

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DO ASPERSOR
CANHÃO DO TIPO TURBINA**

JÚLIO HENRIQUES FERNANDES CESAR

2001

52139

MFN 36661

JÚLIO HENRIQUES FERNANDES CÉSAR

AVALIAÇÃO TÉCNICA DO ASPERSOR CANHÃO DO TIPO TURBINA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Antônio Marciano da Silva



**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2001**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

César, Júlio Henrique Fernandes

Avaliação técnica do aspensor canhão do tipo turbina / Júlio Henrique
Fernandes César. -- Lavras : UFLA, 2001.

57 p. : il.

Orientador: Antônio Marciano da Silva.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

I. Irrigação por aspersão. 2. Aspensor. 3. Avaliação. 4. Uniformidade. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.587

JÚLIO HENRIQUES FERNANDES CÉSAR

AVALIAÇÃO TÉCNICA DO ASPERSOR CANHÃO DO TIPO TURBINA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

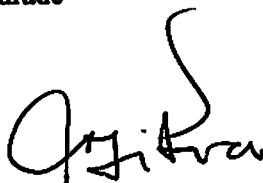
APROVADA em 18 de maio de 2001.

Prof. Dr. Geraldo Magela Pereira

UFLA

Dr. Camilo Lélis Teixeira de Andrade

EMBRAPA



Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva

UFLA

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

A DEUS, pelas graças.

Ao meu pai Rildo

A minha mãe Aldenice pelo apoio e incentivo

A minha esposa Andrea e filha Caroline

Ao meu irmão Juliano.

DEDICO E OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realização do curso.

À Fundação de Apoio e Pesquisa do Estado de Minas Gerais e Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais pela concessão da bolsa, que tornou possível a realização deste trabalho.

À empresa Metal Lavras pela colaboração a qual viabilizou este trabalho, em especial ao Verner e Brigitte, por terem cedido o equipamento e toda infraestrutura necessária na condução dos testes.

Aos funcionários da Metal Lavras, Cacá, Chico, Valdeci, Adriano (Boy), Marquinhos e aos acadêmicos de Engenharia Agrícola, Márcio Ronaldo Coelho e Guilherme Silva Coelho que ajudaram nesse trabalho.

Ao meu orientador Antônio Marciano da Silva, pela amizade, companheirismo e tolerância desde a graduação aos dias atuais.

Aos amigos Rogério e Felizardo pela amizade e ajuda prestada.

A meu pai, minha mãe, esposa e irmão aos quais tudo devo.

Aos professores Geraldo Magela e Camilo Lélis, membros da banca examinadora, pelas sugestões e demais professores da graduação e mestrado que auxiliaram em minha formação.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Características operacionais.....	3
2.2 Uniformidade de rotação.....	4
2.3 Coeficiente de uniformidade.....	4
2.4 Perfil de distribuição de água nos aspersores.....	6
2.5 Método de amostragem.....	9
2.6 Diâmetro de gotas.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Localização.....	15
3.2 Aspersor ensaiado.....	15
3.3 Método de ensaio.....	17
3.4 Procedimento de campo.....	18
3.5 Obtenção dos coeficientes de uniformidade e espaçamentos recomendados.....	20
3.6 Diâmetro de gotas.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Relação vazão versus pressão.....	23
4.2 Raio de alcance.....	27
4.3 Perfil de distribuição de água.....	28
4.4 Velocidade de rotação.....	36
4.5 Coeficientes de uniformidade de Cristhiansen para as diferentes	

disposições e espaçamentos.....	38
4.6 Diâmetro de gotas.....	47
5 CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
ANEXOS.....	55

RESUMO

CÉSAR, Júlio Henriques Fernandes. Avaliação técnica de aspersor canhão do tipo turbina. Lavras: UFLA, 2001. 57p.(Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola, Irrigação e Drenagem)*

A irrigação por aspersão é responsável pelo aumento da área irrigada e do número de empresas fabricantes de equipamentos de irrigação no Brasil. Em geral empresas fabricantes importam e exportam equipamentos, contudo poucas mantêm áreas para testes e controle de qualidade destes produtos. Constata-se uma deficiência de mercado na avaliação técnica de equipamentos para irrigação gerando uma falta de informações aos projetistas. Neste intuito o trabalho objetiva avaliar o desempenho técnico do aspersor canhão do tipo turbina modelo "Mercury" fabricado pela *Società Hidromecânica Emiliana (SIME)* na Itália e importado pela indústria Metal Lavras Ltda. Para este estudo foram testados três bocais (16, 20 e 22 mm), com pressões de serviço (250, 300, 350, 400, 450 e 500 kPa) pelo método de ensaio radial com a finalidade de verificar a influência destes parâmetros na uniformidade de distribuição, intensidade de aplicação, diâmetro médio de gotas, raios de alcance e uniformidade de rotação de acordo com a norma ISO 7749-2 (1990). Gerou-se tabelas com valores de intensidade média de precipitação, espaçamentos recomendados associados aos coeficientes de uniformidade, para as disposições retangular e triangular, cobrindo uma deficiência demonstrada no catálogo do fabricante. Observou-se que o diâmetro médio de gotas aumentou à medida que se reduziu a pressão de serviço, sendo que o comportamento do mesmo não se adapta ao modelo clássico de aumento gradual do diâmetro médio das gotas ao longo do raio de alcance do aspersor, pois constatou-se variação dos diâmetros de gotas ao longo do raio molhado. A relação vazão versus pressão foi bem representada pela equação potencial. O aspersor com bocal de 16 mm apresentou um expoente maior em relação aos bocais 20 e 22 mm, sendo portanto, sua vazão mais susceptível às variações de pressão de serviço. O sistema de rotação do tipo turbina demonstrou boa eficiência, apenas influenciado pela pressão de serviço, garantindo assim uma melhor distribuição por quadrantes. Quanto aos raios de alcance observados, apresentaram um pequeno aumento em relação aos dados fornecidos no catálogo do fabricante. O perfil de distribuição demonstrado é do tipo "doughnut" e retangular. Recomenda-se a substituição do catálogo do fabricante pelas tabelas geradas, pois apresentam os valores de intensidade média de precipitação (mm/h) para os espaçamentos recomendados associados a valores de CUC acima de 80%.

* Orientador: Antônio Marciano da Silva - UFLA

ABSTRACT

CESAR, Júlio Henriques Fernandes. Technical evaluation of the type turbine gun sprinkler. Lavras: UFLA, 2001. 57p. (Thesis – Master of Science in Agricultural Engineering, Irrigation and Drainage) *

The sprinkler irrigation is responsible by increase the irrigated area and the number of irrigation equipments manufacturing companies in Brazil. Usually, the manufacturing companies import and export equipments, however, few companies maintain areas for tests of their products. A market deficiency is verified on technical evaluation of irrigation equipments, proportioning lack of information to the engineers. This work objectives to evaluate the technical performance of the turbine type gun sprinkler, model "Mercury", manufactured by Società Hidromecânica Emiliana (SIME) in Italy, and imported by Brazilian company Metal Lavras Ltda. In this study, three nozzles were tested (16, 20 and 22 mm), under pressures of 250, 300, 350, 400, 450 and 500 kPa with the purpose of verifying the influence of these parameters on distribution uniformity, application intensity, drops diameter, reach radius and rotation uniformity according to the norm ISO 7749-2 (1990). Tables were elaborated with values of medium intensity precipitation, spacing with values of uniformity coefficient in rectangular and triangular disposition, reducing a deficiency demonstrated by manufacturer's catalog. It was observed that the medium diameter of drops increases with the reduction of the service pressure, and its behavior did not adapt to the classic model of gradual increase of the medium diameter of drops along of the sprinkler reach radius. The mathematical relationship between discharge and pressure was well represented by potential equation. The sprinkler with nozzle 16 mm presented exponent of potential equation higher than the nozzles of 20 and 22 mm, being its discharge the most susceptible to the variation of pressure service. The rotation system of the turbine type sprinkler demonstrated good efficiency, being influenced only by service pressure, with better distribution by quadrants. The reach radius values were little higher that in the manufacturer's catalog. The distribution profile is type "doughnut" and rectangular. It is recommended the substitution of the manufacturer's catalog by the tables generated on this work because of the values of precipitation (mm/h) for the spacing recommended. The tables present also values of the Christiansen Uniformity Coefficient to avoid the use of spacing associated to the values of this coefficient below 80%.

* Adviser: Antônio Marciano da Silva - UFLA

1 INTRODUÇÃO

A irrigação por aspersão tem contribuído acentuadamente para o aumento da área irrigada e do número de empresas fabricantes de equipamentos de irrigação no Brasil. Entretanto, são poucas as empresas que mantêm uma área de desenvolvimento do produto com controles técnicos de qualidade e campos de testes de desempenho.

Nos tempos de elevada competitividade entre os fabricantes nacionais, incrementada pela concorrência externa deflagrada pela globalização da economia e abertura do mercado às importações, acentua-se a necessidade de uma melhoria na qualidade dos produtos nacionais, a qual tem, na avaliação dos produtos, um subsídio de extrema valia. A aplicação de testes segundo as normas padronizadas torna-se, cada vez mais, uma necessidade de sobrevivência no mercado.

Com relação à iniciativa de alguns importadores, pode-se dizer que a aprovação dos produtos importados em testes, seguindo as normas da International Organization for Standardization (ISO) e, conseqüentemente, brasileiras, trazem uma série de benefícios, como a consecução da adaptabilidade do produto ao mercado interno, a segurança do consumidor em relação ao produto e um maior respaldo para o importador quanto à qualidade, receptividade e comércio do mesmo.

A adaptabilidade do produto importado às condições brasileiras é sem dúvida um requisito essencial para o sucesso comercial e para manutenção da confiança dos consumidores em relação a um importador. Essa premissa é atingida com a sujeição do produto aos testes propostos pela norma, onde os possíveis defeitos ou qualidades são apontados. Criam-se, assim, subsídios para que o importador obtenha, em futuras importações, uma garantia maior de

qualidade do produto junto ao fabricante, trazendo para si um retorno seguro do capital investido.

Outro aspecto relevante é o subsídio aos projetistas que, no processo de decisão, tornam-se mais dependentes da existência de informações técnicas confiáveis sobre o produto (especificações técnicas e parâmetros de desempenho) as quais são o objetivo fundamental dos ensaios dos equipamentos (Frizzone 1998).

Assim sendo, conjugando o interesse da indústria METAL LAVRAS Ltda., firma pioneira na produção de equipamentos de irrigação e os do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, por intermédio da Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, desenvolveu-se o presente trabalho com a finalidade de avaliar o desempenho técnico de aspersores canhão do tipo turbina, que a referida indústria importa da *Società Hidromecânica Emiliana (SIME)* Itália. São utilizados em equipamentos de autopropelido, denominado "HIDROROLL", produzidos em nível nacional e exportados para os países do Mercosul e América Central. Recebem destaque em meio à concorrência, devido a um alto índice de receptividade e garantia reconhecida pelos consumidores. Os aspersores do tipo turbina são acessórios que demonstram uma alta tecnologia e diferenciam o equipamento, agregando valor e indiscutível qualidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características operacionais

Os aspersores são as peças principais de um sistema de irrigação por aspersão e podem ser classificados, segundo Bernardo (1995), em vários grupos. Quanto ao mecanismo de rotação, existem aspersores com rotação causada pelo impacto do braço oscilante, o qual é ativado pela ação do jato d'água que sai do aspersor sobre o defletor do braço, provocando impactos pequenos e periódicos, e há os aspersores com rotação contínua devido à reação pela saída do jato. Atualmente, com o advento de novas tecnologias, existem aspersores que se utilizam do impacto de uma esfera metálica sobre um êmbolo para promover sua rotação, além de outros dotados de uma turbina que promove o mesmo processo.

O uso dos primeiros aspersores canhões são relatados antes da primeira guerra mundial na Alemanha, sendo construídos após a guerra os canhões *Gun RK-2* e *RK-3* com alcance efetivo de 50m a 70m pela indústria Mannesmann – Landtechnik.

Bernardo (1995) relata que para aspersores “gigantes” ou “canhão hidráulico” existem dois modelos: aspersores de médio e longo alcance. Os aspersores de médio alcance trabalham com pressões variando entre 400 e 800 kPa e possuem raio de alcance entre 30 e 60 m. Os aspersores de longo alcance trabalham com pressão variando entre 500 e 1000 kPa e possuem um raio de alcance entre 40 e 80 m.

A pressão de funcionamento de um aspersor, o seu diâmetro e o ângulo de inclinação do bocal ou bocais, determinam a vazão, o alcance, o grau de pulverização das gotas, a eficiência de aplicação e a precipitação da chuva lançada pelo aspersor. A adequação desses componentes com as condições

específicas do projeto de irrigação é indispensável para o correto dimensionamento e manejo das instalações (Gomes, 1994).

