raio de alcance, o perfil de distribuição e a uniformidade de distribuição de água. As diversas combinações de ângulo do defletor e pressão de serviço possibilitaram a utilização do aspersor em diferentes condições operacionais.

Palavras-chave: coeficientes de uniformidade; irrigação por aspersão; simulação; uniformidade de distribuição

PERFORMANCE OF NAANDANJAIN 435 SPRINKLER USING THE DEFLECTOR POSITION

SUMMARY: The most of manufacturer technical catalogs do not specify, to the different deflector position and work pressure, the water distribution radial profile of its sprinklers, limiting only the flow values and reach ray values presentation. Due to the lack of information (deflector position vs. work pressure vs. spacing) in this work it was evaluated the performance of the sprinkler NaanDanJain, nozzle with diameter 3.5 mm (blue), model 435 ½" M, working under pressure of 100, 200, 300, and 400 kPa in five deflector adjustment positions (30°, 21.4°, 21.8°, 4.2°, and 0°). To determine the evaluated parameters the mesh method was used, and with the computational application CATCH 3D the water depth overlap was calculated with eight replications. The water application uniformity simulation (CUC and CUD) presented better results to the 6 x 6 m spacing in the 200, 300, and 400 kPa pressures. The 100 kPa pressure use resulted in a lower spraying uniformity to all the evaluated spacing, being, this way, recommended pressures higher than 100 kPa. The different pressures and deflector angles influenced the operation range, the distribution profile, and the water distribution uniformity. The several deflector angle and work pressure combinations allowed use the sprinkle in different operational conditions.

Keywords: uniformity coefficients; sprinkler irrigation; simulation; distribution uniformity

INTRODUÇÃO

Os processos de dimensionamento e operação de sistemas de irrigação requerem tomadas de decisões que dependem do conhecimento sobre as relações entre a uniformidade de distribuição da água e sua conseqüente eficiência de aplicação, além dos critérios operacionais adotados no manejo da irrigação.

A opção pela introdução da irrigação no processo de produção agrícola é tomada com base na probabilidade de ser atingido certo nível de eficácia na aplicação desta técnica, alcançando-se uma relação custo - benefício cuja maximização depende dos fatores que vão desde as condições do mercado para os produtos agrícolas até as características de desempenho dos emissores (PEREIRA, 2003).

Por isso, durante a etapa de desenvolvimento do projeto de irrigação, é necessário profundo conhecimento sobre as variáveis a serem dimensionadas, procurando aproximá-las de condições ideais de implantação e manejo. Dentre as decisões a serem tomadas, uma das principais é a escolha dos emissores a serem utilizados. A segurança na escolha dos emissores esta baseada na quantidade e qualidade de informações disponíveis, que caracterizam seu desempenho.

PRADO & COLOMBO (2009) justificam que um dos motivos que levam os fabricantes a não disponibilizarem informações técnicas dos emissores, são as inúmeras possibilidades de combinações de pressão de serviço e diâmetro de bocais. Os autores destacam também a importância dos perfis de distribuição na pesquisa, no desenvolvimento de protótipos, no controle de qualidade de fabricação e na avaliação feita por organizações de usuários e projetistas, requerendo rotina de ensaios com grande número de combinações aspersor-bocal-pressão.

Normalmente, os dados fornecidos pelos fabricantes são restritos, tanto em valores quantitativos como qualitativos, sendo disponibilizadas somente informações básicas. Informações importantes como perfil de distribuição e uniformidade com que a lâmina é distribuída ao longo de uma área não são disponibilizados, geralmente por falta de estudos neste sentido.

Diante da importância do conhecimento da distribuição de água dos aspersores, é surpreendente a falta de informações técnicas a respeito dos diversos modelos de aspersores disponíveis no mercado. A maioria dos catálogos técnicos dos fabricantes não especifica, para as diferentes posições do defletor e pressões de serviço, o perfil radial de distribuição de água de seus aspersores, limitando-se à apresentação de valores de vazão e raio de alcance. No presente estudo teve-se como objetivo avaliar o desempenho do aspersor fabricado pela empresa NaanDanJain, modelo 435 ½”M com bocal de 3,5 mm de diâmetro interno de saída (cor azul), operando com quatro pressões e cinco posições do defletor de ajuste.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Considerações gerais

O aumento da produção agrícola e a modernização do meio rural dependem, em grande parte, da irrigação, que contribui substancialmente para a estabilidade e garantia da produção, permitindo maior número de cultivos por ano. Países com grandes produções agrícolas possuem extensas áreas irrigadas, conferindo maior estabilidade na produção de gêneros alimentícios e, com isso, evidenciando a conveniência de se utilizar tal tecnologia.

A irrigação por aspersão adapta-se melhor a solos de textura média e arenosa, podendo ser feita com maior intensidade de aplicação. Solos de textura fina, em virtude de sua baixa capacidade de infiltração, estão sujeitos ao escoamento superficial, exigindo menores intensidades de aplicação de água, o que nem sempre é possível (BERNARDO et al., 2006).

A análise das melhores disposições e operação dos aspersores no campo, através de modelos de simulação da distribuição espacial de água, é efetuada a partir dos perfis de distribuição de água dos aspersores (CARRIÓN et al., 2001). Desta forma, o perfil radial de distribuição de água dos aspersores, determinado em instalações apropriadas, em função das diferentes combinações de pressão de serviço e diâmetro de bocais é utilizado para simular a distribuição de água de sistemas convencionais de aspersão (ALLEN, 1992) e de sistemas mecanizados, como pivô central (GAT & MOLLE, 2000) e autopropelido (PRADO, 2004).

O planejamento racional de um sistema de irrigação por aspersão exige o conhecimento da distribuição de água aplicada, bem como a intensidade de aplicação do sistema. O melhor meio de se obter esses dados é determiná-los em condições normais de campo (OLITTA, 1987).

2.2 Sistemas por aspersão convencional

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 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, para irrigação de hortaliças, especialmente em pequenas áreas de produção, além de irrigação de parques e jardins.

No método de irrigação por aspersão, a água é aspergida sobre a cultura por meio de emissores chamados aspersores, por onde o líquido, ao passar sob pressão, adquire grande velocidade. O jato ao chocar-se com o ar pulveriza-se em gotas, caindo sobre a cultura em forma de chuva artificial. Contribui para a boa aceitação desse método a possibilidade de se obter boa uniformidade de aplicação, facilidade de controle do volume de água aplicado, adaptação às diversas condições de solo e topografia, além da possibilidade de seu uso na maioria das culturas, já estabelecidas ou em plantio.

A irrigação por aspersão adapta-se a vários tipos de solo, topografia e em quase todos os tipos de cultura, embora interfira um pouco nos tratos fitossanitários, ou seja, pulverização e polvilhamento, por lavar a parte aérea. Quanto à cultura, deve-se escolher o tipo e a altura do aspersor apropriado, pois quando adequadamente utilizado, torna-se eficiente instrumento na elevação da renda do produtor, além da geração de empregos e, conseqüentemente, aumento da oferta de produtos agrícolas BERNARDO et al. (2006).

Um bom sistema de irrigação deve aplicar água no solo, uniformemente, até determinada profundidade, proporcionando umidade necessária ao desenvolvimento

normal das espécies vegetais. A estimativa da quantidade de água a ser aplicada por irrigação depende da quantidade real requerida e da eficiência de aplicação do sistema de irrigação considerado.

2.3 Aspersor

Os aspersores são as peças principais do sistema de irrigação por aspersão, pois têm a função de distribuir a água fracionada em gotas sobre o terreno em forma de chuva.

Aspersores rotativos, aspersores estacionários, bocais e tubos perfurados são usados em sistema de irrigação por aspersão. Na maioria desses sistemas, 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 e um braço, ou pela ação hidráulica sobre a engrenagem ou por reação (OLITTA, 1987).

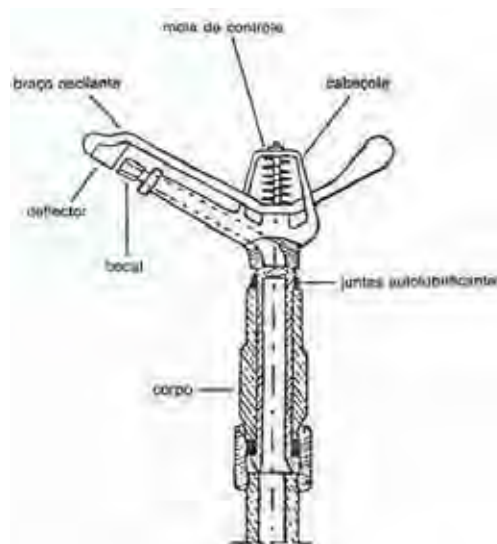


Figura 1. Corte esquemático de um aspersor rotativo. FONTE: (PEREIRA, 2003)

Para fins de classificação, os aspersores podem ser reunidos em quatro grupos, segundo a pressão de serviço: (BERNARDO et al., 2006).

I. Aspersores de “pressão de serviço muito baixa” – Trabalham com pressão variando de 40 a 100 kPa e possuem pequeno raio de ação. Compreendem os tipos especiais de aspersores, como microaspersores e aspersores de jardim, e são, em geral, do tipo estacionários. São usados em jardins e pomares.

II. Aspersores de “pressão de serviço baixa” – Trabalham com pressão entre 100 e 200 kPa e possuem raio de alcance entre 6 e 12 m. São, em geral, do tipo rotativo, movidos por impacto do braço oscilante e usados, principalmente, em irrigação subcota dos pomares ou pequenas áreas de cultivo. Uma vez que trabalham com baixa pressão, muitos desses sistemas são instalados utilizando-se diferença de nível entre a fonte de água e a área a ser irrigada (por gravidade).

III. Aspersores de “pressão de serviço média” – Trabalham com pressão entre 200 e 400 kPa e possuem raio de ação entre 12 e 36 m. Constituem os tipos mais usados nos projetos de irrigação por aspersão e se adaptam a quase todos os tipos de solo e cultura. São, em geral, do tipo rotativo, movidos por impacto do braço oscilante e constituídos de um ou dois bocais.

