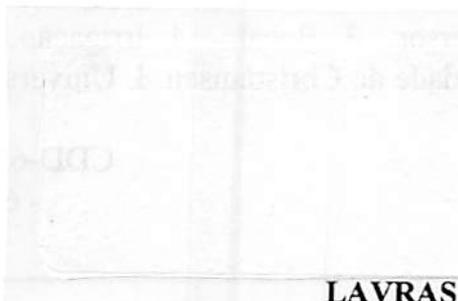


ANTÔNIO CARLOS BARRETO

**EFEITO DA FORMA DO ORIFÍCIO DO BOCAL DE UM ASPERSOR
DE BAIXA PRESSÃO NO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE
CHRISTIENSEN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do Título de "Mestre".

Orientador
Prof. Dr. LUIZ ANTÔNIO LIMA



LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
1997

**Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da
Biblioteca Central da UFLA**

Barreto, Antônio Carlos.

Efeito da forma do orifício do bocal de um aspersor de baixa pressão
no coeficiente de uniformidade de Christiansen / Antônio Carlos Barreto.

- Lavras : UFLA, 1997.

45 p. : il.

Orientador: Luiz Antônio Lima.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Irrigação. 2. Aspersor. 3. Bocal. 4. Irrigação por aspersão.
5. Coeficiente de uniformidade de Christiansen. I. Universidade Federal
de Lavras. II. Título.

CDD-631.587

- 631.7

ANTÔNIO CARLOS BARRETO

**EFEITO DA FORMA DO ORIFÍCIO DO BOCAL DE UM ASPERSOR
DE BAIXA PRESSÃO NO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE
CHRISTIENSEN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do Título de "Mestre".

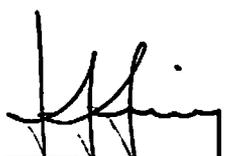
APROVADA em 29 de agosto de 1997



Prof. Dr. Geraldo Magela Pereira



Prof. Dr. Jacinto de Assunção Carvalho



**Prof. Luiz Antônio Lima
(Presidente/Orientador)**

Aos meus pais, Wilson e Carmelita

Aos meus irmãos

Os quais sempre me incentivaram

OFEREÇO

À minha esposa Eliane
pela compreensão, carinho, companheirismo e o apoio incondicional

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus agradecimentos:

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Departamento de Engenharia, pelo acolhimento e oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Luiz Antônio Lima pela orientação , dedicação e especialmente pela amizade, e a todos os mestres pelos ensinamentos transmitidos;

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica, Sr. Lindenberg, Neném e Tânia, pela amizade e apoio durante a realização dos trabalhos.

Aos colegas de curso, em especial à Jane Maria, Othon Carlos e Paulo Marinho, pela amizade e apoio.

Às demais pessoas que, de forma, direta ou indireta, colaboram na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Antônio Carlos Barreto é filho de Wilson Barreto e Carmelita Antônia Barreto. Nasceu em Lavras - MG em 20 de fevereiro de 1967.

Cursou o 1º grau na Escola Estadual Francisco Sales e Escola Estadual Dora Matarazo.

Em dezembro de 1986 concluiu o 2º grau na Escola da Comunidade Juventino Dias CNEC.

Graduou-se em Engenharia Agrícola em julho de 1992, pela Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Em dezembro de 1994 concluiu o período de aperfeiçoamento junto à Universidade Federal de Lavras pelo Departamento de Engenharia, durante o qual desenvolveu um protótipo de carneiro hidráulico em PVC.

Em março de 1995 iniciou o curso de mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Lavras.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5 CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
ANEXO.....	41

LISTA DE QUADROS

QUADRO		Página
1	Geometria dos perfis de precipitação de aspersores e espaçamentos recomendados em percentagem do diâmetro molhado efetivo.....	11
2	Coefficientes de uniformidade de Christiansen (%) para os bocais e formas produzidos pelo fabricante.....	21
3	Pressão (kPa), rotação (rpm) e vazão (l/h) para cada forma de bocal produzidos pelo fabricante.....	24
4	Coefficiente de uniformidade de Christiansen (%) para as formas de orifício produzidos no laboratório.....	26
5	Pressão(kPa), rotação(rpm) e vazão(l/h) para cada forma de orifício de bocal produzida no laboratório.....	32
6	Coefficiente de uniformidade de Christiansen (%) para os bocais de mesma forma de orifício produzidos pelo fabricante e no laboratório.....	33
7	Análise de variância para ROTAÇÃO dos bocais produzidos pelo fabricante.....	42
8	Comparações pelo teste de TUKEY ao nível de 5 %	42

9	Análise de variância para VAZÃO dos bocais produzidos pelo fabricante.....	42
10	Comparações pelo teste de TUKEY ao nível de 5 %	43
11	Análise de variância para ROTAÇÃO dos bocais produzidos no laboratório.....	43
12	Comparações pelo teste de TUKEY ao nível de 5 %	43
13	Análise de variância para VAZÃO dos bocais produzidos no laboratório.....	44
14	Análise de variância para comparação entre os bocais produzidos no laboratório e pelo fabricante.....	44
15	Comparações pelo teste de TUKEY ao nível de 5 %	44
16	Comparações pelo teste de TUKEY ao nível de 5 % CUC.....	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Aspersor SSTEELHEAD da RAIN BIRD utilizado no experimento.....	13
2	Área sombreada a ser substituída por uma nova peça contendo o novo orifício.....	13
3	Novas formas de orifícios avaliadas.....	14
4	Tomada de pressão na <i>Vena Contracta</i> do aspersor.....	15
5	Montagem do aspersor junto ao tubo de subida.....	16
6	Montagem do sistema.....	17
7	Estrutura suporte do coletor.....	18
8	Esquema usado para a simulação da malha de coletores.....	18
9	Dispersão dos volumes coletados para duas situações com e sem campânula.....	21

10	Perfis de distribuição de precipitação desenvolvidos pelo bocal Quadrado(a), Triangular(b) e Circular(c) produzidos pelo fabricante.....	22
11	Perfis tridimensionais de distribuição de precipitação do bocal com orifício Quadrado(a), Triangular(b) e Circular(c), simulando um conjunto de aspersores funcionando simultaneamente.....	25
12	Perfis de distribuição de precipitação desenvolvidos pelos bocais produzidos no laboratório.....	31
13	Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Quadrado.....	34
14	Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Triângular.....	34
15	Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Circular.....	35
16	Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Elíptico.....	35
17	Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício formato Chave.....	36
18	Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Duplo Círculo.....	36
19	Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício $\frac{1}{4}$ do Círculo.....	37
20	Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício $\frac{1}{2}$ Círculo.....	37

RESUMO

BARRETO, Antônio Carlos. Efeito da Forma do Orifício do Bocal de um Aspersor de Baixa Pressão no Coeficiente de Uniformidade de Christiansen. Lavras: UFLA, 1997. 45 p. (Dissertação - Mestrado em Irrigação e Drenagem)*.