2.2 Uniformidade de rotação

Pair (1968) afirma que a rotação do aspersor deve ser uniforme e lenta para garantir melhor distribuição, o que vem comprovar a vantagem do aspersor do tipo “turbina”, que apresenta maior uniformidade na rotação, em relação ao tipo “braço oscilante”.

Bernardo (1995) cita que, para os aspersores gigantes, a velocidade de rotação deve ser em torno de 0,5 rotação por minuto.

Marouelli (1989), citado por Del Pino (1998), recomenda que a rotação máxima de um aspersor não deve exceder 3,0 rpm por provocar maior pulverização do jato, redução do alcance, maior desgaste do aspersor e maior efeito do vento no perfil de distribuição.

SIME (1998) preconiza a utilização de um câmbio de duas velocidades em seus aspersores de grande porte, sendo uma alta velocidade para plantações em fase de germinação não causando erosão e danos ao cultivo, pois proporciona baixa intensidade de aplicação.

A norma ISO 7749-1 (1995) estabelece que, para o teste de uniformidade de rotação dos aspersores, os mesmos devem apresentar velocidade inferior a 3 rpm.

2.3 Coeficiente de uniformidade

Segundo Christiansen (1942), o estudo da uniformidade de aplicação de água através de equipamentos de irrigação por aspersão teve início com os

trabalhos de Staebener (1930), o qual avaliou aspersores americanos e alemães de uma maneira descritiva.

As avaliações quantitativas de desempenho de aspersores tiveram início com o importante trabalho apresentado por Christiansen (1942), quando foi definido o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

Christiansen (1965) fez um comentário sobre aplicação do seu coeficiente e afirma que sua principal vantagem está na simplicidade de cálculo, em que fornece uma relativa informação da distribuição e pode ser mais facilmente determinado que o coeficiente de variação (CV). Esclarece, ainda, que o coeficiente de variação não pode ser utilizado diretamente como índice de eficiência de aplicação, pois existem outros fatores que influenciam na sua determinação.

Olitta (1977) declara que o valor do coeficiente de Christiansen é o processo estatístico mais comum para avaliação de sistemas de irrigação por aspersão e, por convenção, o valor de 80% é o mínimo aceitável para o desempenho normal do aspersor.

Merriam e Keller (1978), citados por Del Pino (1998), indicam os seguintes coeficientes de uniformidade para os sistemas de irrigação por aspersão:

a) Culturas de sistema radicular raso e alto valor econômico, coeficiente de uniformidade acima de 87%.

b) Culturas de sistema radicular médio e solo apresentando textura média o coeficiente de uniformidade entre 81% e 87%.

c) Culturas de sistema radicular profundo e forrageiras, o coeficiente de uniformidade entre 72% e 83%.

A norma ISO 7749-2 (1990) utiliza o coeficiente de uniformidade de Christiansen como padrão para avaliação de uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão.

Martin-Benito, Gomez e Pardo (1992) afirmam que baixos valores de coeficiente de uniformidade, freqüentemente, indicam uma combinação incorreta do número e tamanho de bocais, pressão de operação e espaçamento entre aspersores.

2.4 Perfil de distribuição de água dos aspersores

De acordo com Bilanski e Kidder (1958), perfis de distribuição de grandes aspersores são necessários para pesquisa, desenvolvimento e controle de qualidade de fabricantes, bem como a avaliação de organizações de usuários, necessitando de ensaios com grande número de combinações de aspersor-bocal-pressão.

Carvalho (1991), ao estudar a influência de diferentes perfis, espaçamento e pressão de operação do aspersor na uniformidade de distribuição de água, concluiu que, de modo geral, o melhor tipo de perfil de distribuição é o que apresenta decréscimo uniforme nas lâminas de água do aspersor para as bordas da área molhada.

O perfil de distribuição é fortemente influenciado pelas condições de velocidade do vento nos períodos de testes, comprovado por Tomazela (1996) ao observar que quanto maior o ângulo de saída do jato de água, menores são os valores de velocidade média do vento que permitem a obtenção de $CUC > 80\%$, independentemente da pressão de serviço utilizada e do espaçamento considerado.

Para obtenção de um bom perfil de distribuição, Faria e Vieira (1986) esclarecem que os aspersores devem funcionar dentro do intervalo de pressão, especificados pelo fabricante.

Quatro formas de perfis de distribuição: elíptico, retangular, "doughnut" e triangular são definidos por Martin-Benito, Gomez e Pardo (1992),



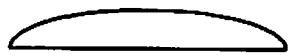


esclarecendo que para uma mesma condição de espaçamento e pressão a forma triangular apresenta maiores valores de CUC, e a forma "*doughnut*" os menores.

Os mesmos autores Martin-Benito, Gomez e Pardo (1992) afirmam que, em relação ao tipo de perfil, primeiramente, o aspersor deve apresentar o tipo triangular, seguido do parabólico ou retangular e por último o tipo "*doughnut*".

Gomes (1994) informa que a formação do perfil tipo "*doughnut*" deve-se à operação do aspersor com baixas pressões de serviço. Observa-se uma concentração da precipitação próxima ao eixo do aspersor e sobre uma coroa intermediária do círculo molhado. A concentração sobre a coroa intermediária é decorrente da redução da velocidade de saída pelo bocal do aspersor, unida a uma fragmentação do jato em gotas grossas.

Keller e Bliesner (1990) recomendam espaçamentos entre aspersores baseados no seu diâmetro molhado e nas formas de perfis de distribuição de água gerados pelos mesmos (Tabela 1).

TABELA 1. Espaçamento recomendado (em porcentagem do diâmetro molhado efetivo) em função do perfil de distribuição e dos arranjos dos aspersores.

PERFIL DO ASPERSOR		ARRANJOS DOS ASPERSORES		
		Quadrado	Triangular Equilátero	Retangular Menor x Maior
Tipo	Forma	Espaçamentos recomendados em porcentagem do diâmetro molhado		
A		50	50	40 x 60 a 65
B		55	66	40 x 60
C		60	65	40 x 60 a 65
D		40 70 (favorável)	70 a 75	40 x 70 a 75
E		40 80 (favorável)	80	40 x 80

FONTE: Keller e Bliesner (1990)

Lozano (1965), citado por Gomes (1994), recomenda as seguintes distâncias máximas entre aspersores segundo a disposição dos mesmos:

TABELA 2. Distâncias máximas recomendadas entre aspersores segundo a disposição dos mesmos.

Disposição	Distância entre aspersores	Distância entre linhas
Quadrada	$\sqrt{2}xR$	$\sqrt{2}xR$
Triangular	$\sqrt{3}xR$	$1,5 x R$
Retangular	R	$1,3 x R$

FONTE: Lozano (1965)

2.5 Método de amostragem

Hart (1961) esclarece que existem diversas formas e arranjos para obtenção da superposição de valores de precipitação. Uma delas é colocar os aspersores em determinado espaçamento a ser investigado. Neste caso, todos aspersores são operados, durante o teste, de modo que a água lançada por eles na área em estudo, fosse coletada simultaneamente e incluída nos cálculos da distribuição.

Outro método bastante utilizado é aquele que trabalha um único aspersor com coletores dispostos numa amostragem em malha para coletar a água precipitada. Posteriormente, faz-se a simulação dos diversos espaçamentos, originando sobreposições e, por meio do coeficiente de uniformidade, verifica-se qual deles é melhor. Este método tem como principais vantagens requerer menos tempo para realização do teste e, virtualmente, infinito número de possibilidades de simulação de espaçamentos.

Segundo a norma NBR 8989 (1985) da Associação Brasileira de Normas Técnicas, os coletores devem ser instalados seguindo uma amostragem em malha e no mínimo 50 coletores deverão receber água durante o ensaio de campo. Com relação ao tempo de ensaio, estabelece que a duração mínima

deverá ser de uma hora, sendo que outros períodos poderão ser adotados, desde que sejam suficientes para proporcionar um volume médio de água nos coletores equivalente a uma lâmina de aplicação de 5 mm.

Entretanto o método ABNT exige um número elevado de coletores e um cansativo trabalho de mensuração, o que dificulta sensivelmente a realização dos ensaios. No caso de aspersores de grande porte, torna-se praticamente inviável, devido sobretudo à necessidade de áreas extensas e planas que, em algumas regiões do país, são raras.

Verifica-se hoje uma tendência de pesquisadores e fabricantes ao uso de ensaios com uma amostra de coletores numa disposição radial. Seguindo a normatização proposta pela ISO 7749-2 (1990) pode-se observar a utilização do método radial estabelecendo alguns conceitos. Ensaios com disposição radial já fazem parte da rotina de trabalho de alguns pesquisadores e laboratórios de renome internacional. No Brasil pesquisas dirigidas por Coelho (1990) e Victoria (1992), citados por Vilas Bôas (1994), utilizaram a metodologia radial considerando-a como de fácil instalação, rápida e econômica.

Griffin (1978) citado por Chen e Wallender (1984), utilizou o perfil de distribuição de água de um único aspersor obtido em amostragem radial, a malha espacial de coletores foi gerada pela revolução do perfil. Para os pontos de malha espacial não correspondentes à distância radial ao longo do ensaio, estes foram interpolados linearmente. Posteriormente, efetuaram-se as sobreposições correspondentes aos espaçamentos desejados.

Segundo Bernardo (1995), a sobreposição poderá ser retangular, quadrada ou triangular. Na disposição retangular o maior espaçamento será entre linhas laterais e o menor ao longo da linha lateral.

Gomes (1994) reafirma as premissas de Bernardo e discorre sobre a sobreposição triangular, descrevendo suas vantagens em relação à quadrada e retangular. Para Gomes (1994), a uniformidade da irrigação diminui

respectivamente em relação aos três tipos de sobreposições citados anteriormente.

As afirmações de Griffin (1978) são reiteradas pela norma ISO 7749-2 (1990) que adota a geração da malha espacial pela revolução de um ou mais raios de coletores, prescrevendo o uso da interpolação linear para simulação dos dados.

Allen (1992) afirma que a malha espacial de coletores pode ser obtida, a partir do método radial, utilizando-se de programas computacionais que fazem a revolução do perfil, incluindo a interpolação para obtenção dos dados. Os mesmos realizam satisfatoriamente a sobreposição dos aspersores em disposição retangular ou triangular de acordo com o melhor coeficiente de uniformidade.

Tomazela (1996) utilizou o programa CACHT3D, desenvolvido pela Universidade do Estado de UTAH (EUA) para sobreposição dos dados, obtendo pelo CUC o melhor arranjo de espaçamentos entre aspersores.

Segundo Bernardo (1995), o espaçamento dos aspersores deve ser em função do diâmetro de cobertura e da velocidade do vento. Recomenda que o espaçamento máximo para velocidades do vento entre 0 e 2 m/s deve ser de 55% a 65% do diâmetro de cobertura do aspersor.

Bilanski e Kidder em 1958, citados por Vilas Bôas (1994), utilizaram-se da disposição radial no estudo sobre fatores que afetam a distribuição de água por aspersores.

Vilas Bôas (1994) afirma em comparação aos métodos de amostragem da distribuição de água pelo aspersor convencional, que o método de amostragem radial é equivalente ao método tradicional ou método de amostragem em malha, o que nos assegura a utilização do mesmo em testes, sendo de fácil execução e baixo custo.

Satto (1978) faz citações de ensaios no campus da Escola de Engenharia da USP, em São Carlos com um único aspersor e na Faculdade de Agronomia de

Jaboticabal, com quatro aspersores, sendo que os coletores estavam dispostos em malha. Concluiu que os ensaios realizados com um único aspersor são os mais recomendados, permitindo a geração de vários dados de lâminas sobrepostas, para cada espaçamento, com o uso de computador.

Bransheid e Hart (1968) utilizaram-se de uma amostragem em malha de coletores, para comparação de testes entre um único aspersor e uma linha lateral com treze aspersores espaçados em 9m. Como conclusão, citam que o procedimento de se fazer a sobreposição entre esses dados e os de um único aspersor é perfeitamente válido.

2.6 Diâmetro de gotas

O tamanho de gotas de aspersores e seus efeitos podem influenciar a seleção de equipamentos, modelos de sistemas, uniformidade de irrigação e sua eficiência. (Solomon et al, 1991).

Ellison (1944), citado por Vilela (1995), afirma a necessidade do estudo de diâmetro de gotas, pois a quantidade relativa de solo erodido é função do tamanho, velocidade das gotas e intensidade da aplicação.