IV. Aspersores “gigantes” ou canhão hidráulico – Existem aspersores do tipo canhão de médio e de longo alcance. Os de médio alcance trabalham com pressão que varia de 400 a 800 kPa e possuem um raio de ação entre 30 e 60 m. São usados para irrigação de capineiras, pastagens, cereais, cana-de-açúcar e pomares. Os aspersores gigantes de longo alcance trabalham com pressão entre 500 e 1000 kPa e possuem raio de ação de 40 a 80 m. São mais usados em sistemas autopropelidos, para irrigação de cana-de-açúcar, pastagens e capineiras.

Conhecer as características de distribuição de água dos aspersores é essencial para melhor desempenho operacional do sistema. É válido salientar que os aspersores possuem peças que podem modificar o perfil de distribuição de água. Dentre as peças 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, 1987).

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).

O defletor, também chamado de defletor de ajuste, objeto que situa-se sobre o bocal do aspersor, contribui para o fracionamento do jato que sai através do bocal, com o intuito de melhorar a uniformidade de distribuição de água. Esse dispositivo permite ao projetista um grande conjunto de combinações tais como: espaçamentos entre aspersores, formato da parcela irrigada e alterações do raio de molhamento (MARTINS, 2011).

2.4 Escolha do aspersor

A escolha do aspersor é normalmente realizada durante o dimensionamento do sistema de irrigação. Além do custo e da qualidade do equipamento, devem também ser considerados: a área a ser irrigada, o raio de alcance, o número e o ângulo de inclinação dos bocais e a intensidade de aplicação de água do aspersor.

O primeiro aspecto a ser considerado é o tamanho da área a ser irrigada. Considerando que os aspersores com maior raio de alcance requerem menor uso de mão-de-obra e possibilitam menor custo de projeto, adota-se o seguinte critério geral: microaspersores (raio de alcance menor que 5 m) e aspersores de pequeno porte (raio de alcance entre 5 m e 15 m) para as áreas pequenas (menos que 2 ha), aspersores

médios (raio de alcance entre 15 m e 25 m) para áreas de tamanho médio (2 ha a 10 ha) e aspersores grandes (raio de alcance acima de 25 m) para as áreas grandes (acima de 10 ha).

Devem ser preferidos os aspersores com dois bocais, pois, de modo geral, proporcionam distribuição mais uniforme do que aqueles com bocal único, além de serem menos afetados pela ação do vento. Em condições de vento moderado (abaixo de 2 m s^{-1}), devem-se utilizar aspersores com ângulo de inclinação do bocal entre 27° e 32° , por possibilitarem maior diâmetro de molhamento. Para velocidade de vento entre 2 m s^{-1} e 4 m s^{-1} , preferir aqueles com ângulo do jato entre 16° e 26° , enquanto, para ventos acima de 4 m s^{-1} , são desejáveis aspersores com ângulo do jato menor que 15° .

Para ventos acima de 2 m s^{-1} , escolher aspersores com grau de pulverização do jato (Gp) menor que 4. O grau de pulverização é um indicador do tamanho das gotas formadas a partir do fracionamento do jato de água pelo diâmetro do orifício do aspersor, e deve ser adaptado a espécie cultivada para não causar danos a cultura a ser irrigada. O impacto causado por gotas de água provenientes de aspersores com Gp menor que 3 pode causar algum tipo de dano para a maioria das culturas sensíveis. Outro fator a ser considerado na escolha do aspersor é a intensidade de aplicação de água, a qual deve ser menor que a velocidade de infiltração básica do solo (VIB). Sistemas com aplicação maior que a VIB podem provocar encharcamento e escoamento superficial de água, ou até mesmo erosão do solo.

2.5 Fatores que afetam a distribuição de água pelo aspersor

2.5.1 Bocal

Os aspersores convencionais podem ter um, dois ou três bocais, com diâmetros em 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, 1987; 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.

Os diferentes tipos de bocais também influenciam na distribuição d'água dos aspersores. SOLOMON & BEZDEK (1980) afirmam que o padrão de distribuição pode ser controlado pela geometria dos bocais (tamanho, forma e ângulo), combinação de bocais e pressão de operação.

BARRETO (1997), estudando a influência da forma do orifício do bocal de um aspersor no Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), concluiu que bocais de diferentes formatos produzem valores distintos de uniformidade de aplicação. Para os bocais fornecidos pelo fabricante do aspersor, nas formas quadrangular, triangular e circular observou-se maiores valores de CUC para o bocal quadrangular.

2.5.2 Pressão

A utilização mais comum na agricultura irrigada é de aspersores de média pressão, com um ou mais bocais, possibilitando uma precipitação adequada a quase todos os tipos de solo e cultura (OLITTA, 1987).

Segundo BERNARDO et al. (2006), a descarga do aspersor é função do diâmetro e da pressão no bocal. Os aspersores devem funcionar dentro dos limites de pressão especificados pelo fabricante, para obter bom perfil de distribuição. Pressão muito alta causará excessiva pulverização do jato d'água, diminuindo seu raio de alcance e causando precipitação excessiva próxima ao aspersor. Pressão muito baixa resultará numa inadequada pulverização, ocasionando perfil de distribuição muito irregular.

2.5.3 Vento

A influência dos efeitos do vento em relação à uniformidade de distribuição de água de aspersores tem sido bastante discutida na literatura (AZEVEDO et al. (2000); CARRIÓN et al. (2001); CONCEIÇÃO & COELHO (2003); BESKOW et al. (2008a, 2008b); FARIA et al.(2009).

AZEVEDO et al. (2000) observaram que a velocidade do vento foi o fator que mais influenciou na uniformidade de distribuição de água, seguido pela pressão de serviço, espaçamento entre aspersores na linha lateral, espaçamento entre linhas laterais, direção do vento em relação à linha lateral e velocidade de rotação do aspersor.

Estudos realizados com o canhão Plona RL-250, mostraram que a velocidade do vento 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 (OLIVEIRA et al., 2009).

O efeito do vento pode ser minimizado pelo decréscimo do espaçamento ao longo das linhas laterais e entre linhas laterais (BERNARDO et al., 2006). PEREIRA (2000) cita o grau de pulverização (Gp), que apresenta a dimensão das gotas aspergidas, como bom índice para caracterizar a susceptibilidade do aspersor em relação à influencia do vento, pois representa a dimensão das gotas pulverizadas pelo jato (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação das gotas quanto ao grau de pulverização (Gp) do aspersor e quanto à sensibilidade culturas.

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

Fonte: PEREIRA (2000)

2.5.4 Altura da haste de subida

As hastes de subida prestam-se para manter o aspersor a uma altura adequada em relação à copa das plantas e para eliminar ou reduzir a turbulência da água, quando esta é derivada da linha lateral para o aspersor, assegurando uma irrigação mais uniforme e eficiente. O tubo de elevação deve estar perpendicular à superfície do solo e bem acoplado à linha lateral, para evitar instabilidade. Em geral são sustentados por tripé e a sua altura depende do porte da cultura.

GOMIDE (1978), estudando fatores que afetam a uniformidade de distribuição de água, concluiu, que quanto maior a altura do tubo de elevação, maior o efeito do vento, e que o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) é mais influenciado pelo vento do que pela altura do tubo de elevação; trabalhando com tubos de elevação de 0,5 a 2,0 metros, concluiu que a elevação do tubo promoveu aumento do coeficiente de uniformidade e maiores alturas do tubo de elevação proporcionaram melhores resultados, mas na presença de ventos fortes apresentaram maior distorção no modelo de distribuição.

2.5.5 Evaporação

Quando se estudam ou projetam sistemas de irrigação por aspersão em regiões quentes, secas ou com elevada velocidade de ventos, devem ser consideradas as perdas que ocorrerão por advecção e por evaporação.

De acordo com SAMAJSTRLA & ZAZURETA (2003), a perda de água por evaporação é aquela parcela de água que evapora das gotas pulverizadas pelo ar, e a perda por arraste diz respeito à água carregada pelo vento para fora do limite da área irrigada, sendo que, de acordo com TARJUELO (2005), os principais fatores que interferem nas perdas por evaporação e arraste são: a umidade relativa do ar, temperatura do ar e da água, altura do aspersor, tamanho de gotas e a velocidade do vento.

Na determinação das perdas de água por evaporação e arraste em ensaios de laboratório, KOHL et al. (1987) obtiveram valores variando de 0,5 a 2%. Já em testes experimentais de campo, as perdas variaram entre 2 e 40%, com muitos valores dentro de um intervalo compreendido entre 10 e 20% (BESKOW et al., 2008).

Coletando água em pluviômetros, CHISTIENSEN (1942) estimou as perdas por evaporação na irrigação por aspersão e concluiu que elas estiveram entre 10 e 42% para os testes realizados à tarde e próximo de 4% para aqueles conduzidos pela manhã. Mesmo não tendo realizado estudos para diferentes condições de clima, concluiu que as perdas são mais elevadas em dias com ventos fortes, quentes e secos. O mesmo autor cita que em condições de baixa demanda evaporativa as perdas por evaporação e arrastamento estão entre 5 e 10%, chegando a valores entre 30 e 40%, sob condições de alta demanda.

Segundo SCALLOPI & COLOMBO (1995), parte da água lançada sob pressão no ar, através dos bocais dos aspersores, evapora-se antes de atingir a superfície do solo ou plantas. A magnitude dessas perdas depende das dimensões das gotas e do poder evaporativo da atmosfera. Maiores perdas estão associadas ao aumento de temperatura, à velocidade do vento, à pressão do aspersor e à fragmentação do jato, à redução da umidade relativa do ar e do diâmetro dos bocais.

2.5.6 Pressões dos aspersores e diâmetro do bocal

A descarga do aspersor é função do diâmetro do bocal e da pressão de serviço. Quando a pressão é excessiva, o jato se fragmentará demasiadamente, diminuindo o tamanho médio das gotas e, conseqüentemente, o raio de alcance, aplicando excesso de água próximo ao aspersor. Quando baixa, provocará fracionamento deficiente do jato de água e o perfil de distribuição será irregular (MERKLEY, 2004).

BRIDI (1984) considera importante estabelecer a pressão ideal de funcionamento do aspersor, para possibilitar melhor distribuição de água. Quando se eleva a pressão de serviço acima do ideal o jato de água adquire alta velocidade, encontrando grande

resistência do ar, pulverizando em excesso e tombando nas proximidades do aspersor, ficando mal irrigado o extremo do círculo.