O presente trabalho teve por objetivo estudar a efeito da forma do orifício do bocal no coeficiente de uniformidade de Christiansen de um aspersor de baixa pressão. Trabalho este realizado nas dependências do Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Lavras, em Lavras - MG. Utilizou-se durante o trabalho um único aspersor modelo SSTEELHEAD produzido pela RAIN BIRD, o qual possui ângulo de inclinação do jato de 7°, sendo recomendado para irrigação subcopia, em algumas culturas como por exemplo banana. O aspersor foi instalado no interior de uma campânula, a uma altura de 0,85 m acima do solo em tubo de PVC rígido com diâmetro $\frac{3}{4}$ da polegada, no qual foi instalada uma tomada de pressão, a qual foi monitorada durante a realização de todos os ensaios por um manômetro de Bourbon previamente aferido. Os volumes de água precipitados foram coletados em uma única linha de coletores, instalados de forma a simular $\frac{1}{8}$ de uma malha de 20 por 20 coletores espaçados de 1 m. Estes coletores foram instalados a uma altura de 0,30 m acima do solo. Foram avaliados os bocais com

* Orientador: Luiz Antônio Lima. Membros da Banca: Luiz Antônio Lima; Geraldo Magela Pereira; Jacinto de Assunção Carvalho.

as formas de orifício produzidos pelo fabricante e bocais com outras formas de orifício, produzidos no laboratório a partir de bocais produzidos pelo próprio fabricante. As novas formas de orifício desenvolvidas e avaliadas foram $\frac{1}{4}$ do círculo, $\frac{1}{2}$ do círculo, chave, elíptico e duplo círculo. Utilizou-se de um programa computacional para gerar a malha de dados e simular um sistema contendo vários aspersores funcionando simultaneamente e com espaçamentos variados e inferiores à 70 % do diâmetro molhado efetivamente por um único aspersor. Através do mesmo programa calculou-se os coeficientes de uniformidade de Christiansen para cada simulação de espaçamento e cada forma de orifício. Durante a fase de produção dos bocais contendo as novas formas de orifício, produziu-se os mesmos formatos produzidos pelo fabricante, com o objetivo de avaliar o processo de produção dos mesmos. Com os dados dos coeficientes de uniformidade para cada bocal avaliado, foi possível compara-los entre si. Após a análise dos resultados, verificou-se que as formas de orifício quadrada, $\frac{1}{4}$ do círculo, elíptico e duplo círculo apresentaram os melhores resultados de coeficientes de uniformidade, deste modo recomenda-se que estes formatos de orifício sejam avaliados para outros modelos de aspersores.

ABSTRACT

EFFECT OF THE SHAPE OF THE NOZZLE ORIFICE UPON THE UNIFORMITY COEFFICIENT FOR A LOW PRESSURE SPRINKLER.

The present work is intended to study the influence of the shape of the nozzle orifice upon Christiansen's uniformity coefficient of a low pressure. This work was conducted in the facilities of the laboratory of Hydraulics of the Universidade Federal de Lavras, in Lavras - MG. During the work, a single sprinkler model SSTEELHEAD manufactured by RAIN BIRD was utilized, which possesses a jet inclination angle of 7° , being advised for under canopy irrigation in some cultures such as Banana. The sprinkler was set inside a campanula at a height of 0,85 m above ground in rigid PVC pipe $\frac{3}{4}$ inch in diameter, in which a pressure gauge was established, that was monitored during the accomplishment of all the trials by a previously calibrated Bourbon manometer. The amounts of released water were collected into a single collector row mounted in such a way to simulate $\frac{1}{8}$ of a network of 20 by 20 collectors spaced 1 m apart. These collectors were allocated at a height of 30 cm above ground. The nozzles with the orifice shapes produced by the manufacturer and nozzles with orifice shapes produced in the laboratory from nozzles

* Adviser: Luiz Antônio Lima. Member of the Examining Board: Luiz Antônio Lima; Geraldo Magela Pereira; Jacinto de Assunção Carvalho.

produced by the manufacturer himself. The new orifice shapes developed and evaluated were $\frac{1}{4}$ of the circle, $\frac{1}{2}$ of the circle, key, elliptic and double circle. A computer program was utilized to generate the net work of data and simulate a system containing several sprinklers working simultaneously and lower to 70 % of the diameter effectively wetted by a single sprinkler. Through the same program, Christiansen's uniformity group each spacing simulation and each orifice shape were calculated. During the production phase of the nozzles containing the new orifice shapes, the same shapes produced by the manufacturer were produced with a new to evaluating their manufacture process. With the data of the uniformity coefficients for each evaluated nozzle, it was possible to compare with one another. After the analysis of the results, it was found that the square orifices, $\frac{1}{4}$ of the circle, key, elliptical and double circle, advising therefore the study of these for other models of sprinklers.

1 INTRODUÇÃO

Diversas técnicas inovadoras vêm sendo aplicadas à agricultura moderna visando uma maior produtividade e qualidade dos produtos agrícolas; dentre estas técnicas, a irrigação vêm sendo a mais difundida.

A irrigação deve ser vista como parte de um todo e não a solução para se chegar a altas produtividades, visto que num sistema de produção, outras técnicas, tais como, variedades melhoradas, adubação adequada, controle fitossanitário, espaçamento ideal, dentre outras, devem ser aplicadas como complemento à irrigação.

Todo sistema de irrigação deve aplicar água de forma uniforme e na quantidade ideal, proporcionando umidade adequada ao desenvolvimento da cultura.

Dentre os diversos métodos de irrigação, o método por aspersão vem sendo mais utilizado. Esta preferência deve-se a vários fatores como: elevada uniformidade de distribuição de água e eficiência de irrigação; bom controle da lâmina aplicada; adaptabilidade à diversas culturas, relevo e tipos de solo; possibilidade de aplicação de químicos via água de irrigação; bem como possibilidade de uso em culturas já estabelecidas ou em fase de implantação. No método de irrigação por aspersão a água é aspergida sobre a superfície do solo na forma de chuva artificial,

dado o fracionamento do jato d'água em inúmeras gotas; que se espalham caindo sobre o terreno. O componente principal do sistema é o aspersor.

Na escolha do aspersor deve-se considerar a cultura a ser irrigada, visto que para cada cultura há um tipo específico de aspersor.