Solomon, Zoldoske e Oliphant (1991) afirmam a importância do estudo da influência do diâmetro de gotas na performance e seleção dos aspersores. Indicam que o tamanho de gotas de um aspersor pode modificar o seu perfil de distribuição influenciado pelo vento, a evaporação e perda por deriva, perdas por arrastamento em aplicação de águas de efluentes, mudanças na taxa de infiltração do solo devido à compactação e selamento da superfície e ainda prejudicar o desenvolvimento radicular das plantas.

Carvalho (1991) demonstra que o diâmetro médio de gota aumenta à medida que afasta do aspersor e que, para um mesmo bocal, o diâmetro médio é inversamente proporcional à pressão. Recomenda que, para solos arenosos,

pode-se trabalhar com maiores bocais e menores pressões e no caso de solos argilosos deve-se utilizar menores bocais com pressões maiores, tendo o inconveniente da perda pelo vento.

Kohl (1974) informa que o efeito do diâmetro do bocal no tamanho de gotas é menor que o da pressão para aspersores de médio porte.

Para aspersores de grande porte verifica-se uma tendência a um espectro de gotas de diâmetros maiores, com maior risco potencial de causar erosão sobretudo quando usados incorretamente. Existindo ainda um agravante no início e no término de sua operação.

Matsura (1993) e Vilela (1995) constataram a presença de gotas de maior diâmetro próximas ao aspersor, produzidas pela interferência do braço oscilante.

Existem vários métodos para determinação do diâmetro de gotas. Método da ardósia, manchas, imersão, farinha, fotográfico e laser óptico, entretanto Vilela (1995) afirma que o método mais prático, simples e utilizado é o da farinha, uma vez que não necessita de equipamentos sofisticados. O método apresenta uma certa dificuldade quando se trata da mensuração de gotas com diâmetros menores.

Para o caso de canhões hidráulicos, Matsura (1993) recomenda que o tempo de exposição do jato à farinha seja em torno de um a três segundos, sendo este tempo determinado de acordo com a intensidade de aplicação do aspersor canhão. Continuando suas premissas o mesmo visualiza diferenças na estrutura de um jato produzido por pequenos e médios aspersores, em comparação a um aspersor canhão onde em todas as distâncias ao longo da trajetória do jato, foram observados vários diâmetros de gotas.

Com essa diferença observada, o mesmo afirmou que o modelo clássico de formação de gotas a partir da saída do bocal, onde se tem uma formação crescente do aumento do diâmetro das gotas para extremidade, não pode ser

utilizada para aspersores do tipo canhão na estimativa da trajetória balística de gotas.

Pereira, Lima e Muniz (1996), utilizando a classificação de Tanda (1957) (Anexo 1A), desmistificaram o uso do canhão hidráulico na cultura do feijoeiro, quando concluíram que não houve influência significativa da redução do grau de pulverização sobre a queda de flores da cultura.

A classificação descrita por Tanda (1957) indica que quanto menor o grau de pulverização maior o diâmetro de gotas formado pelo aspersor. O termo grau de pulverização tem sido usado para definir a relação entre a pressão de serviço (m.c.a) e o diâmetro do maior bocal em mm. Culturas com uma sensibilidade a tamanho de gotas são agrupadas e valores mínimos de grau de pulverização a que podem ser submetidas são estabelecidos.

Os resultados dos testes de diâmetros de gotas são de extrema importância para os fabricantes e revendedores de aspersores de médio e grande porte, devido à necessidade de desmistificar o uso dos mesmos, somente para as culturas perenes, pastagens, canaviais, ou na aplicação de resíduos. Observa-se claramente uma tentativa de abertura de mercado para utilização do produto em irrigação de culturas consideradas como "sensíveis", para as quais a recomendação desses aspersores, ao longo do tempo, foi tida como um erro técnico gravíssimo. Contudo essa mudança de filosofia não provém de uma simples necessidade de obter uma faixa de mercado, antes utilizada somente por pequenos aspersores e, sim, da interação entre a pesquisa, o emprego de novas tecnologias e de novos materiais e dos testes de validação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

Os ensaios foram realizados no Campo de Testes da Indústria Metal Lavras, situada na BR 265 km 142, município de Lavras, região Sul de Minas Gerais, geograficamente definida pelas coordenadas de 21° 14' de latitude Sul, 45° 00' de longitude Oeste e altitude de 910 m.

3.2 Aspersor ensaiado

Para realização dos ensaios utilizou-se um aspersor da SIME (*Società Hidromecânica Emiliana*) importado da Itália, pela indústria Metal Lavras Ltda. Conhecido como aspersor canhão do tipo turbina, tem sua rotação originada pela reação do jato em contato com as palhetas da turbina, obtendo uma rotação uniforme e dispondo de um sistema de reversão lenta e gradual, diferenciando-se dos aspersores tradicionais amplamente difundidos.

O modelo testado foi o MERCURY com diâmetro de base 50,8 mm e bocais 16, 20 e 22mm (Figura 1), sendo as pressões estabelecidas de 250, 300, 350, 400, 450 e 500 kPa, dentro da faixa de operação recomendada pelo fabricante.

O princípio de funcionamento tem como base o jato que é desviado do duto principal, cujo material é alumínio, para um duto secundário alcançando as palhetas da turbina causando a rotação da mesma. Através de redutores o movimento é transmitido por um eixo, paralelo ao duto principal, até uma engrenagem situada na base do aspersor promovendo assim seu deslocamento constante e ininterrupto. A vantagem desse sistema se encontra no princípio da reversão, que é obtida pela simples inclinação da turbina. Quando a turbina

apresenta inclinação para o lado direito observado de frente ao aspersor (Figura 1), o sentido de rotação é horário e inversamente a turbina disposta com inclinação à esquerda, apresenta sentido anti-horário. A reversão é promovida por uma chaveta situada na extremidade do eixo, paralelo ao duto principal e antes da coroa na base que, ao atingir o grampo setorial, promove a torção do eixo e, conseqüentemente, a inclinação da turbina.

Esse sistema difere em outro ponto do braço oscilante, por não permitir o movimento do aspersor em determinado momento para uma posição qualquer. Seu posicionamento é fixo, ou seja, sua rotação é obtida basicamente do efeito turbina. Essa característica, inicialmente não bem entendida por parte dos irrigantes, promoveu quebras constantes no redutor pela tentativa de forçar a rotação do mesmo.

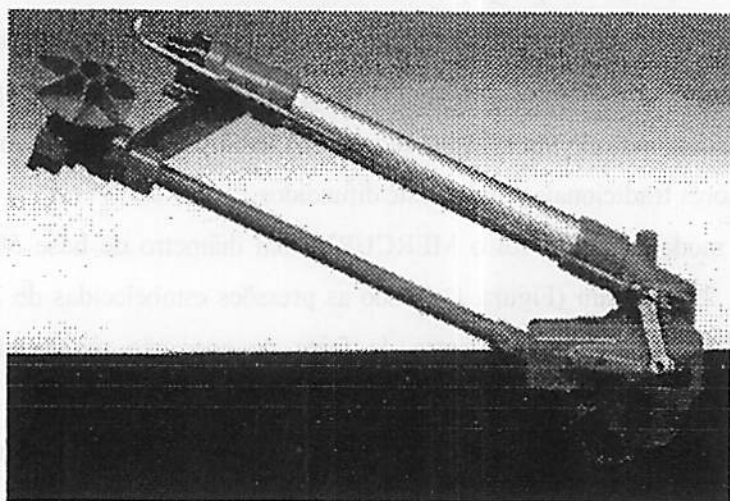


FIGURA 1. Aspersor canhão do tipo turbina, modelo Mercury.

Trata-se de uma nova tecnologia em aspersores de médio e grande portes comercializados no Brasil, demonstrando algumas vantagens e

desvantagens em relação aos aspersores de braço oscilante típicos da nossa irrigação.

Esses aspersores apresentam uma complexidade maior e, conseqüentemente, um número de componentes mecânicos superior (90 a 100) aos típicos de braço oscilante (cerca de 60 a 70), trazendo uma desvantagem observada em pesquisa de campo junto à indústria e seus consumidores. O uso de líquidos com maior densidade como, por exemplo, vinhaça, faz com que os aspersores do tipo turbina apresentem problemas mais freqüentes, tornando-os praticamente inviáveis para aplicação dos mesmos.

A indústria Metal Lavras Ltda constatou em seus aspersores importados do tipo turbina, sobretudo os destinados à aplicação de vinhaça, defeitos nos componentes da turbina principalmente no eixo que a apoia e transmite movimento às engrenagens. Esse eixo apresentou problemas de engripamento devido à corrosão proveniente da vinhaça, posteriormente danificando o sistema por falta de lubrificação e, ainda, ocasionando o desgaste prematuro das palhetas da turbina por atrito. Com isso, os mesmos não são recomendados para aplicação de vinhaça.

3.3 Método de ensaio

O método de ensaio utilizado foi o preconizado pela norma ISO 7749-2 (1990) que discorre sobre o método radial. Algumas mudanças foram introduzidas visando à adaptação às condições de campo, as quais são descritas posteriormente.

3.4 Procedimento de campo

A Metal Lavras Ltda conta com uma área plana para testes de 22000 m², reservatório de água de 40 m³, abastecido por um conjunto motobomba diesel com motor MWM 6-10 T e bomba FAL capacidade de 125 m³/h e pressão de 100 m.c.a. situada no ribeirão próximo à indústria. Do reservatório ao equipamento, existe outro conjunto motobomba de porte equivalente para atender aos testes.

O aspersor foi instalado a uma altura de 1,70 m, em tripé com tubo de subida de 76,2 mm, fabricado para o uso em campo com adaptações inerentes ao teste. A altura do bocal em relação ao solo foi de 2,10 m.

O ajuste de pressão foi obtido pelo uso de um registro do tipo borboleta situado na saída da bomba em conjunto com a variação da rotação do motor e conseqüentemente, do rotor da bomba. Foram utilizados três manômetros do tipo bourdon devidamente aferidos por calibrador hidráulico na oficina de manutenção da Ferrovia Centro Atlântica, em Lavras.

A determinação da pressão foi obtida por manômetro instalado no aspersor, em local apropriado designado previamente pela fábrica italiana. A adoção desta posição em conjunto com a Metal Lavras Ltda foi pela necessidade de confeccionar um catálogo adaptado às condições de campo, contrariando a norma que aconselha a tomada de pressão a pelo menos 200 mm de qualquer ponto de variação do fluxo. Neste caso o fabricante posiciona o manômetro no centro da curva da base do aspersor.

A vazão do aspersor foi medida pelo método indireto pelo medidor de palhetas *Ômega* previamente aferido com a média de três leituras por teste.

A equação potencial foi ajustada aos dados de pressão versus vazão.

A velocidade de rotação foi medida por cronômetro totalizando o tempo necessário para uma volta completa e por quadrante. A medição por quadrante

foi necessária para comprovar a uniformidade de rotação promovida pelo sistema mecânico tipo turbina. Foram realizadas três tomadas de tempo por teste.

A distribuição dos coletores na área foi na forma radial, de acordo com a norma ISO 7749-2 (1990). O espaçamento entre coletores foi de 2 m, conforme especificado pela norma para aspersores com diâmetro de cobertura maior que 20 m. A altura da borda do coletor em relação ao solo foi de 0,70 m e do centro do bocal em relação à borda do coletor de 1,40 m, atendendo a norma ISO 7749-2 (1990), que estabelece uma altura de dez vezes o diâmetro do tubo de subida e não menos que 0,50 m.

Em relação ao diâmetro dos coletores a norma ISO 7749-2 (1990) recomenda abertura igual ou superior a 8,5 cm. Entretanto a necessidade de uma grande quantidade de coletores e a disponibilidade dos mesmos, com 8,0 cm de diâmetro, conduziu pela sua utilização, já que a diferença de diâmetros é da ordem de apenas 6%.

Durante os ensaios que, de acordo com a norma devem ter duração de uma hora, foram observados que, para testes de aspersores de grande porte, os custos operacionais se tornam elevados, devido ao consumo excessivo de óleo diesel e lubrificantes para altas pressões e vazões, explicando a falta de informações técnicas a respeito desses equipamentos.

Quanto às perdas por evaporação foram utilizados três coletores próximos à área de teste. A perda foi estimada pela média dos coletores e repostada em cada coletor.

As medidas de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento foram originadas de uma estação climática portátil *Davis*, instalada a 40 m da área de teste.

A necessidade da total ausência do vento exigida pela norma foi contornada com a realização dos testes nos períodos do amanhecer e entardecer.

3.5 Obtenção dos coeficientes de uniformidade e espaçamentos recomendados.

Os coeficientes de uniformidade foram determinados, simulando um conjunto de aspersores operando simultaneamente em disposições retangulares e triangulares, com vários espaçamentos inferiores a 60% do diâmetro molhado pelo aspersor, sendo considerado o raio de alcance como a distância do aspersor ao coletor de precipitação mínima de 0,25 mm/h, conforme a norma ISO 7749-1 (1995). Se a lâmina requerida estiver entre dois coletores, o raio será obtido por interpolação linear conforme a norma ISO 7749-1 (1995).