OLLITA (1987) considera que a pressão de serviço e o diâmetro do bocal devem ter uma combinação ideal, tendo como resultado final distribuição mais uniforme de água e tamanho de gotas adequado ao tipo de solo, de cultura e de alcance do jato. O autor ainda recomenda que o diâmetro de gotas esteja situado entre 1 a 4 mm.

FRIZZONE & DOURADO NETO (2003) comentam que é importante estabelecer a pressão ideal de funcionamento do aspersor, para que haja melhor distribuição de água. Para baixas pressões, a velocidade de saída de água é menor, sendo o atrito com o ar não suficiente para dispersar o jato em gotas menores, podendo o raio de alcance ser ligeiramente maior, ficando a parte intermediária da área com precipitação insuficiente. Para pressões adequadas a água adquire alta velocidade, e o ar oferece maior resistência para dispersá-la, caindo a um espaçamento ideal entre aspersores, fornecendo distribuição mais uniforme.

2.5.7 Sobreposição e raio de alcance

Para obter boa uniformidade de aplicação d'água sobre a área irrigada, os aspersores devem ser espaçados de modo que se obtenha sobreposição entre os perfis de distribuição d'água dos aspersores, ao longo da linha lateral e entre linhas laterais ao longo da linha principal (BERNARDO et al., 2006).

O raio de alcance dos aspersores é uma característica fundamental, pois parâmetros importantes para a irrigação, e a própria área molhada pela lateral de aspersão, podem ser determinados a partir dele. Do ponto de vista econômico, o raio de alcance é utilizado como determinante do máximo espaçamento entre aspersores, necessário para obtenção de boa uniformidade, indicando desta forma, o custo do equipamento e/ou necessidade de mão-de-obra (KINCAID,1991).

2.5.8 Variação 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. O coeficiente de variação de fabricação (CVf), 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 (VERMEIREN & JOBLING, 1980). Mesmo mantendo o modelo do aspersor, a pressão de serviço, o diâmetro do bocal, a velocidade do vento e espaçamento entre aspersores, durante a realização do teste, pode haver variações nos valores dos coeficientes de uniformidade, por causa da precisão dos equipamentos e do processo de fabricação dos aspersores.

Existem diversas classificações para emissores em relação ao CVf, porém a mais restritiva é definida por SOLOMON (1979) (Tabela 2).

Tabela 2. 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 HOLANDA FILHO et al. (2001), ROCHA et al. (2005), ROCHA et al. (2001a, 2001b), ANDRADE (2009), constataram a precisão com que esses equipamentos são fabricados, por meio do CVf.

2.6 Uniformidade de distribuição de água

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).

A eficiência de irrigação na aspersão engloba a desuniformidade com que a água é distribuída pelo sistema sobre a superfície do solo e das plantas, além das perdas de água por evaporação e por arrastamento pelo vento. A eficiência varia conforme o sistema de irrigação, o dimensionamento hidráulico, a manutenção do sistema e as condições climáticas (MAROUELLI et al., 2001).

CHRISTIANSEN (1942) caracterizou pela primeira vez, a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação, utilizando aspersores rotativos e determinando o efeito da pressão de serviço, da rotação, dos espaçamentos entre aspersores e da velocidade do vento.

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). 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.

KELLER & BLIESNER (1990), BERNARDO et al. (2006) e FARIA et al. (2009) salientam que as características de distribuição de água dos aspersores dependem do modelo de aspersor considerado, das suas condições operacionais (altura de instalação, diâmetro de bocal, pressão de serviço e ângulo de giro) e das condições climáticas durante sua operação. Além destas várias possibilidades de combinações

operacionais dos aspersores, o procedimento para a determinação do perfil radial de distribuição de água de aspersores, conforme as normas técnicas (ASAE, 1987 e ISO, 1990), é moroso e bastante trabalhoso, sendo o grau destas dificuldades aumentado pelo incremento no raio molhado do aspersor em questão.

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.

O conhecimento das características de distribuição de água dos aspersores é essencial para projetistas estabelecerem as melhores condições operacionais do sistema de irrigação por aspersão, de modo a otimizar a uniformidade de aplicação de água (PRADO et al., 2007). Segundo SEGNER et al. (1992), a mensuração do perfil radial de distribuição de água de um aspersor é requerida para a pesquisa, desenvolvimento de protótipos de aspersores, controle da qualidade de fabricação e avaliação dos aspersores pelo consumidor. Diante da importância do conhecimento da distribuição de água dos aspersores, é surpreendente a falta de informações técnicas a respeito dos diversos modelos de aspersores disponíveis no mercado (MARTÍN-BENITO et al., 1992).

MARTINS (2011) estudando o perfil radial do aspersor NaanDanJain 427, concluiu que o defletor de ajuste praticamente não influencia no raio de molhamento até a posição de 50% de sua expansão, porém reduz-se à metade do alcance máximo com 80 ou 100% da expansão, induzindo a altas uniformidades de distribuição de água.

Diversos coeficientes e padrões de classificação são usados para expressar e interpretar as variabilidades que interferem na distribuição da lâmina de água, porém a literatura atribui destaque aos coeficientes propostos por CHRISTIANSEN (1942) e CRIDDLE et al. (1956).

2.6.1 Perfil de distribuição de água dos aspersores

O perfil de distribuição de água constitui uma característica do aspersor, definindo a forma como a água é distribuída espacialmente, sendo de interesse para se decidir a melhor disposição dos aspersores no terreno e seus espaçamentos, para se obter adequado coeficiente de uniformidade.

É consenso que o perfil de aplicação de água é importante para estudos de uniformidade em diversas condições operacionais (pressão, bocais, espaçamentos, entre outros). Esse perfil pode ser determinado realizando-se ensaio com braço radial de coletores, em local fechado (CHEN & WALLENDER, 1984; e SEGNER et al., 1992).

Estudando a uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão em linha, ARRUDA (1981) analisou os perfis obtidos e concluiu que esses sofreram forte influência dos diâmetros dos bocais.

PEREIRA (2003) menciona que existem três formas típicas de perfil de distribuição: triangular, elíptico ou retangular e “rosquilla” ou “doughnut” (Figura 2a, 2b e 2c, respectivamente).

Geralmente, o perfil de precipitação dos aspersores existentes não corresponde à forma triangular, considerada ideal, principalmente sob condições de vento (FINKEL, 1982), como mencionam MARTÍN-BENITO et al. (1992), que obtiveram maiores valores de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para o perfil de formato triangular, enquanto que o formato do tipo “doughnut” apresentou os menores.

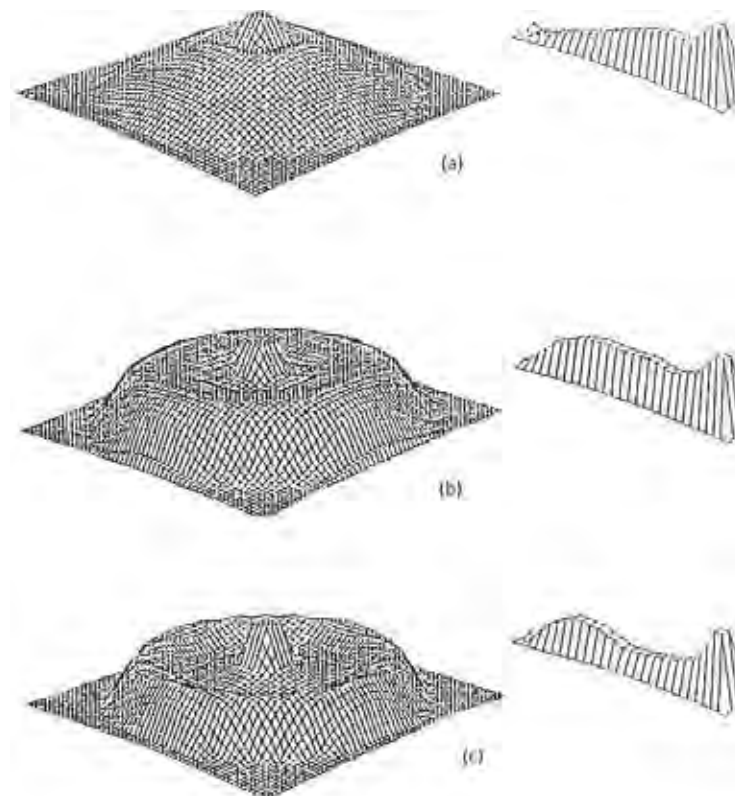


Figura 2. Distribuição espacial e perfil de distribuição de água triangular (a), elíptico (b) e “doughnut” (c). Fonte: PEREIRA (2003).

WILCONX & MCDOUGALD, citados por DEL PINO (1998), estudaram a influência de perfis, espaçamentos e pressão de operação do aspersor na uniformidade de distribuição de água. Concluíram que, em geral, o melhor perfil de distribuição é o que apresenta decréscimo uniforme nas lâminas de água do aspersor para a periferia da área molhada. Contudo, recomendam a simulação de espaçamentos entre aspersores, em função do perfil de distribuição e influência do vento. A mesma opinião é compartilhada por KINCAID (1991), relatando que um padrão desejável do perfil deve ter taxas de aplicação decrescendo continuamente a partir do aspersor.

2.6.2 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

De acordo com KELLER & BLIESNER (1990), na escolha de um aspersor, o objetivo principal é observar entre espaçamentos de aspersores, pressões de operação e tamanhos de bocal, aquele 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, estabeleceu o parâmetro conhecido como Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), definido pela Eq 1:

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

em que:

CUC – Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);

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

Y_m – 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 da 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 sistemas radicular raso, o CUC a ser obtido deve apresentar valores acima de 88%. Em relação às culturas de sistema radicular médio ou profundo, sugerem coeficiente entre 80 e 88%, e 70 e 80%, respectivamente, enquanto PEREIRA (2000) sugere 82 a 88% e 70 a 82%, respectivamente.

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

2.6.3 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 consideram a razão entre média do menor quartil (quartil que menos recebe água) e a média da precipitação, definido pela Eq 2.

$$CUD = 100 \left(\frac{Y_{25}}{Y_m} \right) \quad (2)$$

em que:

CUD – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%);

Y_{25} – média das menores lâminas, representando 25% do total das lâminas obtidas (mm); e

Y_m – média de todas as lâminas obtidas (mm).