Por exemplo no cultivo da banana faz-se uso de aspersores tipo subcoba, os quais foram projetados de maneira que o jato não atinja as folhas da cultura. Dentre os aspersores utilizados neste cultivo o SSTEELHEAD, produzido pela RAIN BIRD, vem sendo amplamente utilizado, pois apresenta as características desejáveis a este tipo de cultura.

Outro fator de suma importância na escolha de um aspersor é o perfil de distribuição, pois o mesmo está diretamente relacionado com a uniformidade de distribuição de um grupo de aspersores operando conjuntamente.

A uniformidade de distribuição de água nos sistemas de irrigação por aspersão é influenciada por vários fatores, tais como: ângulo de inclinação do aspersor, rotação, pressão de serviço, diâmetro e forma do orifício do bocal, altura de instalação, espaçamento entre aspersores e condições climáticas.

Atualmente vem crescendo a utilização de aspersores com bocais dotados de orifício de forma não circular, como tentativa de melhorar a uniformidade de distribuição apresentada por bocais do formato circular.

Em geral aspersores dotados de bocais com orifício de forma não circular, proporcionam uma maior pulverização do jato d'água, conseqüentemente produzem gotas de menor diâmetro, que são melhores distribuídas ao longo do raio de ação do mesmo, embora tenham o seu alcance reduzido, ainda que, aspersores dotados de bocais com orifício não circular

têm a vantagem de produzir uma boa distribuição, mesmo operando à baixas pressões (Bilanski e Kidder, 1958; Li, Kawano e Yu, 1994; Li, 1996).

Em sistemas de irrigação que utilizam-se de aspersores dotados de bocais com forma de orifício circular, há a necessidade de maiores pressões para assim garantir uma boa uniformidade por parte dos mesmos. Este fato resulta num acréscimo nos custos de energia aos produtores, quando estes fazem uso de sistemas de irrigação de alta pressão (350 - 450 kPa); isto se deve à busca de uma desejável eficiência de aplicação por parte destes sistemas, o que pode ser superado utilizando-se de aspersores de baixa pressão (150 - 300 kPa) com outras configurações de orifício para os bocais, mantendo-se assim uma alta uniformidade de distribuição (Li, Kawano e Yu, 1994; Li, 1996).

Com o atual acréscimo na busca de economia de energia, é que os produtores vêm utilizando-se ainda mais de sistemas de irrigação por aspersão à baixas pressões, onde emprega-se os chamados miniaspersores, que são normalmente dotados de bocais de orifícios circulares. Sendo assim, procurou-se neste trabalho desenvolver novas configurações de orifício para o miniaspersor SSTEELHEAD (SLL20VH 7°), produzido pela RAIN BIRD, tomando-se como parâmetro para avaliação o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).

2 REVISÃO DE LITERATURA

A irrigação vem sendo utilizada há milênios. A sua história começou com o Egito Antigo, há 5000 anos aproximadamente. Era uma questão de sobrevivência, e ainda continua sendo, pois, com o crescimento demográfico, deve-se buscar o aumento na produção de alimentos com o acréscimo das áreas irrigadas.

Diversos métodos de irrigação podem ser usados para aplicar água às plantas, sendo classificados em: irrigação por aspersão, superfície, subterrânea e localizada.

No método de irrigação por aspersão, a água é aplicada ao solo na forma de chuva artificial, através do fracionamento do jato em um número enorme de gotas de água que se espalham, caindo sobre a superfície do solo.

Segundo Bernardo (1989) e Olitta (1977), o método de irrigação por aspersão é o mais usado devido sua grande adaptabilidade, sendo que pode ser indicado para quase todas as culturas com raríssimas exceções, para quase todo tipo de solo, qualquer topografia, sendo limitado somente por fatores econômicos. O método não deve ser indicado para irrigação com água salina, devido a redução da vida útil dos equipamentos e possíveis danos às folhas e aos frutos dos vegetais com deposição de precipitados químicos nos tecidos celulares da folha causada por osmose.

É sabida também da eficiência proporcionada, na germinação de sementes, pelo sistema de irrigação por aspersão, sendo recomendado o seu emprego na fase inicial da cultura, para posteriormente ser aplicado um sistema de irrigação por superfície quando o sistema radicular encontrar-se significativamente desenvolvido (Olitta, 1977).

Os aspersores são as peças principais de um sistema de irrigação por aspersão, e podem ser classificados segundo Bernardo (1989) em vários grupos. Quanto ao tipo 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 a reação pela saída do jato. Atualmente existem aspersores que utiliza-se do impacto de uma esfera metálica sobre um êmbolo para promover a sua rotação, além de outros dotados de turbina que promovem a sua rotação.

Quanto a pressão de serviço do aspersor, pode-se ter:

- 1) Aspersores de “pressão de serviço muito baixa”: trabalham com pressão variando entre 40 e 100 kPa e possuem um pequeno raio de alcance;
- 2) Aspersores de “pressão de serviço baixa”: trabalham com pressão variando entre 100 e 200 kPa e possuem um pequeno raio de alcance, entre 6 e 12 m;
- 3) Aspersores de “pressão de serviço média”: trabalham com pressão variando entre 200 e 400 kPa e possuem um raio de ação entre 12 e 36 m, e
- 4) Aspersores “gigantes” ou “canhões hidráulicos”: existem dois modelos de aspersores do tipo canhão, aspersores de médio e de longo alcance. Os aspersores de médio alcance trabalham com pressões variando entre 400 e 800 kPa e possuem um raio de alcance entre 30 e 60 m. Os aspersores gigantes de longo alcance trabalham com pressão variando entre 500 e 1000 kPa, e possuem um raio de alcance entre 40 e 80 m.

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 culturas (Olitta, 1977).

A pressão de funcionamento de um aspersor, conjuntamente com o diâmetro, formato e ângulo de inclinação do bocal ou bocais, determinam a vazão, raio de alcance, o grau de pulverização das gotas, a eficiência e a intensidade de precipitação lançada pelo aspersor. A adequação destas características hidráulicas às condições específicas do projeto de irrigação é indispensável para o correto dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação.

A vazão produzida por um aspersor pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$Q = A * Cd * \sqrt{2 * g * PS} \quad \text{eq. 01}$$

em que:

Q = vazão do aspersor, m³/s;

A = área da seção transversal ao fluxo, m²;

Cd = coeficiente de descarga, adimensional;

g = aceleração da gravidade, m/s²;

PS = pressão de serviço do aspersor, N/m²;

γ = peso específico da água, N/m³.