O programa computacional CACHT3D, versão 4.6 da Universidade do Estado de Utah (EUA), foi utilizado para simular uma malha de coletores e aspersores dispostos de forma retangular e triangular com espaçamentos variados e inferiores a 60% do diâmetro molhado. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) foram gerados para cada espaçamento. Os espaçamentos variaram de 18 m a 66 m com suas combinações.

As intensidades de precipitações, para cada tipo de disposição, foram calculadas seguindo as orientações de Gomes (1994) como a seguir:

disposição quadrada,

$$I = \frac{q}{S_1 \times S_2} \quad (1)$$

disposição retangular,

$$I = \frac{q}{S_1 \times S_2} \quad (2)$$

disposição triangular,

$$I = \frac{\sqrt{3}xq}{1.5xS_1^2} \quad (3)$$

em que:

- I = intensidade de aplicação (mm/h);
- q = vazão do aspersor (l/h);
- S₁ = espaçamento na linha (m);
- S₂ = espaçamento entre linhas (m).

O coeficiente de uniformidade de Christiansen foi obtido pela fórmula:

$$CUC = 100 \times \left(1,0 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right) \quad (4)$$

em que:

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen, expresso em porcentagem;

X_i = Altura de precipitação coletada no *i*ésimo coletor;

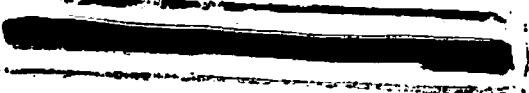
\bar{X} = Altura de precipitação média dos coletores;

$\sum |X_i - \bar{X}|$ = Somatório dos desvios absolutos dos valores de X_i em relação à média \bar{X} ;

n = Número de coletores.

3.6 Diâmetro de gotas

Para a realização destes testes foram utilizadas as recomendações de Vilela (1995), utilizando-se de uma farinha seca em estufa a 105^o C, peneirada em abertura de 0,297 mm cuja curva de calibração foi gerada pelo autor.


$$D = 1,0874 P^{0,364412}$$

(5)

em que:

D = diâmetro da gota (mm)

P = peso médio do grânulo (mg)

Para o aspersor Mercury foram avaliados três valores de pressão de serviço 250, 350, 450 kPa para os bocais 16 e 20 mm e pressões de serviço 300, 400 e 500 kPa para o bocal de 22 mm, com as mesmas características de montagem para o teste de uniformidade descrito anteriormente.

O método baseia-se na coleta de gotas produzidas pelo aspersor onde a farinha é acondicionada em recipientes de vidro com 0,15 m de diâmetro e 0,04 m de altura, alinhadas e espaçadas de 4 em 4m em relação ao centro do aspersor, para o bocal de 16 mm; de 5 em 5 m para o bocal de 20 mm e de 7 em 7 m para o bocal de 22 mm. Os recipientes foram colocados sobre suportes de madeira a 0,70 m do solo, para evitar respingos.

Após o jato de água passar pelo recipiente promove-se a retirada dos mesmos, deixando-os duas horas ao ar livre para formação dos grânulos. Depois os recipientes são conduzidos à estufa onde permanecem por um período de 24 horas a 105^o C.

Posteriormente a farinha é peneirada em um jogo de peneiras de malhas 4,75; 4,00; 2,80; 1,70; 1,18; 1,00; 0,85; 0,60 e 0,425 mm, de onde são separados, pesados e contados os grânulos de mesmo diâmetro, em cada recipiente relativo a cada posição. Com esses valores e com base na curva de calibração obtida por Vilela (1995) e utilizada por Rocha (1998), determinou-se o diâmetro médio das gotas para cada pressão de serviço utilizada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relação vazão versus pressão.

Nas figuras 2, 3, 4 e 5 são apresentadas as equações potenciais ajustadas e os respectivos coeficientes de determinação. Para cada modelo e bocal, têm-se cinco valores de pressão e vazão.

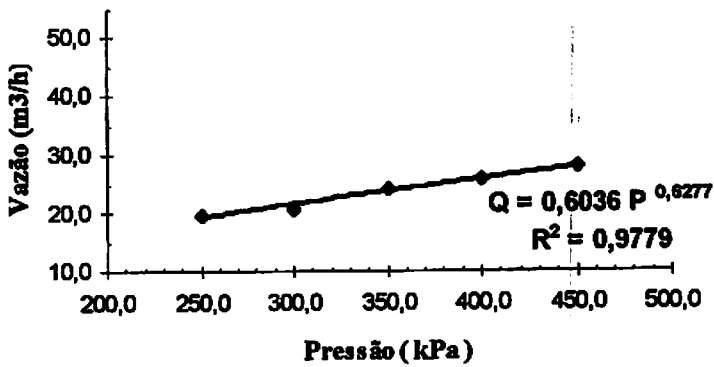


FIGURA 2. Vazão do aspersor modelo Mercury bocal 16 mm em função da pressão.

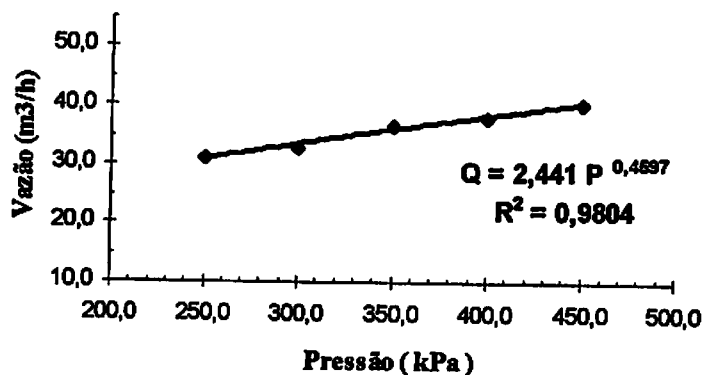


FIGURA 3. Vazão do aspersor modelo Mercury, bocal 20 mm, em função da pressão.

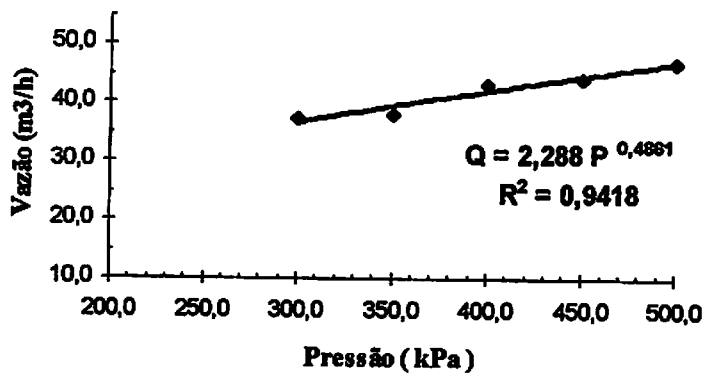


FIGURA 4. Vazão do aspersor modelo Mercury, bocal 22 mm, em função da pressão.

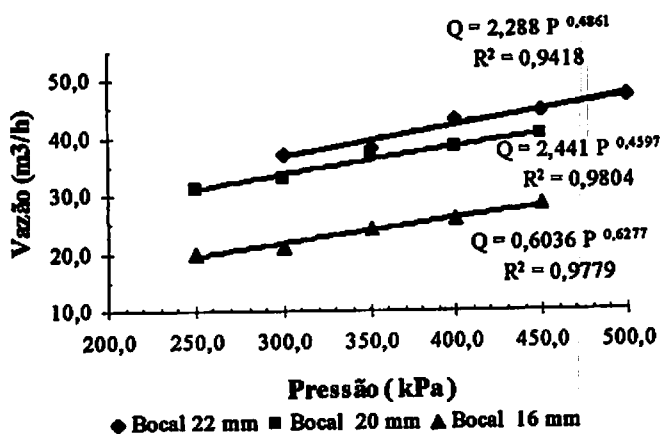


FIGURA 5. Dados comparativos da equação característica da vazão em função da pressão para o aspersor Mercury, bocais 16, 20 e 22 mm.

A equação potencial amplamente empregada ajustou-se muito bem aos dados. Os valores das vazões observadas durante a realização dos testes e suas comparações com os fornecidos pelo fabricante, em função da pressão, são apresentados na Tabela 3, ressaltando-se que, para alguns valores de pressão, o fabricante não disponibilizou informações. De um modo geral, a diferença constatada foi inferior a 5%, fato que pode ser considerado satisfatório para as escalas de vazões trabalhadas.

O valor do expoente da equação potencial permite avaliar o grau de susceptibilidade de variação da vazão em decorrência da variação da pressão de serviço. Sendo assim, pode-se afirmar, de acordo com a Figura 5, que o aspersor com bocal de 16 mm é mais susceptível às variações de pressão que o que apresenta bocal de 20 mm, sendo o último mais favorável em termos de dimensionamento hidráulico, no tocante à variação de vazão ao longo da linha de irrigação.

TABELA 3. Valores das vazões (m³/h) em função da pressão de trabalho, observadas no ensaio e fornecidas pelo fabricante, e correspondente variação, para os diferentes bocais do aspersor Mercury.

Aspersor Mercury Diâm. Bocais (mm)	Pressão (kPa)														
	300			350			400			450			500		
	Vazão (m ³ /h)														
	Obs.	Fab.	Var. %	Obs.	Fab.	Var. %	Obs.	Fab.	Var. %	Obs.	Fab.	Var. %	Obs.	Fab.	Var. %
16	20,90	21,80	-4,12	24,20	---	---	25,84	25,20	+2,40	28,12	---	---	---	---	---
20	32,90	32,30	+1,80	36,80	---	---	38,20	37,60	+1,50	40,40	---	---	---	---	---
22	37,20	36,50	+1,80	38,00	---	---	43,20	42,30	+2,00	44,30	---	---	47,00	47,30	-0,60

Nota: Obs.- valores observados durante o ensaio; Fab. - valores fornecidos pelo fabricante; Var. -% de variação entre os valores.

4.2 Raio de alcance

Os raios de alcance observados e os fornecidos pelo fabricante para o aspersor Mercury, são apresentados na Tabela 4.

Em geral, o raio de alcance observado para o aspersor apresentou valores superiores ao fornecido pelo fabricante da ordem de 5% a 11,5%. Esse acréscimo não acarreta prejuízo no dimensionamento das laterais de irrigação, pois está a favor da segurança. Entretanto deve-se ressaltar que esse aumento pode ter sido obtido devido ao aspersor estar fixado a uma altura de tripé de 1,70 m, podendo estar divergindo da altura utilizada pelo fabricante italiano em seus testes, a qual não foi informada .

TABELA 4. Raio de alcance (m) do aspersor modelo Mercury.

		Raio de Alcance (m)				
Bocal (mm)		Pressões (kPa)				
		250	300	350	400	450
16	Observ.	30	32	34	36	38
	Fab.	—	28	—	32	—
	Var. %	—	+12,5	—	+11,1	—
20	Observ.	32	36	38	40	42
	Fab.	—	34	—	37,5	—
	Var. %	—	+5,55	—	+6,25	—
22	Observ.	38	40	42	46	48
	Fab.	36	—	39	—	43
	Var. %	+5,26	—	+7,14	—	+10,41

4.3 Perfil de distribuição de água.

Nas Figuras 6 a 20 são apresentados os perfis de distribuição das intensidades de precipitação para o modelo Mercury de acordo com o bocal e a pressão estabelecidos.

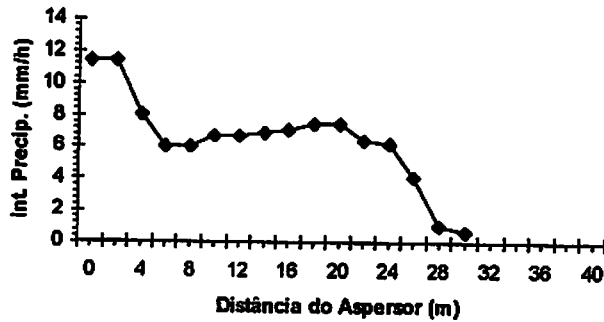


FIGURA 6. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 16 mm e pressão de 250 kPa.

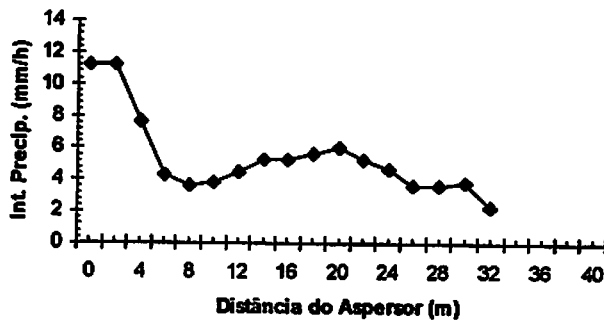


FIGURA 7. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 16 mm e pressão de 300 kPa.