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

Segundo KELLER & BLIESNER (1990), valores de 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 os valores de CUD acima de 75%.

2.7 Ensaio com aspersores

Normalmente, estudos de avaliação de equipamentos para irrigação visam avaliar o desempenho destes 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 melhor indicação de uso dos mesmos. Esses ensaios também tendem a completar a falta de informações técnicas sobre os diversos modelos de aspersores disponíveis no mercado, o que torna difícil uma correta seleção desses (MARTÍN-BENITO et al., 1992).

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 melhor indicação de usos dos mesmos (AQUINO, 2006).

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 da uniformidade de aplicação de água.

A análise das melhores disposições e operação dos aspersores no campo, através de modelos de simulação da distribuição espacial de água, é efetuada a partir

dos perfis estacionários de distribuição de água dos aspersores, operando nas mesmas condições que serão atingidas por ocasião de sua instalação nos sistemas de irrigação (CARRIÓN et al., 2001). Desta forma, o perfil radial de distribuição de água dos aspersores, determinado em instalações apropriadas, em função das combinações de pressão de serviço e diâmetro de bocais, é utilizado para simular a distribuição de água de sistemas convencionais de aspersão (ALLEN, 1992) e de sistemas mecanizados, como pivô central (GAT & MOLLE, 2000) e autopropelido (PRADO, 2004).

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 duas 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.

2.8 Cálculos da uniformidade de aplicação da água

Para MONTERO et al. (2003), 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 está sendo cada vez mais utilizados (CARRIÓN et al., 2001). PRADO (2008) complementa 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 ; MERKLEY, 2004).

2.9 Eficiência de aplicação

O vento, umidade relativa e a temperatura do ar são os principais elementos climáticos que afetam o uso da irrigação por aspersão. O vento afeta a uniformidade de distribuição dos aspersores e, juntamente com a temperatura e a umidade relativa do ar, afeta a perda de água por evaporação. Quanto maior a velocidade do vento e menor o diâmetro das gotas de água, menor será a uniformidade de aplicação. A baixa eficiência de aplicação nos projetos de irrigação por aspersão está relacionada com a não-uniformidade de distribuição de água e com as perdas por evaporação e por arrastamento pelo vento (BERNARDO et al., 2006).

A eficiência de aplicação depende das perdas por evaporação, umidade relativa do ar, vento e tamanho de gotas dispersas no ar. Essas perdas podem ser estimadas entre 2 a 8% da vazão total do aspersor. Para sistemas de irrigação bem dimensionados, a eficiência de aplicação aproxima-se de 85%, podendo ultrapassar esse limite se o sistema funcionar à noite e com ventos moderados. Normalmente, a eficiência varia entre 70% e 80% (ANDRADE, 2009).

MERKLEY (2004) define eficiência de aplicação como sendo a razão entre a altura da lâmina de água armazenada na zona radicular e a altura média de água aplicada. O mesmo autor afirma que a eficiência total de aplicação de água em sistemas por aspersão varia de 70% em regiões quentes e áridas, a 85% em regiões úmidas e frias.

SCALLOPI & COLOMBO (1995) comentam que os critérios para determinação da quantidade de água a ser aplicada devem ser baseados na distribuição espacial da água na área irrigada e na relação entre a quantidade de água requerida e a quantidade de água coletada. A atribuição de um valor de eficiência de aplicação para

dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão depende da uniformidade de distribuição de água dos aspersores, do valor econômico da cultura e da importância da água de irrigação para a produção. As estimativas da eficiência requerem previsão do padrão da cultura durante o ciclo, conhecimento do sistema de irrigação, visão antecipada das práticas de cultivos e características do solo e, provavelmente o mais importante de todos, o manejo com que a água vai ser utilizada ou aplicada.

2.10 Intensidade de aplicação de água

Segundo KELLER & BLIESNER (1990), a intensidade de aplicação prática mínima para se obter distribuição razoavelmente boa e alta eficiência sob condições climáticas favoráveis é de 3 mm h^{-1} . O critério básico para a escolha da intensidade de aplicação máxima em um aspersor é que este se encontre em limites inferiores ou iguais ao da infiltração básica do solo, determinada pelo teste de infiltração. Esta característica visa impedir que ocorra escoamento superficial oriundo da lâmina aplicada e, também, danos à superfície do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido em área impermeabilizada pavimentada, aproximadamente plana, com construções e árvores em redor, formando quebra-vento.

Na área experimental utilizou-se um sistema motobomba modelo C8R8, série 4478, rotor 162 mm, 3520 rpm, vazão $7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, altura manométrica de 48 mca, fabricada pela Indústria Metalúrgica Castro Alves S.A. para pressurizar a água succionada de um reservatório de 2000 litros, mantendo-se a água do reservatório em nível constante, através de uma tubulação de polietileno com diâmetro de 25 mm até o tubo de subida do aspersor.

3.1 Características técnicas do aspersor NaanDanJain 435 ½”M

Para os ensaios utilizou-se o aspersor plástico, rotativo, de impacto, modelo 435 ½”M (Figura 3), com bocal de diâmetro interno de 3,5 mm (cor azul), fabricado pela empresa NaanDanJain. Esse aspersor é utilizado para irrigação em parques, jardins e culturas em geral e possui mecanismo de círculo completo, dispositivo que possibilita a irrigação setorial e defletor de ajuste que possibilita modificar o perfil radial de distribuição de água. Foram ensaiados vinte aspersores retirados de diferentes lotes, dentre os vinte aspersores foram escolhidos três que obtiveram menores variações de CVf, sendo os três aspersores usados como repetições nos ensaios. As posições do defletor podem ser reguladas em oito ângulos em relação ao plano horizontal, variando de 0 a 30°. Dessas oito posições, foram avaliadas cinco posições (30°; 21,4°; 12,8°; 4,2°; 0°) devido a pequena variação entre um intervalo e outro. Na avaliação foi utilizado o mecanismo de círculo completo (360°) e o aspersor foi operado a 0,6 m de altura, nas pressões de 100, 200, 300 e 400 kPa.



Figura 3. Aspersor NaanDanJain 435 1/2”M com defletor de ajuste posicionado a 30°.

De acordo com o catálogo do fabricante (Tabela 3), para o bocal de 3,5 mm de diâmetro (cor azul), as vazões (Q) variam de 0,49 m³ h⁻¹ a 0,93 m³ h⁻¹ para as pressões (P) de 98,1 a 392,2 kPa e os diâmetros (D) de molhamento situam-se entre 21 e 28 m.

Tabela 3. Vazões e diâmetro de alcance do aspersor 435 1/2”M (Fonte: NAANDANJAIN, 2011)

Diâmetro do bocal (mm)	Pressão (P) kPa	Vazão (Q) (m ³ h ⁻¹)	Diâmetro (D) (m)
3,5 (azul)	98,1	0,490	21,0
	196,1	0,660	25,0
	294,2	0,810	27,0
	392,2	0,930	28,0

3.2 Coletores

Os coletores utilizados possuem forma tronco-cônica, com diâmetro de 80 mm na parte superior e altura 102 mm. Foram espaçados de dois em dois metros, formando um quadrante na superfície impermeável asfáltica (Figura 4) que foi demarcada utilizando teodolito, trena e tinta.



Figura 4. Representação da disposição dos coletores e do aspersor NaanDanJain 435 1/2" M.

3.3 Procedimentos experimentais

Para a realização dos testes, dispôs-se de uma malha composta de 144 coletores espaçados em 2 m sob uma superfície pavimentada formando quatro quadrantes (Figura 4), com o aspersor instalado no centro à altura de 0,6 m da superfície pavimentada, resultando 0,65 m de diferença de altura do bocal do aspersor em relação à borda superior do coletor.

Para o cálculo da intensidade de aplicação de água foi utilizada a Eq. 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 de ensaios (horas).

As variáveis meteorológicas pertinentes ao estudo (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento) foram monitoradas e registradas em intervalos regulares de 15 minutos com uma estação automática, modelo Davis Instruments, localizada a 3 m da área de teste. A média geral da velocidade do vento nos testes foi de $1,4 \text{ m s}^{-1}$, não ocorrendo em nenhum dos testes valores superiores a 2 m s^{-1} (ABNT,1999a).

Para a estimativa da evaporação da água dos coletores durante o ensaio, foram dispostos cinco coletores como referência, posicionados a 5 m da área de teste. Os coletores tinham volumes de água conhecidos, sendo os volumes medidos novamente após o término da leitura dos volumes coletados na malha durante o ensaio. Essas medições possibilitaram considerar desprezível a evaporação no decorrer dos ensaios.

3.4 Método de amostragem

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1999b) define a metodologia para ensaio de aspersores rotativos, destacando o método da malha e o método radial. O primeiro consiste em se espalhar coletores ao redor do aspersor, igualmente espaçados, formando uma malha (Figura 5).

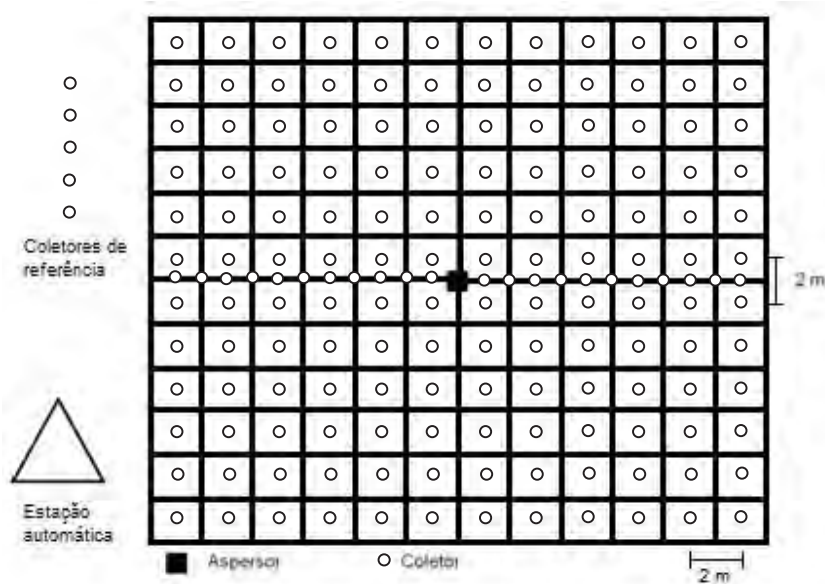


Figura 5. Representação esquemática da disposição dos coletores, do aspersor e da estação automática para o teste com o aspersor NaanDanJain 435 ½" M.