O fracionamento do jato é um fator importante na irrigação. O impacto das gotas grandes pode produzir, em cultivos delicados, danos diretos à parte aérea e, em determinados solos, à compactação da camada superficial, reduzindo a infiltração, com conseqüente aumento do risco de erosão. Por outro lado, maior pulverização aumenta as perdas por evaporação e arraste das gotas pelo vento, distorcendo o perfil de distribuição de água e reduzindo a uniformidade de aplicação, sendo chamado de perfil de distribuição à distribuição das lâminas precipitadas ao longo

do raio de alcance do aspersor, e uniformidade de distribuição um parâmetro estatístico com o qual mensura-se a uniformidade desta distribuição de lâminas ao longo de toda a área coberta por um ou vários aspersores.

Segundo Khol (1974), a resistência do ar contra a superfície do jato não é suficiente para fracioná-lo e sim a turbulência do jato que, pela ausência de um limite rígido, é responsável pelo espalhamento de sua periferia. Só após esse espalhamento que a resistência do ar vai aumentando e se revestindo de importância no fracionamento do jato. Tal resistência é aproximadamente proporcional ao quadrado da velocidade do jato d'água e à área da seção transversal de expansão do jato. E, ainda, remoinhos formados devido à turbulência conduzem água lateralmente para fora da corrente central, e são rapidamente retardados em seus percursos longitudinais pela resistência do ar circunvizinho, mas continuam a se espalhar lateralmente em menores velocidades. Embora as partes mais externas do jato formem gotas que imediatamente caem como névoa, a parte central parece desintegrar-se no meio do ar.

Pair (1968) afirma que a rotação do aspersor deve ser uniforme e lenta para garantir melhor distribuição e, para assegurar uma aplicação uniforme de água deve haver sobreposição dos jatos nos dois sentidos, isto é, entre aspersores ao longo da linha lateral e entre laterais.

Bilanski e Kidder (1958), em estudos sobre fatores que afetam a distribuição de água por aspersores, observaram que a forma do orifício do bocal tem grande influência, tanto no perfil de distribuição de água, quanto na distribuição de gotas por tamanho. Neste estudo, os autores verificaram que as formas de orifícios triangulares promoveram uma maior quebra no jato, produzindo gotas menores, conseqüentemente obteve-se um menor alcance. Outra observação dos autores é de que uma grande percentagem de água é aplicada próximo do aspersor. O bocal com orifício quadrado apresenta uma distribuição de água com as mesmas características dos bocais

com orifício circular, já bocais com orifício de forma retangular apresentam uma forma de distribuição diferenciada, e a posição do retângulo também influencia na distribuição de água pelo aspersor. Várias outras formas de orifício não circulares foram testadas, tais como: $\frac{1}{2}$ círculo, $\frac{1}{4}$ do círculo e pentagonal, trazendo resultados não satisfatórios no que tange à uniformidade de distribuição de água pelos mesmos.

Li (1996), estudando os parâmetros geométricos do orifício dos bocais sobre a performance dos aspersores, concluiu que para um orifício triangular, sendo este triângulo isósceles, a relação entre a base e a altura do triângulo tem grande influência tanto no coeficiente de descarga quanto no coeficiente de uniformidade para uma mesma pressão e um mesmo espaçamento entre aspersores.

Li, Kawano e Yu (1994), estudando a distribuição de água, para dois tipos de bocais com orifício quadrado e um duplo retângulo, comparados à performance de um bocal de orifício circular, concluíram que a vazão é menor para os bocais quadrados em relação ao circular, operando a uma mesma pressão e que os bocais quadrados produzem gotas aproximadamente iguais às produzidas pelo circular. Outra vantagem dos orifícios quadrados em relação ao circular é que os mesmos apresentam boa uniformidade de distribuição mesmo operando à baixas pressões.

Segundo a norma ISO-7749-2 da (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, (1990)), para teste de aspersor, o mesmo deve ser instalado em uma área livre de obstáculo que possa interceptar o jato, devendo a área ser plana ou apresentar declividade uniforme máxima de 1 %. Os coletores devem ser cilíndricos com diâmetro superior a 8,5 cm, possuírem o bordo superior em bisel; serem idênticos e não possuírem deformações; devem ser instalados em uma haste firme e à uma altura de não menos de 15 cm acima do solo, permitindo uma variação máxima entre dois coletores não mais que 2 cm. Com relação à duração do ensaio,

estabelece-se duração mínima de uma hora. As condições atmosféricas devem ser registradas durante todo o teste a intervalos de 15 minutos; e que a velocidade do vento não deve exceder 0,4 m/s. A disposição dos coletores no campo deve ser em malha e o espaçamento entre os coletores não deve exceder 2 m. Quando os testes forem realizados na ausência de vento ou em ambientes fechados os coletores podem ser dispostos em uma única linha ao longo do raio de alcance do aspersor.

Vilas Boas (1994), estudando métodos de amostragem da distribuição espacial de água de aspersores, concluiu que o método de amostragem radial é equivalente ao método de amostragem tradicional, ou seja, o método de amostragem em malha. O autor sugere que, devido a facilidade e economia dos métodos radiais, estes devem ser aplicados, viabilizando assim, a realização dos ensaios em ambientes fechados, na ausência de vento.

Pereira (1995), simulando as perdas de água por evaporação e a uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão, concluiu que, quanto menor a gota, maior é a percentagem de perda de água por evaporação e que as perdas de água por evaporação foram praticamente desprezíveis quando comparadas às perdas por arrastamento pelo vento. Ainda conclui que, a perda máxima de água por evaporação, simulada para condições atmosféricas extremas (temperatura do ar igual a 40° C e umidade relativa igual a 10 %), foi de apenas 1,08 % do volume de água aplicado.

Christiansen (1942), estudando a distribuição das lâminas de água para vários aspersores operando isoladamente, estabeleceu certos tipos de perfis de distribuição, salientando que o perfil de distribuição será simétrico em relação ao aspersor, se a rotação deste for uniforme e não houver vento. Com base nessas observações, o referido autor analisou vários tipos de perfis para determinar a uniformidade de distribuição da água pelos aspersores em função da

percentagem do diâmetro molhado. Verificou que o tipo de perfil de distribuição, uniformidade de rotação, pressão no bocal do aspersor e espaçamento entre aspersores tiveram influência significativa no coeficiente de uniformidade de distribuição de lâminas de água no solo. O autor propôs a seguinte expressão para o cálculo da uniformidade de distribuição no sistema de irrigação por aspersão:

$$CUC = 100 * \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \quad \text{eq. 02}$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

X_i = precipitação no pluviômetro de ordem i , mm;

\bar{X} = precipitação média, mm, e

n = número de observações.