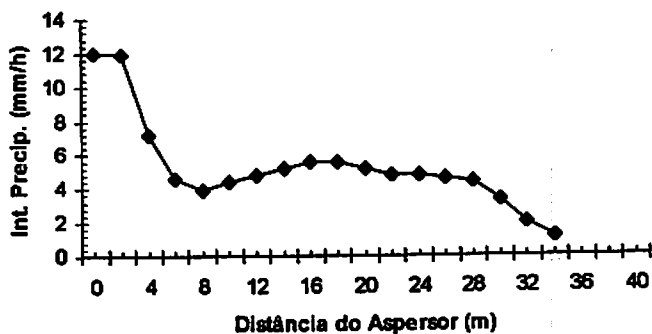


FIGURA 8. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 16 mm e pressão de 350 kPa.

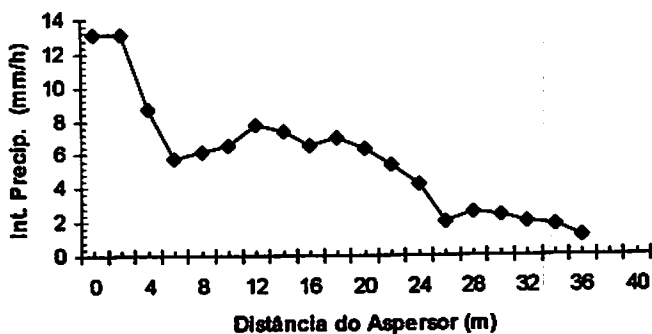


FIGURA 9. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 16 mm e pressão de 400 kPa.

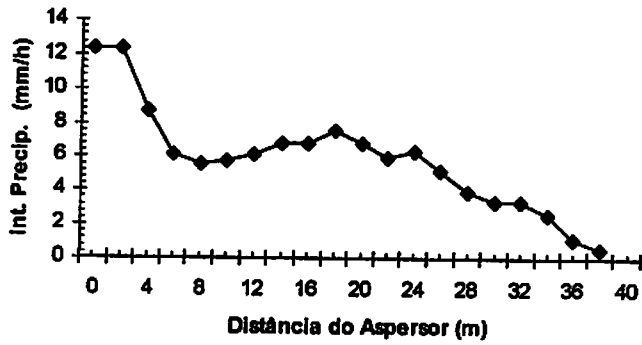


FIGURA 10. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 16 mm e pressão de 450 kPa.

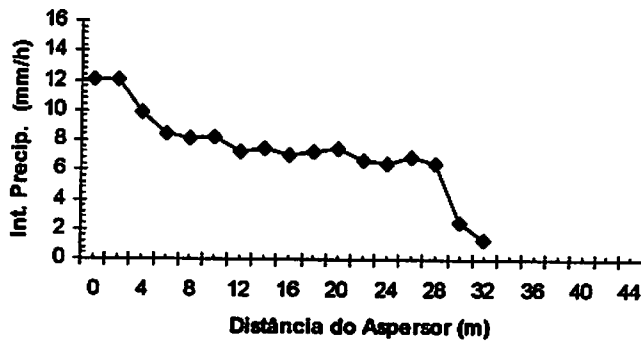


FIGURA 11. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 20 mm e pressão de 250 kPa.

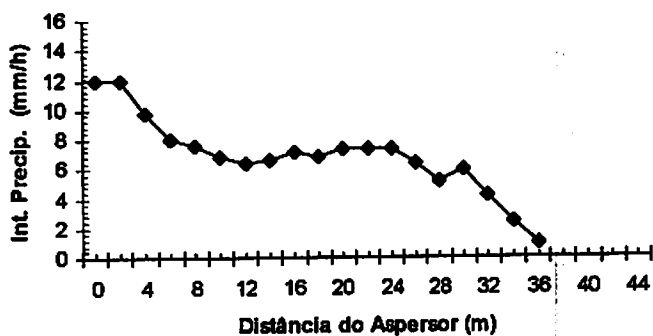


FIGURA 12. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 20 mm e pressão de 300 kPa.

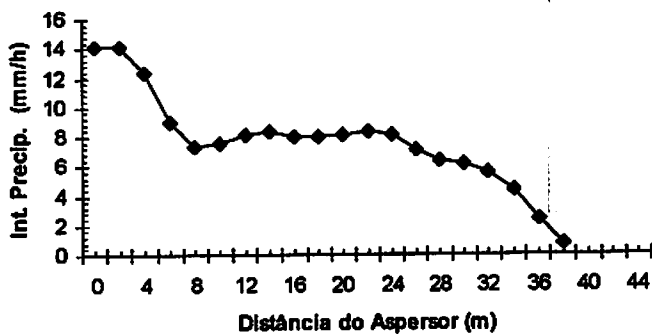


FIGURA 13. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 20 mm e pressão de 350 kPa.

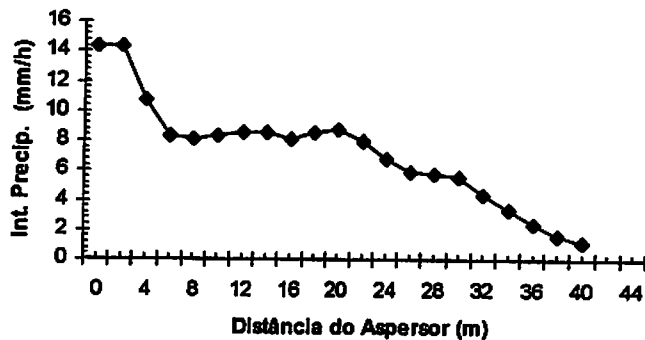


FIGURA 14. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 20 mm e pressão de 400 kPa.

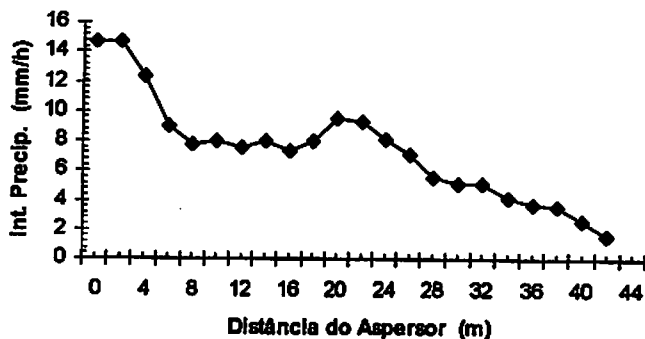


FIGURA 15. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 20 mm e pressão de 450 kPa.

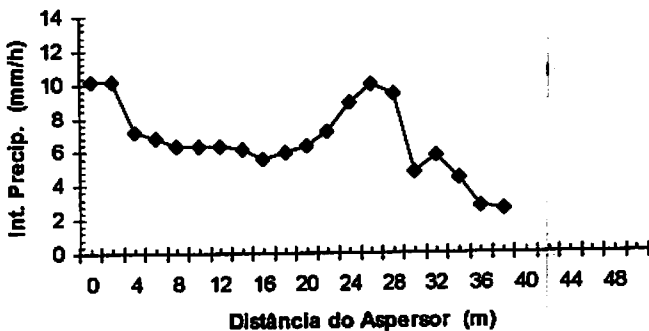


FIGURA 16. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 22 mm e pressão de 300 kPa.

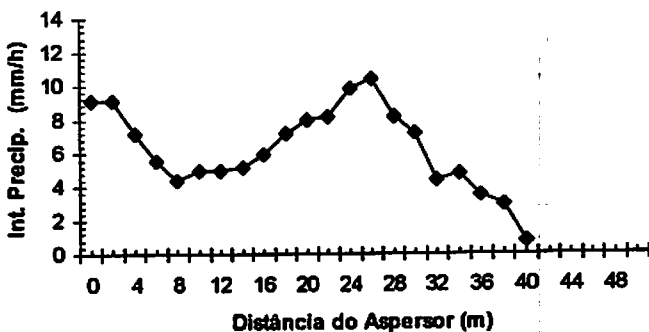


FIGURA 17. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 22 mm e pressão de 350 kPa.

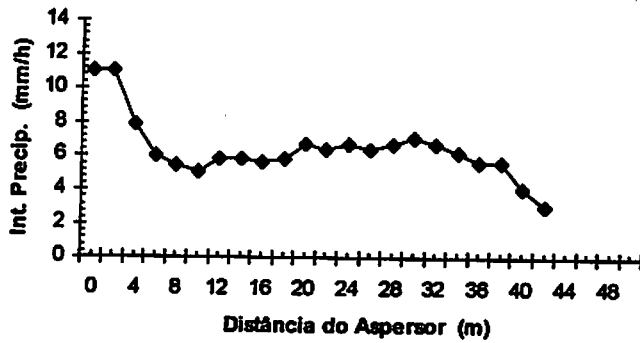


FIGURA 18. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 22 mm e pressão de 400 kPa.

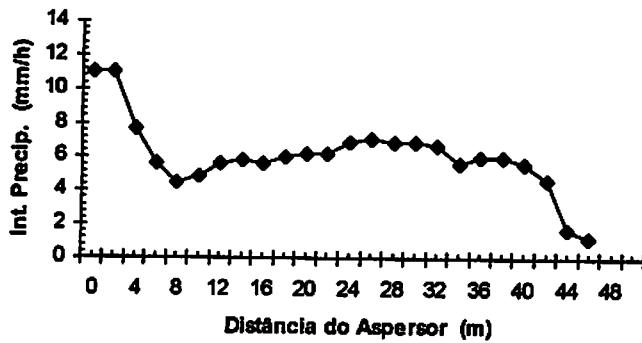


FIGURA 19. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 22 mm e pressão de 450 kPa.

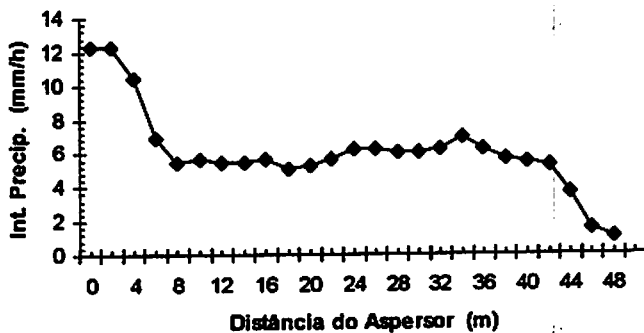


FIGURA 20. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 22 mm e pressão de 500 kPa.

Observou-se, para todos os bocais, uma mudança do perfil de distribuição da intensidade de precipitação de uma situação pior, para uma melhor, à medida que se aumentou a pressão de serviço. Observa-se claramente para o bocal 16 mm, a transformação de perfil de um tipo "D" para um tipo "C" (Tabela 1).

Aspersores de grande porte, trabalhando com baixa pressão de serviço, apresentam uma quebra do jato deficiente e conseqüentemente um espectro de gotas de maior diâmetro, originando uma precipitação maior, localizada a aproximadamente 50% do raio de alcance a partir do aspersor. Com isso o perfil do tipo "doughnut" é caracterizado nessas situações.

Foi caracterizado para o bocal 22 mm, a formação de perfil de distribuição do tipo "doughnut" para baixas pressões de serviço.

4.4 Velocidade de rotação

Na Figura 21 são apresentados valores de rotação por bocal e pressão.

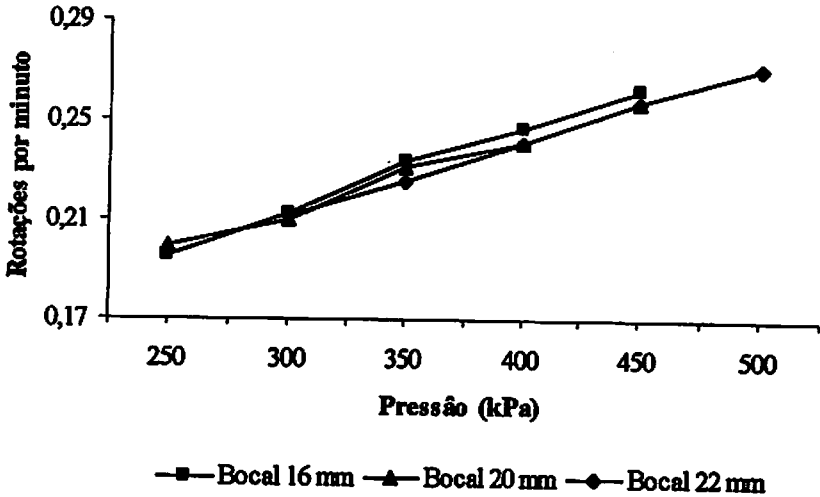


FIGURA 21. Velocidade de Rotação do aspersor Mercury, em função da pressão e do diâmetro do bocal.