Foram dispostas também duas linhas radiais de coletores, espaçados de 1,0 m a partir do aspersor. As posições dos coletores foram topograficamente marcadas com tinta na superfície impermeável asfáltica, anterior ao início do ensaio. A coleta de água foi feita com coletores de forma geométrica tronco-cônica, cujo diâmetro interno é de 0,080 m e altura de 0,102 m. Foram também instalados 4 coletores na base do aspersor, para os quais considerou-se os valores aplicados a 0 m de distância.

Durante os ensaios utilizou-se um manômetro de Bourdon previamente aferido, graduado de 0 a 60 metros de coluna de água (588,4 kPa), com subdivisões de escala de 1 metro de coluna de água (9,81 kPa) para medição da pressão de operação na base do aspersor. O controle da pressão de operação do aspersor foi realizado utilizando-se um registro de gaveta na saída da bomba e um registro de agulha na base do tubo de elevação do aspersor. A duração de cada ensaio foi de 60 minutos, sendo o volume de água armazenado em cada coletor medido com proveta graduada logo após o término da aplicação.

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

Para se avaliar as variações de vazões entre os aspersores em virtude de diferenças inerentes ao processo de fabricação, foram utilizados vinte aspersores retirados de diferentes lotes de fabricação e submetidos às pressões recomendadas pelo fabricante de 100, 200, 300 e 400 kPa, durante um intervalo de tempo de 5 minutos. Dentre os vinte aspersores foram retirados três que menos tiveram variações de vazão. Utilizou-se o método direto de medição de vazão, pesando-se a água coletada em um tambor e transformando-se o peso de água em volume para cálculo da vazão, sendo o resultado a média aritmética de três repetições. A partir dos dados de vazão, calcularam-se a vazão média e o desvio padrão (Eq. 4); em seguida, determinou-se o Coeficiente de variação de fabricação (CVf), dividindo-se o desvio padrão pela média da vazão. A determinação do CVf permitiu comprovar a representabilidade dos três aspersores como repetições. A representatividade foi baseada nas classificações de uniformidade de vazão de SOLOMON (1979), descrita na Tabela 2.

$$CVf = 100 \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}}{\sqrt{n-1} q_m} \quad (4)$$

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.

3.6 Curva característica dos emissores

A vazão do emissor foi relacionada diretamente com a carga hidráulica atuante na sua entrada e foi representada pela seguinte equação potencial, de acordo com KELLER & KARMELI (1974).

$$Q = K P^x \quad (5)$$

em que:

Q – vazão do emissor ($L h^{-1}$);

K – constante de proporcionalidade que caracteriza cada emissor;

P – pressão de serviço do emissor (kPa); e

x – expoente de descarga do emissor que caracteriza o regime de fluxo.

3.7 Uniformidade de aplicação de água

Utilizou-se neste estudo o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (CHRISTIANSEN, 1942) descrito pela Eq. 1.

Outra medida de uniformidade utilizada foi o Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), descrito pela Eq.2. Segundo FRIZZONE & DOURADO NETO (2003), sua origem é creditada ao S.C.S-USDA.

Os valores de CUC e CUD foram calculados para as diferentes condições do ensaio (ângulo do defletor, pressão de serviço e espaçamento entre aspersores). Estes dois índices de uniformidade trabalham bem em conjunto, completando-se, pois, segundo BENAMI & HORE (1964), os valores de CUC não dão ênfase aos desvios

abaixo da média, que são mais críticos na prática, diferente do CUD que utiliza a média de 25% dos menores valores de lâmina de irrigação.

Para o cálculo das sobreposições das lâminas de irrigação foram utilizados os espaçamentos de 6 x 6; 6 x 8; 6 x 10; 6 x 12; 8 x 8; 8 x 12; 10 x 12 e 12 x 12 m e também os resultados relativos à sobreposição e determinação da uniformidade de distribuição de água pelo aspersor foram obtidos utilizando-se o aplicativo computacional Sprinkler Catch Can Overlap Program CATCH 3D, versão 4.45 (CATCH 3D, 2004). O perfil médio de distribuição de água foi obtido utilizando-se valores médios da distribuição de água das 3 repetições (1 repetição por aspersor) realizadas para cada pressão.

Para a interpretação dos dados obtidos de CUC e CUD seguiu-se a proposta de MANTOVANI et al. (2007), apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação dos valores de CUC e CUD para sistemas de aspersão, segundo MANTOVANI et al., (2007).

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

3.8 Grau de pulverização

O grau de pulverização foi calculado por meio da Eq. 6, adaptada de PEREIRA (2003):

$$G_p = \frac{P_s}{1000 D} \quad (6)$$

em que:

G_p – grau de pulverização (adimensional);

P_s – pressão de serviço (m c.a); e

D – diâmetro do bocal (m).

As classificações dos valores referentes ao G_p foram realizadas com base nos valores apresentados na Tabela 1.

3.9 Intensidade média de aplicação de água

A intensidade de aplicação de água do aspersor NaanDanJain 435 ½”M, foi calculada para as pressões e espaçamentos testados a partir de metodologia proposta pela ABNT (1999b), representada pela Eq. 7:

$$I_{ma} = \frac{100 q_m}{s_1 s_2} \quad (7)$$

em que:

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

q_m – vazão média obtida das repetições das avaliações da vazão em cada pressão de serviço ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$);

S_1 – espaçamento entre linhas laterais (m);

S_2 – espaçamento dos aspersores ao longo da linha lateral (m).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Vazão e coeficiente de variação de fabricação (CVf)

O aspersor NaanDanJain 435 ½”M apresentou CVf variando entre 1,12 e 1,50%, atingindo grau máximo de classificação definido como Excelente por SOLOMON (1979), mostrando pequena variação no fluxo dos emissores devido ao processo de fabricação (Tabela 5). De acordo com o mesmo autor, o coeficiente de variação de fabricação é o melhor parâmetro para a avaliação das diferenças individuais entre os emissores, sendo uma informação que representa bem o projeto do emissor, materiais usados na construção e cuidados aplicados na fabricação.

Tabela 5. Valores obtidos para Coeficiente de Variação de Fabricação (CVf) e classificação segundo proposta de SOLOMON (1979).

Pressão (kPa)	Vazão média (m ³ h ⁻¹)	CVf médio (%)	Classificação (Solomon 1979)
100	0,49	1,12	Excelente
200	0,66	1,25	Excelente
300	0,81	1,37	Excelente
400	0,93	1,50	Excelente

DEL PINO (1998), estudando o desempenho de três modelos de aspersores escamoteáveis menciona que diferenças obtidas entre repetições, para mesmos modelos de aspersores, podem ser atribuídas ao processo de fabricação destes ou de seus componentes, como os bocais.

O resultado da análise de regressão para avaliação da pressão no CVf mostrou efeito linear, e potencial para vazão (Figura 6).

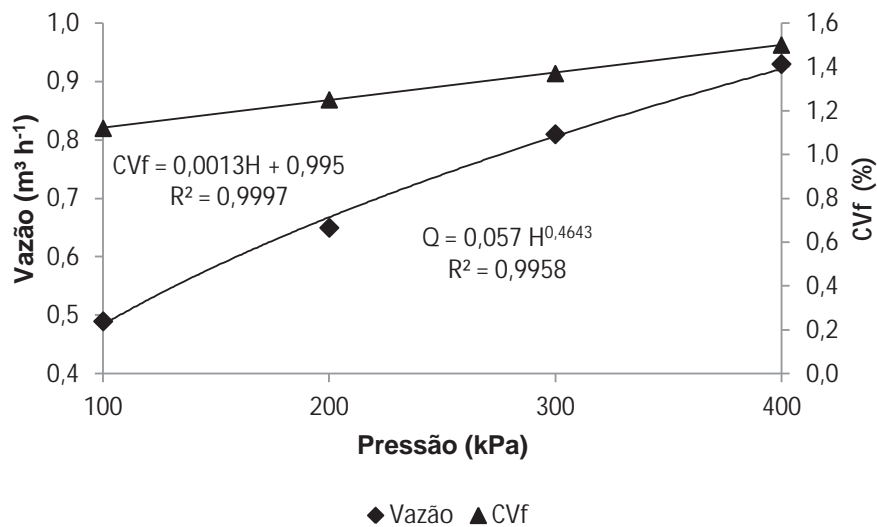


Figura 6. Curva característica (vazão x pressão x coeficiente de variação de fabricação (CVf)) do emissor NaanDanJain modelo 435 ½”M bocal de 3,5 mm (azul).

A equação $Q = 0,057 H^{0,4643}$ representa a equação de ajuste da relação vazão x pressão para o bocal 3,5 mm (azul), obtida através da média das vazões registradas e as respectivas pressões de serviço (Figura 6). O valor de R^2 significa que 99,58% das variações entre pressão e vazão podem ser explicados pelo modelo ajustado. O expoente da equação característica foi igual 0,4643, o que caracteriza, segundo KELLER & BLIESNER (1990) um emissor de fluxo turbulento. Semelhantemente aos resultados obtidos por HOLANDA FILHO et al. (2001) com o microaspersor Rondo e aos obtidos por MARTINS (2011), com o aspersor NaanDanJain 427, houve aumento do CVf à medida que se aumentou a pressão.

Para todas as pressões estudadas os valores médios das vazões obtidas durante o ensaio foram iguais aos informados pelo fabricante (Tabela 6).

Tabela 6. Comparação entre vazões encontradas durante os ensaios e vazões informadas pelo fabricante.

Pressão (kPa)	Vazão obtida (m³ h⁻¹)	Vazão informada (m³ h⁻¹)	Erro (%)
100	0,49	0,49	0
200	0,66	0,66	0
300	0,81	0,81	0
400	0,93	0,93	0

Nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 estão representados os valores médios de CUC, CUD e raio de molhamento para os espaçamentos e pressões adotados, simulado pelo aplicativo computacional CATCH-3D.