Corry, citado por Olitta (1977), informa que o valor do coeficiente de Christiansen é o processo estatístico mais comum para avaliação de sistemas de irrigação por aspersão, sendo que, por convenção o valor

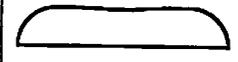
Corry, citado por Olitta (1977), informa que o valor do coeficiente de Christiansen é o processo estatístico mais comum para avaliação de sistemas de irrigação por aspersão, sendo que, por convenção o valor de 80 % é o mínimo aceitável para o desempenho normal do aspersor.

Wilcox e McDougald, citados por Carvalho (1991), estudando a influência de diferentes perfis, espaçamento e pressão de operação do aspersor na uniformidade de distribuição de água, concluíram 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. Portanto,

os aspersores com orifício circular produzem gotas de maior tamanho que são lançadas na extremidade do raio molhado pelo aspersor, o que leva a uma menor uniformidade de aplicação, e acréscimo das lâminas de água aplicadas do aspersor para as bordas da área molhada. Esse perfil, entretanto, não garante boa uniformidade de distribuição, e os perfis irregulares podem apresentar distribuição de maior uniformidade para determinados espaçamentos. Os espaçamentos entre aspersores devem ser reduzidos com o aumento da velocidade do vento.

Keller, citado por Pereira (1995), apresenta os perfis típicos de precipitação de um único aspersor, juntamente com as recomendações de espaçamentos, observando os seus respectivos diâmetros molhados, conforme Quadro 1.

QUADRO 1 - Geometria dos perfis de precipitação de aspersores e espaçamentos recomendados em percentagem do diâmetro molhado efetivo.

Perfil do aspersor		Espaçamento Recomendado em Percentagem do Diâmetro Molhado Efetivo		
Tipo	Forma	Quadrado	Triângulo Equilátero	Retângulo Menor x Maior
A		50	50	40 x 60 a 65
B		55	66	40 x 60
C		60	65	40 x 60 a 65
D		70	70 a 75	40 x 70 a 75
E		80	80	40 x 80

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos foram realizados no interior de um galpão de 95 m de comprimento, 10 m de largura e 5,5 de altura, anexo ao Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, em Lavras-MG, situada na região Sul de Minas Gerais; geograficamente definida pelas coordenadas de 21°14' latitude Sul, 45°00' de longitude Oeste e altitude de 910 m; onde as médias anuais de temperatura, umidade relativa e precipitação são respectivamente 19,3 ° C, 77,7 % e 1.411 mm.

Utilizou-se um único aspersor de impacto e de baixa pressão: modelo SLL20VH 7 ° (Figura 1), produzido pela RAIN BIRD, o qual tem angulo de trajetória de 7 °, sendo o mesmo indicado para irrigação subcopia de culturas como a banana. Foram utilizados os bocais produzidos pelo fabricante, que possuem orifícios quadrado, circular e triangular; sendo que estas formas recebem, respectivamente, as seguintes denominações pelo fabricante: (LPN-1) 109248, (SBN-1) 108831 e (SMN-1) 108880.

Na avaliação dos bocais produzidos pelo fabricante fez-se uso de três bocais de mesma forma, com a mesma identificação de dimensão 3/32 que vem impresso no bocal.

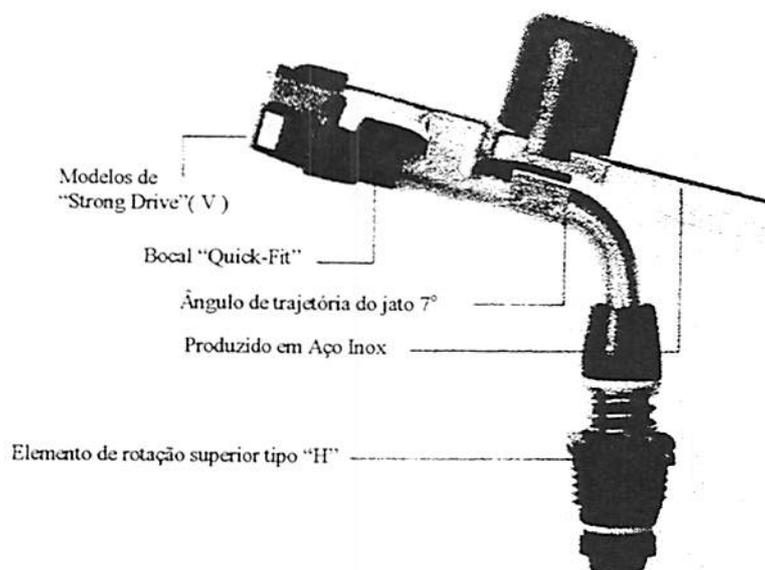


FIGURA 1 - Aspersor SSTEELHEAD da RAIN BIRD utilizado no experimento.

Para a produção dos formatos de orifícios a serem avaliados, fez-se uso de bocais produzidos pelo fabricante, nos quais fôra substituída a parte interior do bocal, sendo esta parte constituída desde o início da contração até a saída do orifício (Figura 2).

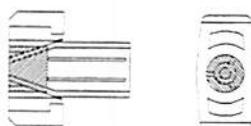


FIGURA 2 - Área sombreada a ser substituída por uma nova peça contendo o novo orifício

Na produção dos novos orifícios, primeiramente produziu-se os moldes com as suas respectivas formas e dimensões, em aço inox, a partir de um perfil circular de $\frac{1}{4}$ da polegada de diâmetro, os quais foram usinados com o auxílio de um torno mecânico pertencente ao respectivo laboratório.

Os novos formatos (Figura 3) foram produzidos de forma a possuírem, aproximadamente, a mesma área da sessão transversal ao fluxo, buscando, portanto, que os mesmos promovessem a mesma vazão:

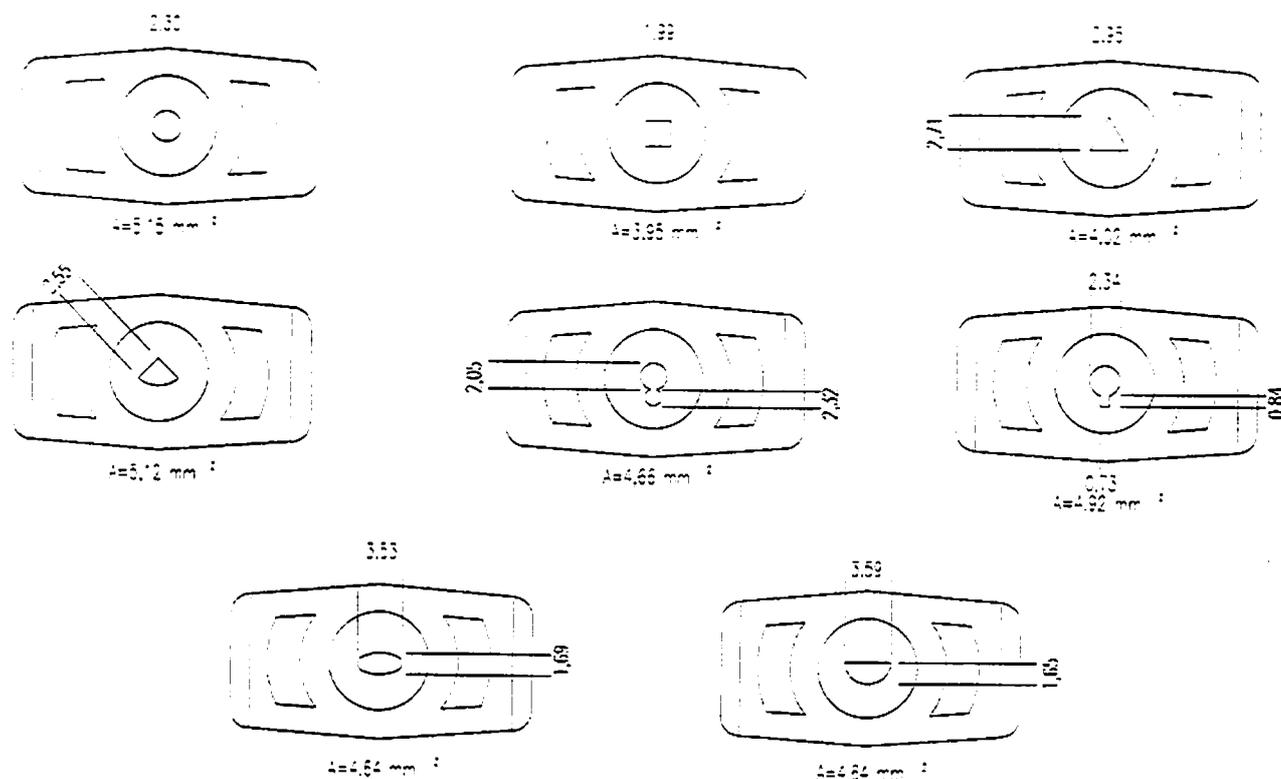


FIGURA 3 - Novas formas de orifícios avaliadas.

Os bocais foram testados em um único aspersor, operando a uma mesma pressão de 300 kPa, buscando-se, portanto, minimizar as variações nos resultados devido a estes fatores. A pressão foi monitorada durante toda a realização do ensaio por manômetro de Bourdon, graduado em kgf/cm^2 e conectado perpendicularmente ao tubo de subida conforme a norma ISO-7749-2, que prevê que esta conexão seja feita a uma distância superior a 20 cm abaixo do orifício do bocal, mas o manômetro deve ser instalado no mesmo nível do bocal para se promover as leituras.

A pressão também foi determinada antes e depois de cada ensaio, na *Vena Contracta* do jato do bocal (Figura 4), utilizando-se do mesmo manômetro do tubo de subida que era dotado de sistema de engate rápido e assim conectado a um tubo de pitot.

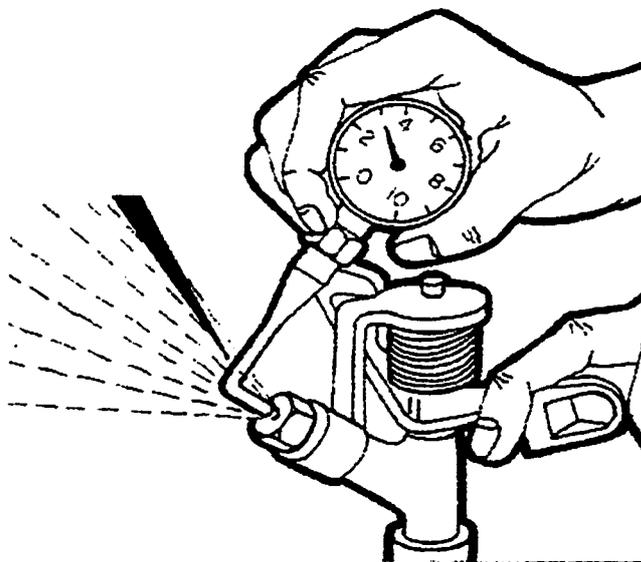


FIGURA 4 - Tomada de pressão na *Vena Contracta* do aspersor.

O manômetro com o qual determinou-se todas as leituras de pressão foi previamente calibrado, através de um manômetro de mercúrio.

O aspersor foi instalado a uma altura de 85 cm, desde o orifício do bocal até o nível do solo; conforme a norma ISO 7749-2 que prevê que esta altura deve ser no mínimo 10 vezes o diâmetro do tubo de subida ao qual o aspersor está instalado. A mesma norma estabelece que a distância entre o orifício e o bordo superior dos coletores mais próximos do aspersor não deva ser inferior a 50 cm. O mesmo foi instalado no interior de uma campânula, evitando-se com isto o

molhamento de todo o ambiente, já que os ensaios foram realizados em ambiente fechado, conforme a Figura 5.