Pela Figura 21 pode-se observar um aumento uniforme da rotação, à medida que se aumentam as pressões de serviço e para os bocais de diâmetros maiores a rotação tende a ser mais uniforme. Em geral, todos bocais apresentaram velocidade de rotação inferior a 0,5 rotação por minuto que, de acordo com (Bernardo, 1995), é ideal para aspersores de grande porte.

A uniformidade de rotação para os quadrantes (Tabela 5) foi adequada, demonstrando a eficiência do sistema mecânico do tipo turbina. Sua principal vantagem é comprovada pela uniformidade dos tempos por quadrante garantindo uma melhor distribuição segundo Pair (1968).

TABELA 5. Tempo de rotação por quadrante do aspersor modelo Mercury.

Aspersor Mercury		Tempo por Quadrante (min)			
Bocal (mm)	Pressão (kPa)	I	II	III	IV
16	250	0:01:17	0:01:17	0:01:18	0:01:15
	300	0:01:10	0:01:09	0:01:12	0:01:11
	350	0:01:05	0:01:03	0:01:05	0:01:04
	400	0:01:00	0:01:01	0:01:00	0:01:02
	450	0:00:57	0:00:58	0:00:57	0:00:57
20	250	0:01:15	0:01:16	0:01:14	0:01:16
	300	0:01:12	0:01:14	0:01:10	0:01:10
	350	0:01:03	0:01:06	0:01:05	0:01:05
	400	0:01:01	0:01:04	0:01:01	0:01:03
	450	0:00:56	0:00:59	0:01:02	0:00:56
22	300	0:01:09	0:01:12	0:01:10	0:01:12
	350	0:01:07	0:01:07	0:01:07	0:01:05
	400	0:01:05	0:01:02	0:01:00	0:01:02
	450	0:00:56	0:00:59	0:01:02	0:00:56
	500	0:00:55	0:00:55	0:00:54	0:00:57

O aspersor Mercury apresentou em todos os ensaios, rotação inferior à máxima (3,0 rpm), preconizada pela norma ISO 7749-1 de 1995, para realização dos testes.

4.5 Coeficientes de Uniformidade de Cristhiansen para as diferentes disposições e espaçamentos.

Os resultados dos coeficientes de uniformidade de Cristhiansen para as disposições retangulares e triangulares em diferentes espaçamentos estão apresentados nas Tabelas 6, 7, 8, 9, 10 e 11 onde também estão inseridos os valores de intensidade de precipitação, calculados segundo Gomes (1994).

Para a disposição retangular o maior espaçamento considerado foi entre linhas e na disposição triangular o maior espaçamento na linha de aspersores.

De um modo geral, as combinações de espaçamento que resultem em coeficientes de uniformidade, acima de 80%, são recomendados.

Os dados de intensidade de precipitação, fornecidos pelo catálogo do fabricante (Tabela 2A), não apresentam os valores de coeficiente de uniformidade, além de considerar espaçamentos entre aspersores, que não são múltiplos de 6 m. O cálculo de intensidade de precipitação para disposição triangular, segundo o fabricante, é obtido com a divisão dos valores de vazão pela multiplicação do espaçamento na linha e entre linhas dos aspersores, divergindo dos resultados obtidos seguindo as recomendações de Gomes (1994).

TABELA 8. Intensidade média de precipitação (mm/h) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para diferentes combinações de pressão e espaçamentos retangulares para o aspersor Mercury bocal 20 mm.

Bocal mm	Pressão kPa	Vazão m ³ /h L/s	Raio m	I unif. mm/h	ESPAÇAMENTOS EM DISPOSIÇÃO RETANGULAR S ₁ x S ₂												I N T E N S I D A D E mm/h	C U C	
					18 x 24	24 x 24	30 x 30	36 x 36	42 x 42	48 x 48	54 x 54	60 x 60	66 x 66	72 x 72	78 x 78	84 x 84			
20	250	31.1 8.64	32	9.70	43.2 *91.5	34.5 *86.9	28.8 *82.9	24.0 *83.0	20.6 *83.0	17.6 *80.8	15.6 *77.0	13.5 *77.5	12.0 *77.9						
	300	37.9 9.15	36	8.09		36.6 *94.6	30.5 *86.8	25.4 *82.8	21.8 *83.2	18.7 *82.9	16.3 *82.4	14.3 *80.2	12.7 *77.2	11.3 *77.6	10.1 *79.0	9.15 *78.1			
	350	36.8 10.2	38	8.09			34.0 *89.3	28.3 *83.1	24.3 *84.2	20.8 *84.2	18.2 *85.6	15.9 *83.1	14.2 *80.9	12.3 *78.7	11.5 *78.9	10.2 *80.6	9.3 *75.3		
	400	38.2 10.6	40	7.60				29.4 *89.7	25.2 *88.0	21.6 *87.9	18.9 *80.1	16.6 *89.0	14.7 *88.0	13.1 *86.1	11.8 *84.1	10.6 *81.1	9.6 *74.7	8.8 *70.3	
	450	40.4 11.2	42	7.30				31.1 *91.9	26.6 *87.2	22.8 *84.3	20.0 *85.8	17.5 *86.2	15.5 *86.7	13.8 *85.7	12.4 *83.7	11.2 *82.3	10.2 *80.9	9.2 *80.9	

VALORES DE CUC ABAIXO DE 80% NÃO SÃO RECOMENDADOS
S₁ - ESPAÇAMENTO NA LINHA S₂ - ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS

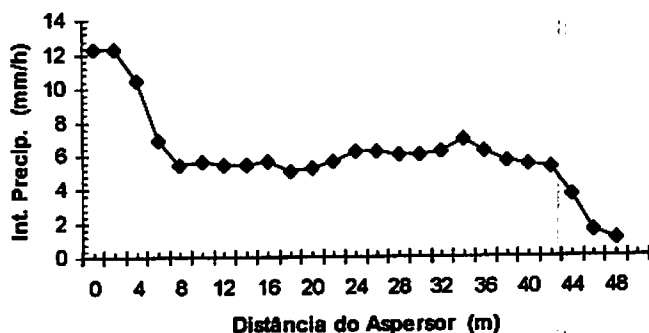


FIGURA 20. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 22 mm e pressão de 500 kPa.

Observou-se, para todos os bocais, uma mudança do perfil de distribuição da intensidade de precipitação de uma situação pior, para uma melhor, à medida que se aumentou a pressão de serviço. Observa-se claramente para o bocal 16 mm, a transformação de perfil de um tipo "D" para um tipo "C" (Tabela 1).

Aspersores de grande porte, trabalhando com baixa pressão de serviço, apresentam uma quebra do jato deficiente e conseqüentemente um espectro de gotas de maior diâmetro, originando uma precipitação maior, localizada a aproximadamente 50% do raio de alcance a partir do aspersor. Com isso o perfil do tipo "doughnut" é caracterizado nessas situações.

Foi caracterizado para o bocal 22 mm, a formação de perfil de distribuição do tipo "doughnut" para baixas pressões de serviço.

4.4 Velocidade de rotação

Na Figura 21 são apresentados valores de rotação por bocal e pressão.

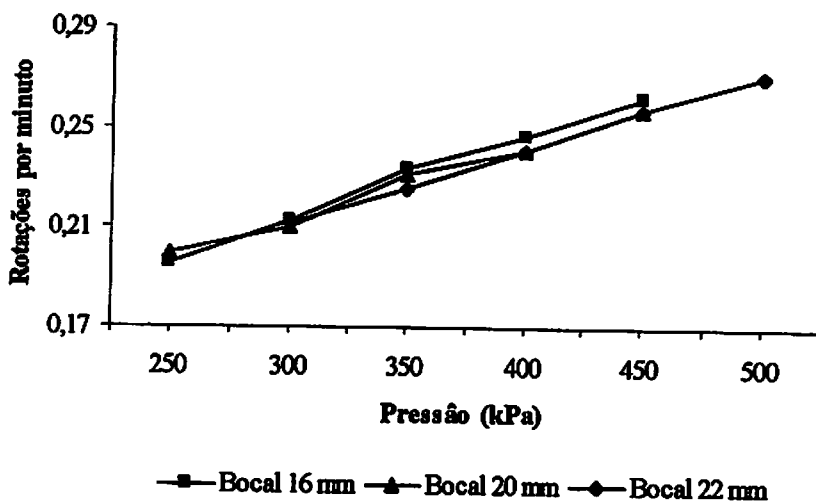


FIGURA 21. Velocidade de Rotação do aspersor Mercury, em função da pressão e do diâmetro do bocal.

Pela Figura 21 pode-se observar um aumento uniforme da rotação, à medida que se aumentam as pressões de serviço e para os bocais de diâmetros maiores a rotação tende a ser mais uniforme. Em geral, todos bocais apresentaram velocidade de rotação inferior a 0,5 rotação por minuto que, de acordo com (Bernardo, 1995), é ideal para aspersores de grande porte.

A uniformidade de rotação para os quadrantes (Tabela 5) foi adequada, demonstrando a eficiência do sistema mecânico do tipo turbina. Sua principal vantagem é comprovada pela uniformidade dos tempos por quadrante garantindo uma melhor distribuição segundo Pair (1968).

TABELA 5. Tempo de rotação por quadrante do aspersor modelo Mercury.

Aspersor Mercury		Tempo por Quadrante (min)			
Bocal (mm)	Pressão (kPa)	I	II	III	IV
16	250	0:01:17	0:01:17	0:01:18	0:01:15
	300	0:01:10	0:01:09	0:01:12	0:01:11
	350	0:01:05	0:01:03	0:01:05	0:01:04
	400	0:01:00	0:01:01	0:01:00	0:01:02
	450	0:00:57	0:00:58	0:00:57	0:00:57
20	250	0:01:15	0:01:16	0:01:14	0:01:16
	300	0:01:12	0:01:14	0:01:10	0:01:10
	350	0:01:03	0:01:06	0:01:05	0:01:05
	400	0:01:01	0:01:04	0:01:01	0:01:03
	450	0:00:56	0:00:59	0:01:02	0:00:56
22	300	0:01:09	0:01:12	0:01:10	0:01:12
	350	0:01:07	0:01:07	0:01:07	0:01:05
	400	0:01:05	0:01:02	0:01:00	0:01:02
	450	0:00:56	0:00:59	0:01:02	0:00:56
	500	0:00:55	0:00:55	0:00:54	0:00:57

O aspersor Mercury apresentou em todos os ensaios, rotação inferior à máxima (3,0 rpm), preconizada pela norma ISO 7749-1 de 1995, para realização dos testes.

4.5 Coeficientes de Uniformidade de Cristhiansen para as diferentes disposições e espaçamentos.

Os resultados dos coeficientes de uniformidade de Cristhiansen para as disposições retangulares e triangulares em diferentes espaçamentos estão apresentados nas Tabelas 6, 7, 8, 9, 10 e 11 onde também estão inseridos os valores de intensidade de precipitação, calculados segundo Gomes (1994).

Para a disposição retangular o maior espaçamento considerado foi entre linhas e na disposição triangular o maior espaçamento na linha de aspersores.

De um modo geral, as combinações de espaçamento que resultem em coeficientes de uniformidade, acima de 80%, são recomendados.

Os dados de intensidade de precipitação, fornecidos pelo catálogo do fabricante (Tabela 2A), não apresentam os valores de coeficiente de uniformidade, além de considerar espaçamentos entre aspersores, que não são múltiplos de 6 m. O cálculo de intensidade de precipitação para disposição triangular, segundo o fabricante, é obtido com a divisão dos valores de vazão pela multiplicação do espaçamento na linha e entre linhas dos aspersores, divergindo dos resultados obtidos seguindo as recomendações de Gomes (1994).

TABELA 6. Intensidade média de precipitação (mm/h) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para diferentes combinações de pressão e espaçamentos retangulares para o aspersor Mercury bocal 16 mm.