Na Tabela 7, que representa os valores obtidos com pressão de 100 kPa, observa-se que o CUC e CUD foram inferiores ao preconizados como “excelente” pela classificação proposta por MANTOVANI et al. (2007), valores justificados pela baixa pressão de operação do aspersor. Na Tabela 8, foram encontrados valores de 15,0% preconizados como “excelentes” em ambos os coeficientes, concentrado esses valores para o espaçamento de 6x6 m. Na Tabela 9, observa-se que foram excelentes 17,5% dos valores de CUC e 27,5% dos valores de CUD, e na Tabela 10 observa-se 12,5% para CUC e 17,5% para CUD.

MARTINS (2011), estudando o perfil radial do aspersor NaanDanJain 427, simulando os mesmos espaçamentos utilizados neste trabalho, observou aumento da média geral dos valores de CUC e CUD à medida que houve aumento na pressão de serviço do aspersor.

Em estudo realizado por FARIA et al. (2009) foram obtidos resultados similares aos do presente estudo, observando-se que espaçamentos reduzidos apresentaram melhores valores de CUC. Porém, de acordo com PEREIRA (2003), pequenos espaçamentos aumentam os custos do sistema com tubulações e mais aspersores e requerem maior mão de obra para mudar as linhas de distribuição.

Tabela 7. Valores médios obtidos de CUC(%), CUD(%) e raio de molhamento para a pressão de 100 kPa, em função do espaçamento entre aspersores e ângulo de ajuste, simulados pelo aplicativo CATCH-3D.

Defletor	Espaçamento entre aspersores (m x m)										Raio (m)
		6x6	6x8	6x10	6x12	8x8	8x12	10x12	12x12	Média	
30°	CUC	87,5	85,6	84,7	73,6	76,2	66,7	67,7	60,5	75,3	8
	CUD	77,9	77,8	71,9	66,0	57,2	48,9	40,0	27,5	58,4	
21,4°	CUC	87,6	82,7	83,8	75,7	76,2	64,1	67,8	62,5	75,0	7
	CUD	78,0	75,7	70,0	65,7	57,5	50,9	40,5	28,9	58,4	
12,8°	CUC	87,3	83,0	84,0	75,7	76,3	65,8	67,9	3,02	67,8	6
	CUD	77,3	75,9	70,0	65,4	53,4	53,0	40,9	15,8	56,5	
4,2°	CUC	79,8	75,0	83,8	68,8	77,7	65	52,9	28,1	66,4	5
	CUD	63,3	66,8	78,9	38,0	73,6	34,7	20,3	16,8	48,9	
0°	CUC	80,0	75,0	81,0	65,7	74,9	60,4	48,1	28,1	64,5	4
	CUD	59,7	66,7	72,6	24,0	70,3	22,5	19,8	16,8	44,0	

Tabela 8. Valores médios obtidos de CUC(%), CUD(%) e raio de molhamento para a pressão de 200 kPa, em função do espaçamento entre aspersores e ângulo de ajuste, simulados pelo aplicativo CATCH-3D.

Defletor	Espaçamento entre aspersores (m x m)										Raio (m)
		6x6	6x8	6x10	6x12	8x8	8x12	10x12	12x12	Média	
30°	CUC	88,5	83,2	89,5	85,5	81,2	82,6	77,5	70,8	82,3	11
	CUD	82,6	76,5	81,5	70,0	69,0	68,2	60,7	55,5	70,5	
21,4°	CUC	93,6	86,4	91,5	82,3	80,5	80	76,5	70,8	82,7	10
	CUD	89,8	75,0	87,6	69,4	64,5	64,5	60,5	60,8	71,5	
12,8°	CUC	95,8	87,5	82,5	88,5	84,9	86,9	83,0	85,2	86,8	9
	CUD	90,8	80,9	73,0	81,0	81,9	80,1	74,9	75,5	79,8	
4,2°	CUC	96,4	84,6	81,5	86,6	83,7	86,7	81,6	83,7	85,6	7
	CUD	89,4	79,3	71,8	80,7	80,3	80,0	75,4	74,5	78,9	
0°	CUC	90,5	90,5	90,0	80,9	83,4	75,1	73,6	74,5	82,3	7
	CUD	87,9	85,1	84,0	66,5	75,9	65,9	58,2	56,3	72,5	

Legenda: Dados (CUC e CUD) sombreados representam valores considerados excelentes por MANTOVANI et al. (2007).

Em geral, a uniformidade de distribuição de água apresentou declínio com o aumento dos espaçamentos e com a diminuição da pressão. Os melhores valores de CUC e CUD são observados na pressão de 300 kPa e os valores mais baixos são encontrados para a pressão de 100 kPa. As posições de 12,8°, 4,2° e 0° apresentaram valores considerados como “excelentes” para o CUC e CUD dentro do espaçamento de 6 x 6 m para as pressões de 200 e 300 kPa.

De acordo com os resultados dos coeficientes, é notável que para a pressão de 400 kPa o ideal é trabalhar com os espaçamentos de 6 x 6; 6 x 10 e 6 x 12 m, para a posição do defletor em 30° e o espaçamento 6 x 6 m para a posição de 12,8° e 0°, nas quais observam-se resultados considerados “excelentes”.

Tabela 9. Valores médios obtidos de CUC(%), CUD(%) e raio de molhamento para a pressão de 300 kPa, em função do espaçamento entre aspersores e ângulo de ajuste, simulados pelo aplicativo CATCH-3D.

Defletor		Espaçamento entre aspersores (m x m)								Média	Raio (m)
		6x6	6x8	6x10	6x12	8x8	8x12	10x12	12x12		
30°	CUC	92,7	93,2	85,7	85,7	87,4	84,1	85,0	78,9	86,6	11
	CUD	89,5	87,5	78,5	80,0	81,6	75,6	75,0	66,0	79,3	
21,4°	CUC	86,5	83,2	85,0	83,0	88,5	78,8	77,3	73,5	81,9	11
	CUD	85,6	73,1	84,6	72,0	83,4	68,3	65,0	64,0	74,5	
12,8°	CUC	92,3	86,5	86,5	88,9	83,0	85,2	82,0	77,6	72,8	9
	CUD	86,5	79,6	84,6	77,6	76,7	76,4	71,2	69,2	77,7	
4,2°	CUC	91,5	81,5	90,5	89,2	78,6	84,4	84,6	77,6	84,7	9
	CUD	85,9	73,6	84,4	82,0	72,4	75,0	75,0	69,0	77,2	
0°	CUC	91,9	89,1	92,0	83,2	83,4	78,4	77,3	78,5	84,2	8
	CUD	88,9	84,6	84,3	72,5	78,2	73,5	67,9	60,3	76,3	

Legenda: Dados (CUC e CUD) sombreados representam valores considerados excelentes por MANTOVANI et al.(2007).

Observa-se redução do CUC e CUD a partir do espaçamento 6x12 m até 12x12 m para todas as posições do defletor. FILHO et al. (2001) encontraram resultados semelhantes em relação ao CUC com o microaspersor Rondo (50 L h⁻¹) da empresa Plastro.

Tabela 10. Valores médios obtidos de CUC(%), CUD(%) e raio de molhamento para a pressão de 400 kPa, em função do espaçamento entre aspersores e ângulo de ajuste, simulados pelo aplicativo CATCH-3D.

Defletor		Espaçamento entre aspersores (m x m)								Média	Raio (m)
		6x6	6x8	6x10	6x12	8x8	8x12	10x12	12x12		
30°	CUC	94,0	88,9	90,6	91,0	86,2	88,2	88,2	80,0	88,4	12
	CUD	89,8	80,1	87,9	87,0	72,1	80,0	76,0	70,9	80,5	
21,4°	CUC	86,8	82,3	85,6	88,9	80,0	83,0	76,0	72,6	81,9	12
	CUD	83,0	73,2	83,5	81,0	74,3	66,0	65,0	64,0	73,7	
12,8°	CUC	94,0	75,9	85,0	74,5	77,0	80,0	78,2	78,2	80,4	11
	CUD	87,6	68,9	76,4	69,8	72,3	66,5	66,7	68,6	72,1	
4,2°	CUC	86,0	75,3	85,6	74,1	76,9	80,0	78,2	74,7	78,8	10
	CUD	75,6	68,6	76,4	70,0	71,3	66,4	66,8	62,7	69,7	
0°	CUC	93,2	88,0	85,9	85,0	87,0	83,0	81,3	83,0	85,8	7
	CUD	85,0	85,6	64,0	74,0	84,0	74,1	73,0	70,1	76,2	

Legenda: Dados (CUC e CUD) sombreados representam valores considerados excelentes por MANTOVANI et al.(2007).

Em todas as pressões estudadas, a posição do defletor de ajuste teve influencia na lâmina de água aplicada e no alcance do jato de água (Figuras 7, 8, 9 e 10). Houve maior variabilidade de lâminas em coletores situados próximos à base do aspersor. Para a pressão de 100 kPa (Figura 10) houve decréscimo da lâmina no final do raio de molhamento, exceto para o ângulo de 4,2°. Para a pressão de 300 kPa (Figura 9), foram observadas lâminas de 1,5 a 2,0 mm para os ângulos de 4,2° a 30° na faixa de 2 a 5 m. Para o ângulo de 0° nessa mesma faixa, observou-se variação da lâmina de 4 a 4,5 mm. Dentro do intervalo de pressão utilizado nos ensaios, pode-se observar relação direta entre o aumento do raio de alcance com a elevação de pressão. Para os menores ângulos do defletor, o aumento na pressão pode ter ocasionado maior pulverização do jato d'água, o que ocasionaria consequente diminuição no raio de alcance, como mencionam BERNARDO et al. (2006) e PEREIRA (2003). Tal afirmação nos permite o descarte do uso de menores ângulos nos aspersores.