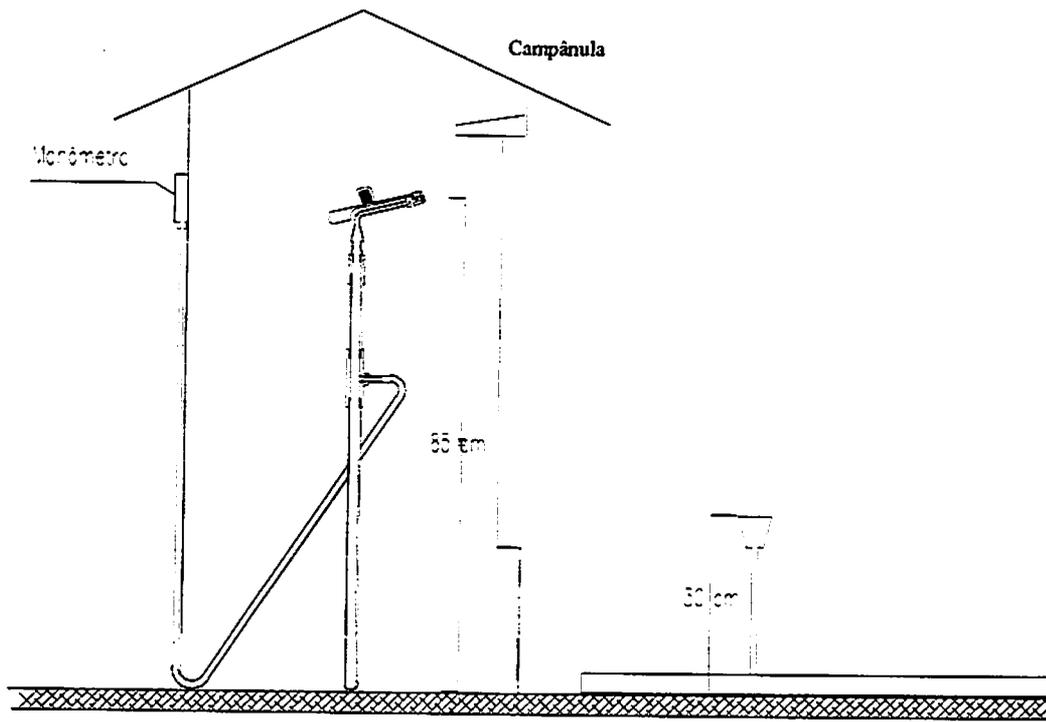


FIGURA 5 - Montagem do aspersor junto ao tubo de subida.

A tubulação que aduziu água desde o conjunto motobomba até o aspersor tinha diâmetro nominal de $\frac{3}{4}$ da polegada, a qual possuía um registro de gaveta a 60 cm da campânula, com o qual era possível o ajuste da pressão.

O conjunto motobomba utilizado foi da marca THEBE, modelo M5P11B possuindo 3 estágios e um motor com potência de 1,5 CV, junto a um reservatório que era mantido em nível constante.

A vazão de cada bocal foi mensurada durante todo o intervalo de ensaio, através de um medidor eletrônico de pás, devidamente calibrado, e instalado junto ao tubo de adução próximo ao conjunto motobomba, conforme Figura 6.

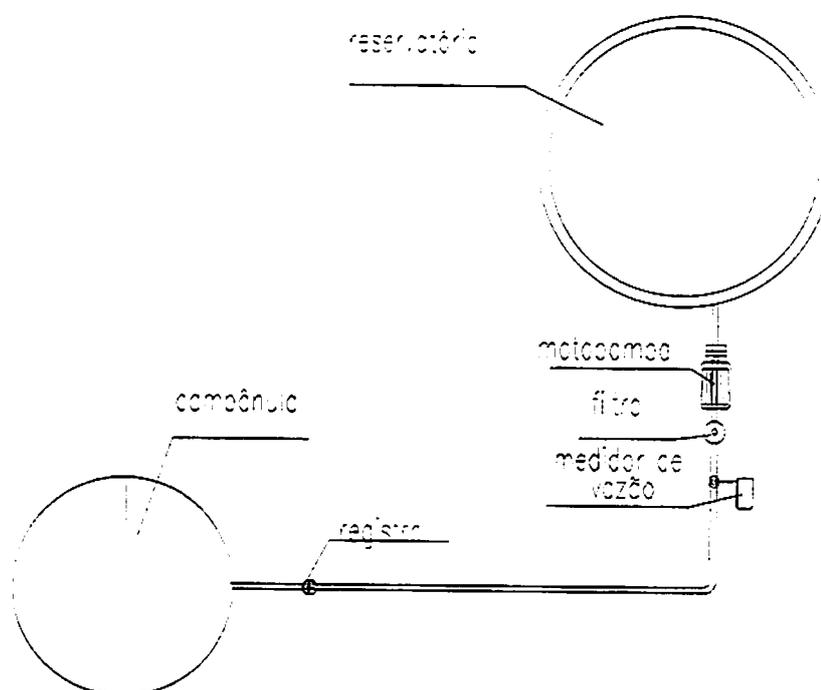


FIGURA 6 - Montagem do sistema.

Os coletores utilizados possuem as seguintes dimensões: 8 cm de diâmetro no bordo superior e 8 cm de altura. Estes foram instalados em uma haste presa a um suporte de madeira, tendo o conjunto, haste e coletor, uma altura de 30 cm desde o bordo superior do coletor até o nível do solo (Figura 7).

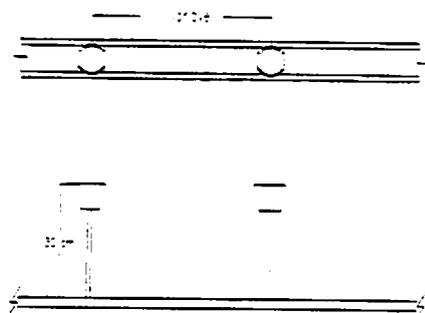


FIGURA 7 - Estrutura suporte do coletor.

Na distribuição dos coletores utilizou-se do método radial, conforme prevê a norma ISO 7749-2. O espaçamento entre coletores foi de 1 m, instalados em uma única linha, a qual continha todos os coletores de 1/8 de uma malha de 20 por 20 coletores (Figura 8).

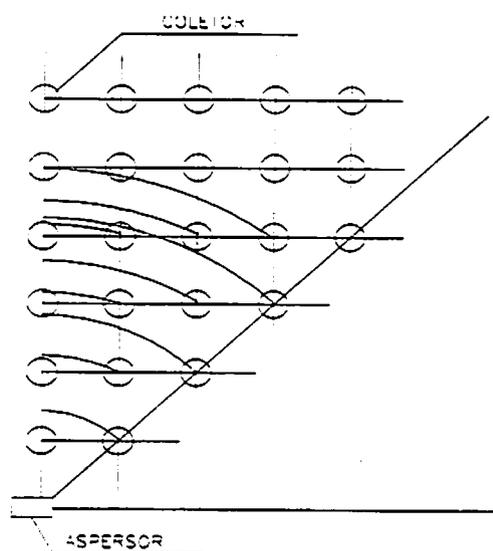


FIGURA 8 - Esquema usado para a simulação da malha de coletores (Adaptado da norma ISO 7749 - 2)

A duração de cada ensaio foi de 1 hora e a cada 15 minutos era proporcionado um giro de 90 ° ao aspersor, sendo que este giro se dava quando o jato não se encontrava sobre a linha de coletores, conforme o estabelecido pela norma ISO 7779-2.

Os volumes de água precipitada pelo aspersor foram coletados em mililitros, através de uma proveta graduada de 2 em 2 ml. Os coeficientes de uniformidade foram determinados, simulando um conjunto de aspersores operando simultaneamente e com vários espaçamentos inferiores a 70 % do diâmetro molhado pelo aspersor, sendo que o diâmetro molhado foi considerado igual à distância do aspersor onde ocorria uma precipitação mínima de 0,13 mm, conforme a norma ISO 7749-2.