Bocal mm	Pressão MPa	Vazão m ³ /h L/s	Razão m	I mm/h mm/s	ESPAÇAMENTOS EM DISPOSIÇÃO RETANGULAR S ₁ S ₂												I N T E N S I D A D E mm/h	C U C		
					18 x 24	24 x 24	24 x 30	30 x 30	30 x 36	36 x 36	36 x 42	42 x 42	42 x 48	48 x 48	48 x 54	54 x 60			60 x 60	60 x 66
16	250	19,7 5,48	30	7,00	45,6 *93,6	34,2 *93,3	27,4 *83,8	21,9 *79,7	18,3 *82,9	15,2 *77,5	13,0 *75,2									
	300	20,9 5,80	32	6,50			29,0 *89,7	23,2 *85,4	19,3 *79,6	16,1 *80,0	13,8 *79,9	11,8 *78,1	10,3 *76,2	9,0 *71,9						
	350	24,2 6,74	34	6,70			33,7 *91,6	26,9 *87,8	22,4 *82,9	18,7 *80,9	16,0 *82,6	13,7 *80,2	12,0 *79,1	10,5 *76,4	9,3 *75,3					
	400	25,84 7,18	36	6,30			35,9 *93,2	28,7 *91,3	23,9 *88,6	19,9 *87,2	17,1 *88,9	14,6 *89,7	12,8 *86,3	11,2 *83,3	10,0 *78,4	8,9 *73,9	8,0 *68,5	7,2 *63,0	6,3 *61,0	
	450	28,12 7,81	38	6,20			39,0 *94,4	31,2 *94,2	26,0 *87,6	21,7 *84,2	18,6 *84,8	15,9 *83,8	13,9 *85,7	12,2 *84,1	10,8 *81,6	9,6 *81,6	8,7 *79,2	7,81 *75,8	7,1 *67,7	6,4 *61,8

VALORES DE CUC ABAIXO DE 80% NÃO SÃO RECOMENDADOS
S₁ - ESPAÇAMENTO NA LINHA S₂ - ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS

TABELA 8. Intensidade média de precipitação (mm/h) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para diferentes combinações de pressão e espaçamentos retangulares para o aspersor Mercury bocal 20 mm.

Bocal mm	Pressão kPa	Vazão m ³ /h L/s	Raio m	I unif. mm/h	ESPACAMENTOS EM DISPOSIÇÃO RETANGULAR S ₁ x S ₂												I N T E N S I D A D E mm/h	C U C
					24 x 24	24 x 30	30 x 30	30 x 36	36 x 36	36 x 42	42 x 42	42 x 48	48 x 48	48 x 54	54 x 54	54 x 60		
250	31,3 8,64	240 83,3	32	9,70	42,2 91,5	34,5 86,9	28,8 82,9	20,6 85,0	17,6 80,8	15,4 77,0	13,5 73,5	12,0 70,0						
						36,6 94,6	30,5 86,8	25,4 82,8	21,8 83,2	18,7 82,9	16,3 82,4	14,3 80,2	12,7 77,2	11,3 75,6	10,1 79,0	9,15 77,1		
300	32,9 9,15	300 83,3	36	8,09														
350	36,8 10,3	283 83,1	38	8,09														
400	38,2 10,6	294 89,7	40	7,60														
450	40,4 11,2	311 91,9	42	7,30														

VALORES DE CUC ABAIXO DE 80% NÃO SÃO RECOMENDADOS
S₁ - ESPAÇAMENTO NA LINHA S₂ - ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS

TABELA 10. Intensidade média de precipitação (mm/h) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para diferentes combinações de pressão e espaçamentos retangulares para o aspersor Mercury bocal 22 mm.

Bocal mm	Pressão KPa	Vazão m ³ /h L/s	Raio m	I unif. mm/h	ESPAÇAMENTOS EM DISPOSIÇÃO RETANGULAR S ₁ x S ₂												I N T E N S I D A D E mm/h	C U C	
					18 x 24	24 x 30	30 x 30	30 x 36	36 x 36	42 x 42	42 x 48	48 x 48	48 x 54	54 x 54	54 x 60	60 x 60			60 x 66
22	300	37.2 10.34	38	8.20	41.4 *93.4	34.4 *86.0	28.7 *82.8	24.6 *78.7	21.1 *77.0	18.4 *75.4	16.1 *73.2								
	350	38.0 10.56	40	7.55	42.2 *94.6	35.2 *86.3	29.3 *82.1	25.1 *76.3	21.5 *73.6	18.8 *71.9	16.5 *68.5								
	480	43.2 12.0	42	7.80		40.0 *91.0	33.3 *84.7	28.6 *81.5	24.5 *81.5	21.4 *78.8	18.7 *77.8	16.6 *80.1	14.8 *77.1	13.3 *75.3	12.0 *72.4	10.9 *70.1			
	450	44.3 12.3	46	6.70			29.3 *90.2	25.1 *84.2	21.9 *80.5	19.2 *77.3	17.1 *76.3	15.2 *78.4	13.7 *76.9	12.3 *73.1	11.2 *71.8	10.2 *70.8			
	500	47.0 13.05	48	6.50				31.1 *91.8	26.6 *88.2	23.3 *83.5	20.4 *80.3	18.3 *78.9	16.1 *79.6	14.5 *80.4	13.0 *77.1	11.8 *74.6	10.6 *72.0		

VALORES DE CUC ABAIXO DE 80% NÃO SÃO RECOMENDADOS
S₁ - ESPAÇAMENTO NA LINHA S₂ - ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS

A formação de perfis do tipo "doughnut" para aspersores de grande porte, produz aspectos interessantes na sobreposição dos mesmos. Observa-se nas tabelas de 6 a 11, para as disposições retangulares e triangulares, que os valores de CUC não seguem um comportamento regular, ou seja, são comuns valores de coeficiente de uniformidade alternarem ora acima, ora abaixo de 80%. Assim a tabela apresenta uma alternância de espaçamentos recomendados e não recomendados.

De acordo com as Figuras 22, 23, 24 e 25 pode-se analisar a influência de áreas de maior precipitação quando sobrepõem áreas de menor (Figura 22), que resultam em uma melhor distribuição. Entretanto, quando as mesmas áreas sobrepõem áreas também de maior precipitação (Figura 23), tem-se uma distribuição irregular resultando em coeficientes de uniformidade abaixo de 80%. Em seguida, observa-se uma melhoria crescente na distribuição (Figuras 24 e 25), o que explica a variação do coeficiente de uniformidade entre espaçamentos.

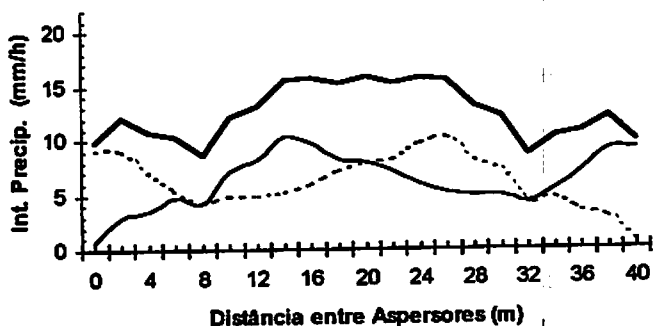


FIGURA 22. Sobreposição para aspersores com perfil do tipo "doughnut", espaçados de 40 m.

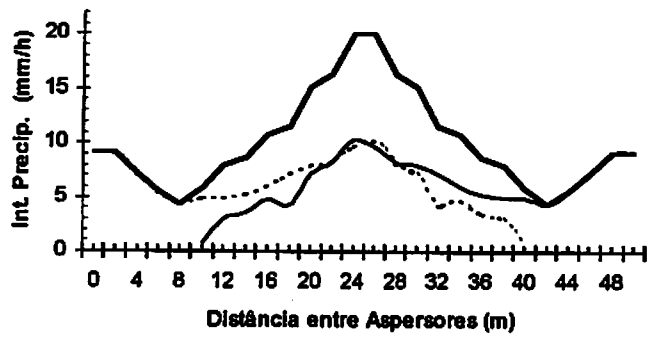


FIGURA 23. Sobreposição para aspersores com perfil do tipo "doughnut", espaçados de 50 m.

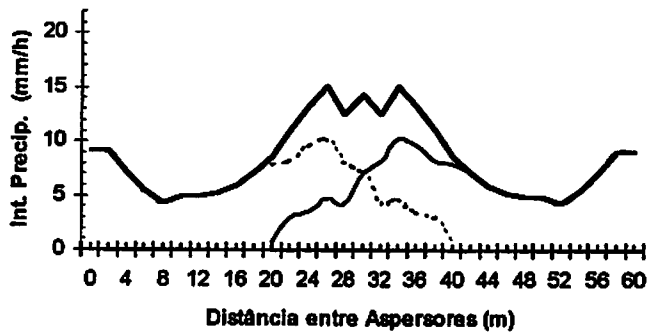


FIGURA 24. Sobreposição para aspersores com perfil do tipo "doughnut", espaçados de 60 m.

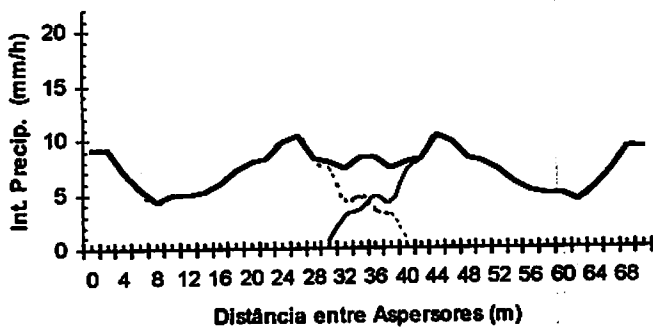


FIGURA 25. Sobreposição para aspersores com perfil do tipo "doughnut", espaçados de 70 m.

Em relação à recomendação de se utilizar 60% do diâmetro molhado em condições de vento de 0 a 2 m/s, o mesmo pode ser contestado na aplicação de aspersores que apresentam perfil de distribuição do tipo "doughnut".

4.6 Diâmetro de gotas

Os resultados em relação ao diâmetro médio de gotas do aspersor "Mercury" para três valores de pressão de serviço e três bocais são apresentados nas Figuras 26 a 28. A análise dos mesmos permite constatar que o aumento na pressão de serviço promove a diminuição dos diâmetros médios das gotas, estando de acordo com o afirmado por Carvalho (1991).

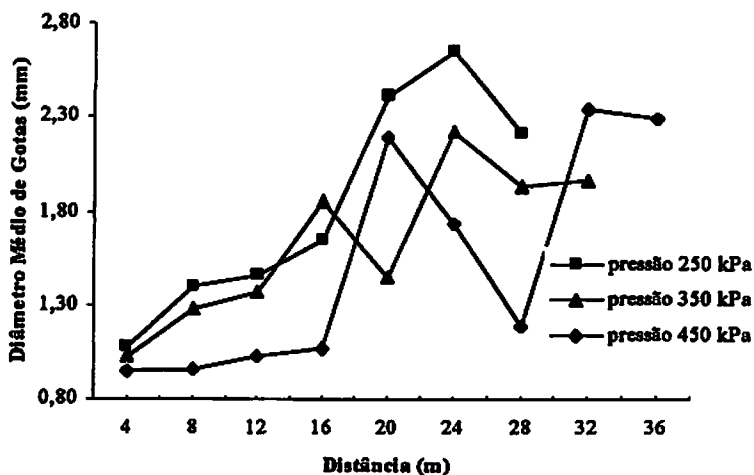


FIGURA 26. Variação do diâmetro médio de gotas ao longo do raio de alcance do aspersor, para o bocal 16 mm e pressões de serviço 250, 350 e 450 kPa.

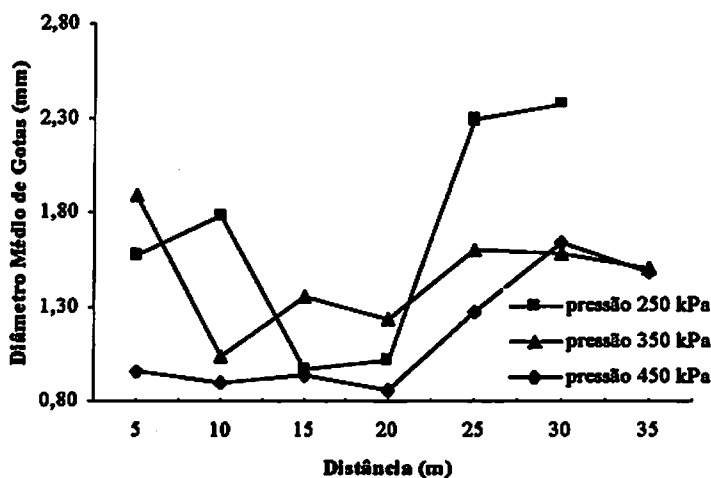


FIGURA 27. Variação do diâmetro médio de gotas ao longo do raio de alcance do aspersor, para o bocal 20 mm e pressões de serviço 250, 350 e 450 kPa.