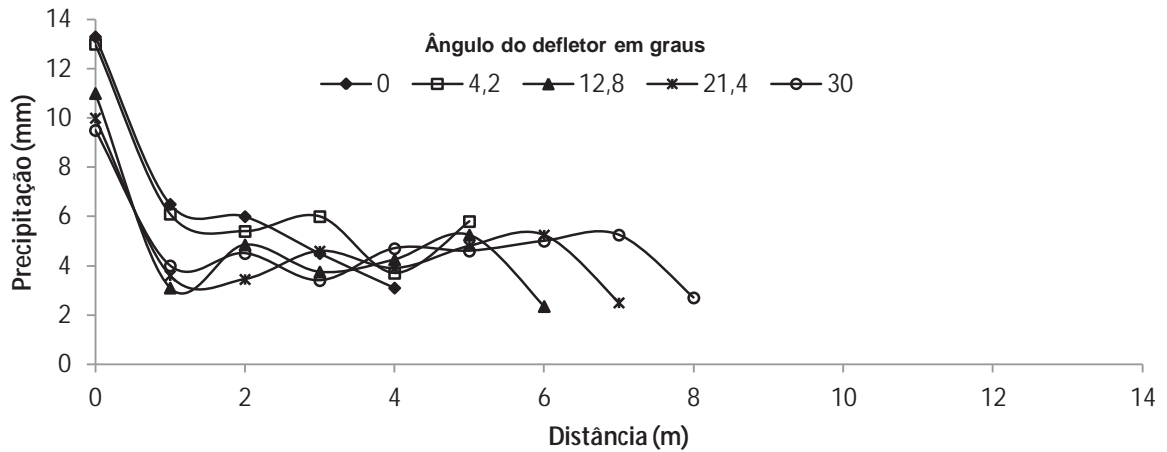


Figura 7. Perfil de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 435 com bocal de 3,5 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão 100 kPa.

O raio de alcance foi obtido com base no coletor que apresentava uma lâmina precipitada maior ou igual a $0,25 \text{ mm h}^{-1}$ (ABNT, 1999a). Observa-se que o raio aumenta com o aumento da inclinação do defletor de ajuste, tendo o ensaio com a pressão de 400 kPa apresentado os maiores valores de alcance, porém, devido possivelmente aos ensaios não terem sido realizados sem a ocorrência de ventos, os valores obtidos são um pouco menores que os valores indicados pelo catálogo do fabricante (Tabela 3).

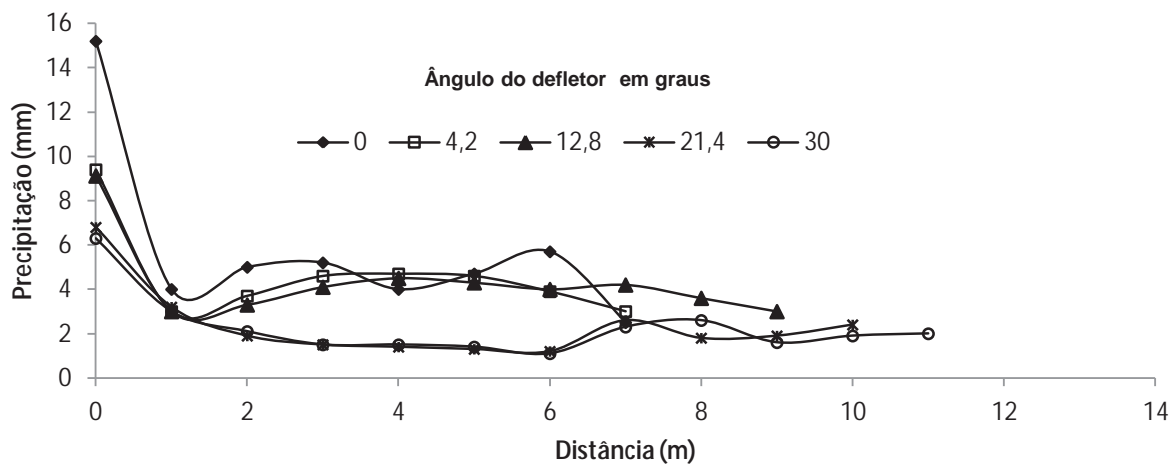


Figura 8. Perfil de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 435 com bocal de 3,5 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão 200 kPa.

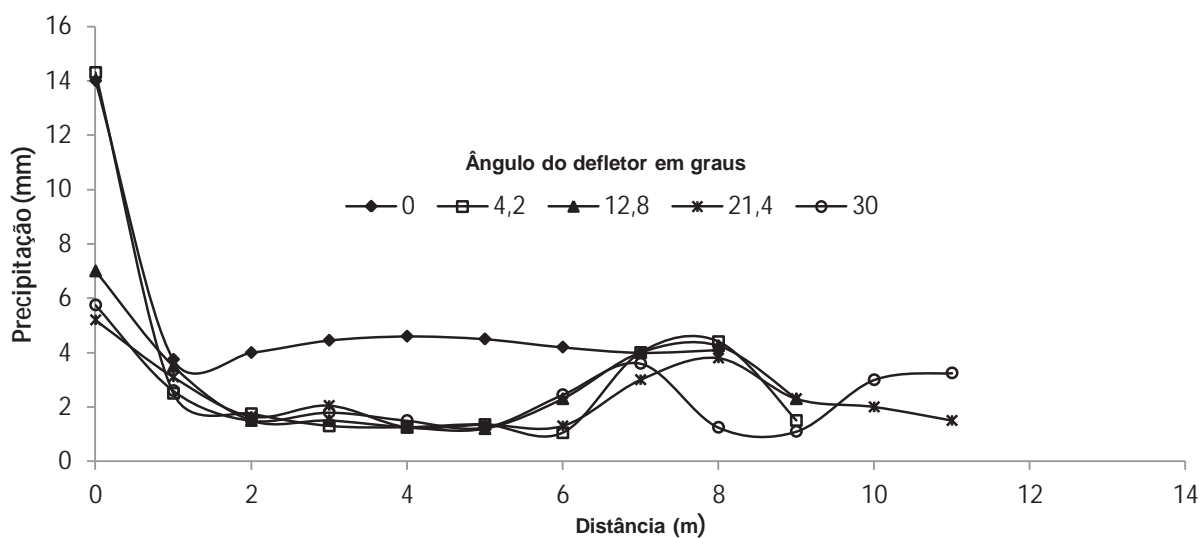


Figura 9. Perfil de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 435 com bocal de 3,5 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão 300 kPa.

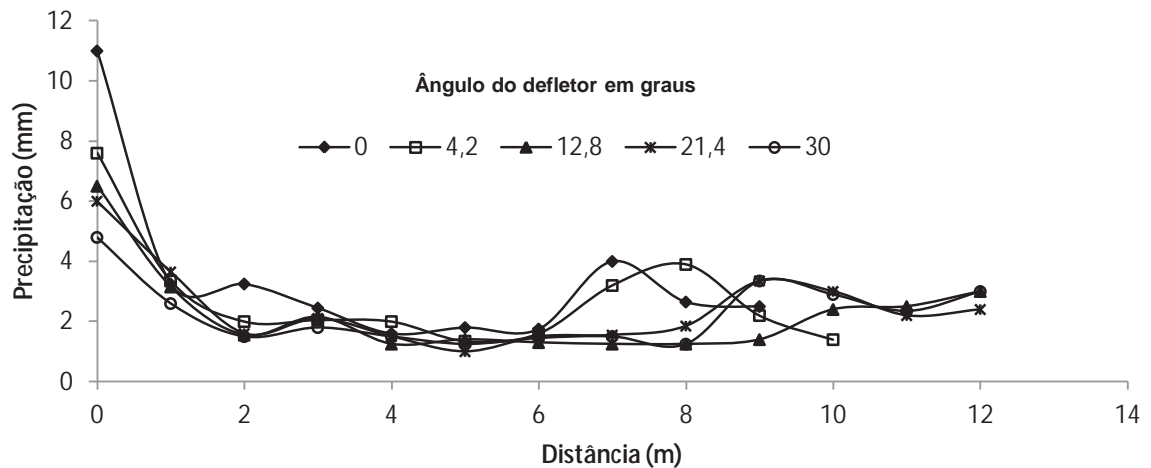


Figura 10. Perfil de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 435 com bocal de 3,5 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão 400 kPa.

Para os ensaios em que o ângulo do defletor estava situado na posição de 0°, houve maior direcionamento do jato de água para baixo, o que ocasionou maior concentração do volume de água na base do aspersor. FARIA et al. (2009) concluíram haver maior variabilidade das lâminas em coletores situados próximos ao aspersor e no final do raio de alcance, em estudo realizado para determinar a influência dos efeitos do tamanho do coletor e do tempo de duração do ensaio, utilizando-se a amostragem radial na pressão de 100 kPa.

Quando analisados os raios de alcance fornecidos pelo fabricante, considera-se que o raio fornecido é para o defletor de ajuste totalmente aberto (30°). Portanto, os valores foram menores quando comparados com os do fabricante. Para as pressões de 100, 200, 300 e 400 kPa foram obtidos os erros de 23,8; 12,0; 18,5; 14,3%. Deve-se destacar que os erros entre os valores observados e os declarados pelo fabricante podem ser decorrentes da altura de instalação do aspersor durante o ensaio.

4.2 Raio de alcance do aspersor

Observou-se que os valores do raio de alcance aumentam à medida que aumenta ascendentemente o ângulo do defletor, indicando influência direta do defletor no fracionamento de água que sai através do bocal do aspersor (Tabela 11).

Tabela 11. Valores médios obtidos do raio de molhamento do aspersor 435 ½" M para as pressões de 100, 200, 300 e 400 kPa, em função dos ângulos do defletor.

Ângulo do defletor	Pressão (kPa)			
	100	200	300	400
	Raio (m)			
30°	8	11	11	12
21,4°	7	10	11	12
12,8°	6	9	9	11
4,2°	5	7	9	10
0°	4	7	8	7

MARTINS (2011), estudando o comportamento do aspersor NaanDanJain 427 ½"M, observou resultado semelhante a partir do aumento da posição do defletor de ajuste de 0% a 100%. A norma adotada, conforme ABNT (1999a), especifica que a intensidade de aplicação corresponde à máxima distância medida referente ao coletor que recebeu, no mínimo, uma intensidade de 0,25 mm h⁻¹.

Quando analisados os raios de alcance observados e os fornecidos pelo fabricante, observa-se que todos raios apresentam variações superiores a 5%, que é a variação máxima permitida pela norma adotada (ABNT, 1999a). É válido destacar que este erro entre os valores observados e os declarados pelo fabricante podem ser decorrentes da altura de instalação do aspersor durante o ensaio. Porém, o fabricante não recomenda uma altura da haste de subida a ser utilizada no aspersor em seu catálogo.

DEL PINO (1998) encontrou redução de até 64,1% no raio de alcance do aspersor estudado, quando comparado com os dados fornecidos pelo fabricante. Este menciona que diferenças obtidas entre repetições, para mesmos modelos de

aspersores, podem ser atribuídas ao processo de fabricação destes ou de seus componentes, como os bocais.

4.3 Grau de pulverização

O aspersor com bocal de 3,5 mm de diâmetro apresentou grau de pulverização variando entre 2,9 (grosso) e 11,6 (finíssima) para as pressões estudadas (Tabela 12). Segundo a classificação de PEREIRA (2000), o aspersor pode ser usado em culturas de alto valor econômico e que apresentem elevada sensibilidade aos efeitos oriundos do impacto das gotas, ou em culturas poucos sensíveis como gramíneas e leguminosas, que toleram o impacto de gotas de maior diâmetro.

Tabela 12. Grau de pulverização do aspersor NaanDanJain 435 ½”M.

Diâmetro do bocal (mm)	Pressão (kPa)			
	100	200	300	400
3,5	2,9	5,8	8,7	11,6
Classificação (PEREIRA, 2000)	Grosso	Fina	Finíssima	Finíssima

4.4 Intensidade de aplicação de água

Verifica-se redução da intensidade de aplicação com o aumento dos espaçamentos e aumento com as pressões de serviço estudadas com o aspersor 435 ½”M com bocal de 3,5 mm de diâmetro. (Tabela 13)

Tabela 13. Intensidade média de aplicação de água (mm h^{-1}) para o aspersor NaanDanJain 435 1/2”M com bocal de 3,5 mm de diâmetro interno.

Espaçamento (m x m)	Pressão (kPa)			
	100	200	300	400
	Vazão média ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)			
	0,49	0,66	0,81	0,93
6 x 6	13,6	18,3	22,5	25,8
6 x 8	10,2	13,8	16,9	19,4
6 x 10	8,2	11,0	13,5	15,5
6 x 12	6,8	9,2	11,3	12,9
8 x 8	7,7	10,3	12,7	14,5
8 x 12	5,1	6,9	8,4	9,7
10 x 12	4,1	5,5	6,8	7,8
12 x 12	3,4	4,6	5,6	6,5

5. CONCLUSÕES

- As pressões entre 100 e 400 kPa e as inclinações do defletor entre 0° e 30° influenciaram no alcance do aspersor, no perfil de distribuição e na uniformidade de aplicação de água;
- Os valores de uniformidade de distribuição de água (CUC e CUD) reduziram com o aumento dos espaçamentos utilizados, a partir de 6 x 6 m;
- A menor uniformidade de distribuição de água ocorre com pressão de serviço de 100 kPa, recomendando-se, por isso, a utilização de pressões superiores;
- O desempenho do aspersor em função das pressões de operação e das posições do defletor demonstra comportamento diferenciado, caracterizando-o para ampla margem de utilização, com exceção de 100 kPa;
- Para todas as pressões e ângulos do defletor a precipitação reduz bruscamente entre 0 e 1 m de distância;
- Existe maior semelhança do raio de alcance nas pressões de 200, 300 e 400 kPa, os quais diferem bastante do raio de alcance com 100 kPa;
- O raio de alcance aumenta com a pressão de operação do emissor entre 100 e 400 kPa.
- Os melhores valores de CUC e CUD foram observados na pressão de 300 kPa e os valores mais baixos encontrados para a pressão de 100 kPa.

- As melhores distribuições de lâminas se deram para a posição do defletor de $12,8^\circ$; $4,2^\circ$ e 0° nas pressões de 200 e 300 kPa, especificamente para o espaçamento de 6 x 6 m.

6. REFERÊNCIAS

ABNT – 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. 14p.

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

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

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE Standard S 330. 1: procedure for sprinkler distribution testing research purposes. **ASAE Standards**. St. Joseph: ASAE, 1987. P. 487-489.

ANDRADE & BRITO, **Métodos de Irrigação e Quimigação**. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/Circulares%20tecnicas/Circular%2086.pdf>. Acesso em 25 de junho de 2011.

ANDRADE, L. A. **Estudo da uniformidade de emissão de água utilizando diferentes espaçamentos entre gotejadores na linha lateral**. 2009. 105p. 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. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola. Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ARRUDA, N. T. **Análise de uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão em linha.** 1981. 80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.152-158, 2000.

BARRETO, A. C. **Efeito da forma do orifício do bocal de um aspersor de baixa pressão no coeficiente de uniformidade de Christiansen.** 1997. 45p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BENAMI, A.; HORE, F. R. A new irrigation-sprinkler distribution coefficient. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.7, n.2, p.157-158, Mar./Apr. 1964.

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

BESKOW, S.; COLOMBO, A.; PEREIRA, G. M.; TAVEIRA, J. H. S.; RICARDO, C. M. Perdas de água por evaporação e arraste na irrigação por aspersão nas condições climáticas de Lavras- MG, utilizando aspersores de tamanho médio. **Irriga**, v.13, p.113-127, 2008a.

BESKOW, S.; COLOMBO, A.; RIBEIRO, M. S.; FERREIRA, L. S.; ROSSI, R. Simulação das perdas de água por evaporação e arraste, no aspersor NY-7 (4,6 x 4,0 mm), em sistemas de aspersão convencional. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.427-437, 2008b.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A.; HEDDEN-DUNKHOST, 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.

BRIDI, S. **Análise de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por pivô central**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1984. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. 1984.

CARRIÓN, P.; TARJUELO, J.; MOTERO J. SIRIAS: A simulation model for sprinkler irrigation. I. Description of model. **Irrigation Science**, New York, v.20, p. 74-84, 2001.

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

CATCH-3D. **Sprinkler application uniformity and efficiency calculation software, version 3,50b**. Developed at the Biological & Irrigation Engineering Department, Utah State University/ Research & Extension Center of the University of Idaho, 2004.

CHEN, D.; WALLENDER, W.W. Economic sprinkler selection, spacing and orientation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.27, n.3, p.737-743, May/July 1984.

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

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

CONCEIÇÃO, M. A. F.; COELHO, R. D. Simulating wind effect on microsprinkler water distribution. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, p.205-209, 2003.

COSTA, S. G. D. Irrigação, a dualidade no semi árido nordestino: desenvolvimento econômico x impactos sócios-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.

CRIDDLE. W. D.; DAVIS, S.; PAIR C. H.; SHOCKLEY. C. D. **Methods of Evaluating Irrigation Systems**. Agriculture Handbook No. 82, Soil Conservation Service, USDA, Washington, D. C. 1956.

DEL PINO, M. A. T. I. **Análise do desempenho de três modelos de aspersores escamoteáveis utilizados em irrigação de projetos paisagísticos**. 1998. 66 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E.; PRADO, G. 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.

FARIA, L. C. **Simulação da uniformidade de aplicação de água em sistemas convencionais de irrigação operando sob diferentes condições de vento**. 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

FINKEL, H. J. **Handbook of irrigation technology**. Boca Raton, Florida: CRC, 1982. v.1, 2. 592p.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba, SP: ESALQ. Departamento de Engenharia Rural. 1992. 53p. (Série Didática 3).

FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. p.573- 651.

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.

GAT, Y. L.; MOLLE, B. Model of water application under pivot sprinkler: I theoretical grounds. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. New York, v.126, n.6, p. 343-347, Nov./Dec. 2000.

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.

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.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7749-2**: irrigation equipment: rotating sprinkler. Part2: Uniformity of distribution and test methods. Switzerland, 1990. p.6.

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

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

KINCAID, D. C. Impact Sprinkler pattern modification. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.34, n.6, p.2397-2402, Nov./Dec. 1991.

KOHL, K. D.; KOHL, R. A.; DeBoer, D. W. Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss. **Transactions of the Agricultural Engineers**, v.30, p.1.071-1.074, 1987.

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

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. 358p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 111p.

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.

MARTINS, P. E. S. **Perfil radial e uniformidade de precipitação do aspersor NaanDanJain 427, em função do defletor de ajuste**. 2011. 48 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

MATSURA, E. E. Eficiência de irrigação e Uniformidade de Distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / USP. 1987.

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

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 Dranaige, 20. 2003, Montpellier. **Anais...** Montpellier: AFEID, 2003.

NAANDANJAIN. **Aspersor 435 1/2"**: especificações técnicas. Disponível em: <http://www.naandanjain.com.br/produto.aspx?id=97>>. Acesso em 20 de maio de 2011.

OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Nobel, 1987. 267 p.

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, p. 818-824, 2009.

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

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

PRADO, G. **Aplicativo computacional para simulação da distribuição de água pelo aspersor PLONA-RL300 em sistemas autopropelidos de irrigação**. 2004. 86 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

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

PRADO, G.; COLOMBO, A. Caracterização técnica do aspersor PLONA-RL300. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.1, p. 53-63, 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.

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: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005b. 1 CD-ROM.

PRADO, G.; COLOMBO, A.; BIAGIONI, P. F. Ângulo de giro e espaçamentos entre carregadores em sistemas autopropelidos de irrigação com o PLONA-RL400. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p. 346-353, 2007.

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, maio/ago. 1999.

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

ROCHA, F. A.; PEREIRA, G.M.; ROCHA, F. S.; SILVA, J. O. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.1, p.96-106, 2005.

SCALLOPI, E. J.; COLOMBO, A. Dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersores autopropelidos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 24., 1995, Viçosa. **Anais...** Sorocaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. p. 218-222.

SEGINER, I.; KANTZ, D.; BERNUTH, R. D. von. Indoor measurement of single-radius sprinkler patterns. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.35, n.2, p.523-533, Mar./Apr. 1992.

SMAJSTRLA, A. G.; ZAZUETA, F. S. **Evaporation loss during sprinkler irrigation**. Gainesville: Agricultural and Biological Engineering Department, 2003. 8p.

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

SOLOMON, K.; BEZDEK, J. C. Characterizing sprinkler distribution patterns with a clustering algorithm. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.23, n.4, p.899-906, July/Aug. 1980.

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

TARJUELO, J. M. **El Riego por aspersion y su tecnología**. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. 581 p.

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