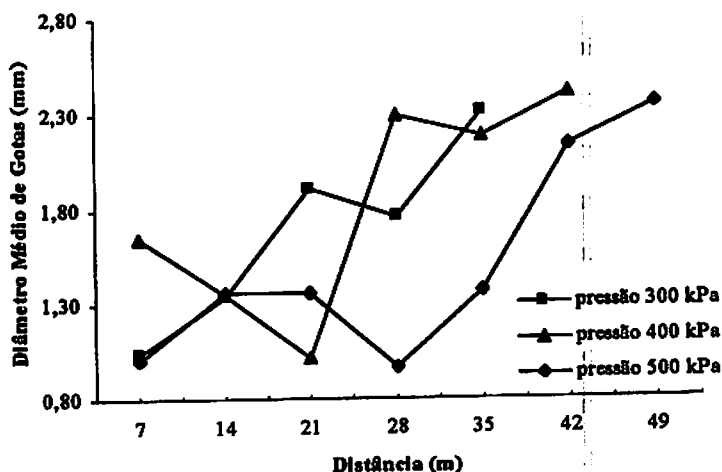


FIGURA 28. Variação do diâmetro médio de gotas ao longo do raio de alcance do aspersor, para o bocal 22 mm e pressões de serviço 300, 400 e 500 kPa.

O comportamento padrão estabelecido para os aspersores, de que com o aumento do raio molhado têm-se um crescimento do diâmetro médio de gotas, não pode ser aplicado para aspersores de médio porte, onde se constatou a existência de vários diâmetros de gotas ao longo do raio molhado, caracterizando um comportamento sem uniformidade o que também foi constatado por Matsura (1993).

Rocha (1998), testando um aspersor "Skipper" com bocal 12 mm e pressões 200 kPa e 250 kPa, considerado como aspersor de pequeno porte e mesmo sistema de rotação do tipo turbina, apresentou uma amplitude de diâmetros médios de gotas entre 1 mm e 4 mm, sendo os mesmos crescentes com o afastamento do aspersor.

Segundo Ollita (1977), os diâmetros médios de gotas não devem ultrapassar 4 mm, a fim de evitar a formação de incrustações na superfície do

solo e os danos nas folhas das plantas. Por outro lado, gotas de diâmetros médios menores que 1mm são facilmente levadas pelo vento afetando diretamente a uniformidade de distribuição.

Para todos bocais foram observados diâmetros médios de gotas inferiores a 2,5 mm, o que demonstra a eficiência do sistema de rotação tipo turbina e sua quebra do jato para o aspersor de médio porte, em relação ao consagrado sistema de braço oscilante, cujo espectro de gotas apresenta uma grande amplitude. Isso permite concluir que o aspersor "Mercury" com os bocais e pressões testados, apresenta uma boa adequação aos parâmetros de diâmetros médios de gotas e que provavelmente não ocasionarão prejuízos às culturas e ao solo no qual venham ser utilizados para irrigação.

Os valores do Grau de Pulverização para os bocais e pressões testados, estão na Tabela 12, e são todos inferiores a 3, o que segundo a classificação descrita por Tanda (1957), representa uma chuva grossa e destinada exclusivamente para a cultura de pastagem. Entretanto, com a amplitude do diâmetro médio de gotas observados associado às recomendações de Pereira, Lima e Muniz (1996), pode-se recomendar sua utilização em culturas consideradas "sensíveis" semelhantes ao feijoeiro.

TABELA 12. Valores de Grau de Pulverização do aspersor modelo Mercury.

Bocal (mm)	Pressão (kPa)					
	250	300	350	400	450	500
	Grau de Pulverização					
16	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	---
20	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	---
22	---	1,4	1,6	1,8	2,0	2,3

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos na avaliação do aspersor "Mercury", conclui-se que:

a) O diâmetro médio de gotas aumentou à medida que se reduziu a pressão de serviço. Entretanto, o comportamento do mesmo não se adapta ao modelo clássico de aumento gradual do diâmetro médio das gotas ao longo do raio de alcance do aspersor.

b) A relação vazão versus pressão foi bem representada pela equação potencial. O aspersor com bocal de 16 mm apresentou um expoente maior em relação aos bocais 20 e 22 mm sendo, portanto, sua vazão mais susceptível às variações de pressão de serviço.

c) Os raios de alcance observados apresentaram um pequeno aumento em relação aos dados fornecidos no catálogo do fabricante.

d) Com a combinação de bocais e pressão descritos, observou-se uma forte tendência ao perfil de distribuição do tipo "doughnut" e retangular.

e) O sistema de rotação do tipo turbina demonstrou boa eficiência, sendo o mesmo apenas influenciado pela pressão de serviço, garantindo assim uma melhor distribuição por quadrantes.

f) Recomenda-se a substituição do catálogo do fabricante pelas tabelas geradas neste trabalho, pois além dos valores de intensidade média de precipitação (mm/h), para os espaçamentos recomendados, apresentam complementarmente, os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen, que sinalizam para se evitar a utilização de espaçamentos associados a valores de CUC abaixo de 80%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. Sprinkler pattern overlap program version 4.60. **System manual**. Logan: USU, 1992. 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aspersores para irrigação / avaliação da distribuição de água**. NBR 8989. São Paulo, ABNT, 1985. 9p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ. 1995. 596 p.
- BRANSCHIED, V. D. HART, W. E. Predicting field distributions of sprinkler systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, 11(6): 801-808, Nov./ Dec. 1968.
- BILANSKI, W. K.; KIDDER, E. H. Factors that affect the distribution of water from a medium-pressure rotary irrigation sprinkler. **Transation of the ASAE**, St. Joseph, v.1, n.1, p.19-28. 1958.
- CARVALHO, J.A. **Tamanho de gotas e uniformidade de distribuição de água de dois aspersores de média pressão**. Viçosa: UFV, 1991. 73 p. (Tese - Mestrado em Irrigação e Drenagem).
- CHEN, D.;WALLENDER, W. W. Economic sprinkler selection, spacing and orientation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.27, n.3, p.737-743, 1984.
- CHRISTIANSEN, J. E. Discussion of "Nonuniformity and sprinkler application efficiency" of David T. Howell. **Journal of the Irrigation and Drainage ASCE**, Ann Arbor, v.91, n.1, p.224-6. 1965.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley, Univ. of California, Experiment Station. 1942, 124p. (Bulletin, 670).
- DEL PINO, M. A. I. T. **Análise do desempenho de três modelos de aspersores escamoteáveis utilizados em irrigação de projetos paisagísticos**. Lavras: UFLA, 1998. 66p.

- FARIA, M. A. de; VIEIRA, J.** Irrigação por aspersão. **INFORME AGROPECUÁRIO**. Belo Horizonte, v.12, n.139, p.27-39. 1986.
- FRIZZONE, J. A.** Uniformidade e eficiência da irrigação. Piracicaba: ESALQ/Departamento de Engenharia Rural, 1998. 40p. (Série Didática).
- GOMES, H.P.** Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. João Pessoa: UFPB, Ed. Univ. 1994. 344 p.
- HART, W. E.** Overhead irrigation pattern parameters. **Agricultural Engineering**. St. Joseph, 42(7): 354-355, 1961.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION.** Agricultural irrigation equipment - rotating sprinklers - Part 1: design and operational requirements. ISO 7749-1. Genève, Switzerland, 1995. 12p.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION.** Agricultural irrigation equipment - rotating sprinklers - Part 2: Uniformity of distribu and test methods. ISO 7749-2. Genève, Switzerland, 1990. 8p.
- KELLER, J.;BLIESNER, R. D.** Sprinkler and trickle irrigation. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.
- KOHL, R.A.** Drop size distribution from medium agricultural sprinklers. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 4, p.690-693, July/Aug. 1974.
- MARTÍN-BENITO, J. M. T.; GÓMEZ, 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.
- MATSURA, E.E.** Granulometria de gotas de um aspersor tipo canhão. In **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 12, Ilhéus, 1993, Anais... Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993. V.5, p.2840-2846.
- OLITTA, A. F.L.** Os métodos de irrigação. São Paulo: Nobel, 1977. 267 p.
- PAIR, C.H.** Water distribution under sprinkler irrigation. **Transations of the ASAE**, St. Joseph, v.11, n. 5, p. 648-651, 1968.

- PEREIRA, G.M.; LIMA,L.A.; MUNIZ, J.A.** Impacto da irrigação por aspersão sobre a queda de flores do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) e sobre o salpico do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, Bauru, 1996. Anais... Bauru: UNESP. 1996.V.1,p. 227.
- ROCHA, W.W.** Influência de ângulos setoriais e pressão de serviço na uniformidade de distribuição de água de um equipamento de irrigação autopropelido. Lavras: UFLA. 1998. 46p. (Tese – Mestrado em Irrigação e Drenagem)
- SATTO, J.** Avaliação do desempenho dos aspersores. São Carlos, 1978. 77 p. (Dissertação de Mestrado).
- SIME.** Aspersores. Catálogo de produtos. [s.n.], 1998. 6p.
- SOLOMON, H.K.; ZOLDOSKE, D.F.; OLIPHANT, J.C.** Laser optical measurement of sprinkler drops sizes. In: ASAE winter meeting, Chicago, 1991. Proceedings... Chicago: ASAE, 1991. p. 87-96.
- TANDA, G.** Considerazioni sugli irrigatori. L'irrigazione, 4(2), 1957.
- TOMAZELA, C.** Otimização do uso de um aspersor tipo canhão em função das características operacionais e velocidade média do vento. Piracicaba, 1996. 59 p. (Dissertação de Doutorado)
- VILAS BÔAS, M. A. V.** Análise de métodos de amostragem da distribuição espacial de água de aspersores rotativos. Lavras: UFLA, 1994. 121p. (Tese – Mestrado em Irrigação e Drenagem)
- VILELA, L.A.** Avaliação do impacto de gotas sobre a superfície de um latossolo vermelho escuro irrigado por aspersão. Lavras: UFLA. 1995. 76p. (Tese – Mestrado em Irrigação e Drenagem)

ANEXOS

ANEXO A

	Página
TABELA 1A Índice de Tanda.....	56
TABELA 2A Dados do aspersor modelo Mercury fornecidos pelo fabricante.....	57

TABELA 1.A Índice de Tanda

Grau de pulverização	Chuva	Sensibilidade	Adequação
< 3	Grossa	Insensíveis	Pastagens
3,1 – 5,0	Semi-grossa	Pouco sensíveis	Cana
5,1 – 5,5	Semi-fina	±Sensíveis	Fruteiras
5,6 – 6,0	Fina	Sensíveis	Feijão, flores
> 6	Finíssima	Muito sensíveis	Hortaliças

Fonte: Tanda (1957)

TABELA 2.A Dados do aspersor modelo "Mercury" fornecidos pelo fabricante.

Diâmetro bocal		Pressão		Raio de alcance		Vazão			Dados p/ cada aspersor		Disposição em quadrado			Disposição em triângulo			
		Kgf/ cm ²	Lb/ pol ²	m	pé	L/min	m ³ /h	gpm	mm/h	Intensidade de precipitação	Distância entre aspersores	Área irrigada	Intensidade precipitação	Dist. entre aspersor na linha	Dist. entre duas linhas	Área irrigada	Dist. entre duas linhas
14	0,55	2	29	24	73	245	14,7	65	1808	8,1	33	1089	13,5	41	36	1476	9,9
		3	44	27	82	299	17,9	79	2289	7,8	38	1444	12,4	46	40	1840	9,7
		4	56	30	91	346	20,7	91	2826	7,4	42	1764	11,7	52	45	2340	8,8
		5	70	33	100	387	23,2	102	3419	6,8	46	2116	10,9	57	49	2793	8,3
		2	29	26	79	297	17,8	78	2123	8,4	36	1296	13,7	45	39	1755	10,1
16	0,63	3	44	28	85	363	21,8	96	2461	8,8	39	1521	14,3	48	42	2016	10,8
		4	56	32	98	420	25,2	111	3215	7,8	45	2025	12,4	55	48	2640	9,5
		5	70	35	107	469	28,1	124	3846	7,3	49	2401	11,7	60	52	3120	9,0
		3	44	32	98	452	27,1	119	3215	8,4	45	2025	13,4	55	48	2640	10,2
		4	56	35	107	527	31,6	139	3846	8,2	49	2401	13,1	60	52	3120	10,1
18	0,71	5	70	38	115	584	35,0	154	4534	7,7	53	2809	12,4	65	57	3705	9,4
		6	85	41	125	645	38,7	170	5281	7,3	57	3249	11,9	71	61	4331	8,9
		3	44	34	104	538	32,3	142	3631	8,9	47	2209	14,6	59	51	3009	10,7
20	0,78	4	56	37,5	114	627	37,6	165	4414	8,5	52	2704	13,9	65	56	3640	10,3
		5	70	41	125	680	40,8	180	5281	7,7	57	3249	12,5	71	61	4331	9,4
		6	85	44,5	138	769	46,1	203	3217	7,4	62	3844	11,9	77	67	5159	8,9