Utilizou-se de um programa computacional para simular uma malha de coletores, sendo que esta malha foi gerada simulando-se um conjunto de aspersores arranados de forma quadrangular e com espaçamentos variados e inferiores a 70 % do diâmetro molhado por um único aspersor funcionando isoladamente. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen foram calculados para cada espaçamento, espaçamentos estes tomados em números inteiros; sendo utilizados para os cálculos uma média de três repetições do ensaio de três bocais de mesma forma de orifício, considerando-se portanto uma média de nove valores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como o aspersor foi instalado no interior de uma campânula, sendo este procedimento não previsto pela norma utilizada na realização dos ensaios, promoveu-se então, ensaios para verificar se houve influência desta campânula no perfil de distribuição de volumes precipitados pelo aspersor, empregando-se o mesmo aspersor utilizados para todos os ensaios. Para comparação dos resultados utilizou-se da média dos volumes coletados de três repetições para cada situação, situações estas com e sem campânula. Na Figura 9 é mostrada a dispersão destes volumes coletados, com os quais determinou-se o coeficiente de correlação entre estes e ajustou-se uma regressão linear, onde verificou-se que há uma alta correlação entre estes resultados, portanto, pode-se verificar que o uso da campânula não teve efeito significativo nos resultados dos ensaios.

Os coeficientes de uniformidade calculados para os bocais e formas produzidos pela empresa são apresentados no Quadro 2. Observando este quadro verificamos que os maiores coeficientes são para o bocal com orifício de forma quadrada (considerando espaçamento entre aspersores de 7 ou 8 m), sendo este, o único que apresenta coeficiente superior ao mínimo ideal para um sistema de irrigação por aspersão, resultados que confirmam os encontrados por Li, Kawano e Yu (1994) em relação aos bocais de formas não circulares.

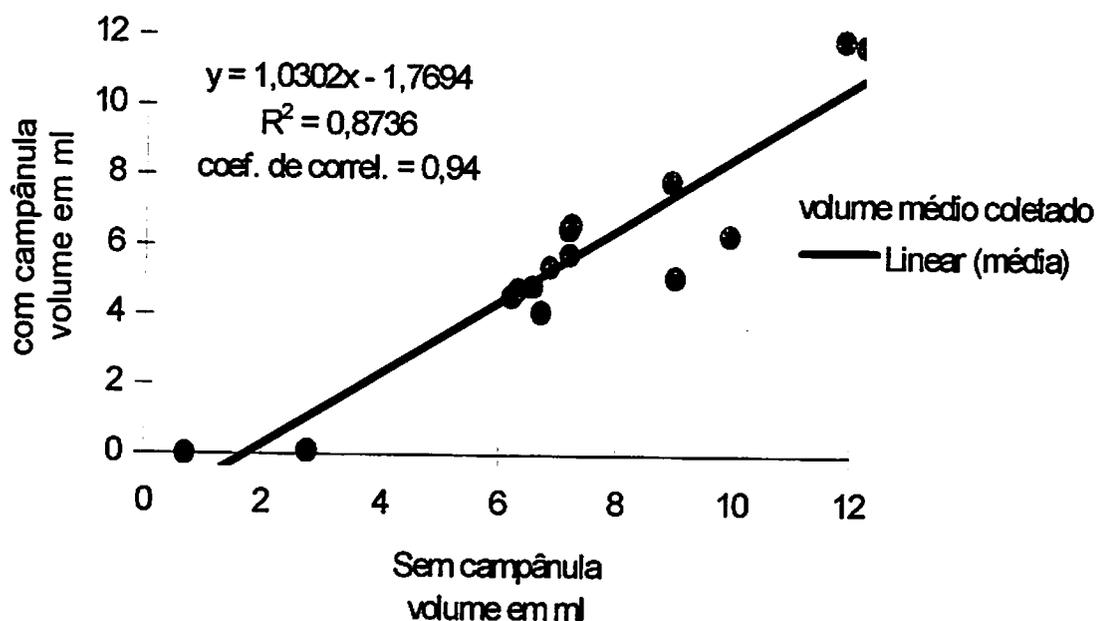


FIGURA 9 - Dispersão dos volumes coletados para duas situações (com e sem campânula).

QUADRO 2 - Coeficientes de uniformidade de Christiansen (%) para os bocais e formas produzidos pelo fabricante

Forma	Espaçamento entre os aspersores em metros (arranjo quadrangular)					
	12	11	10	9	8	7
Quadrado	71	75	72	72	81	88
Triângulo	64	67	69	64	64	66
Círculo	59	59	53	61	79	75

Na Figura 10, encontram-se os perfis de distribuição de precipitação desenvolvidos para os bocais e formas produzidos pelo fabricante, onde observa-se um perfil de distribuição mais

uniforme para o bocal com orifício quadrado. Com base nestes perfis observa-se um menor alcance para os orifícios de forma não circular, confirmando os resultados de Bilanski e Kidder (1958).

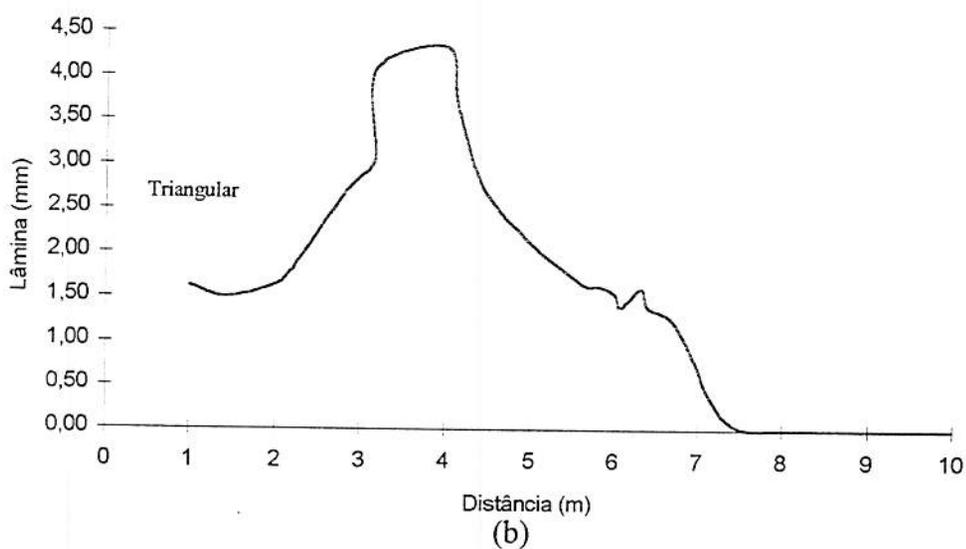
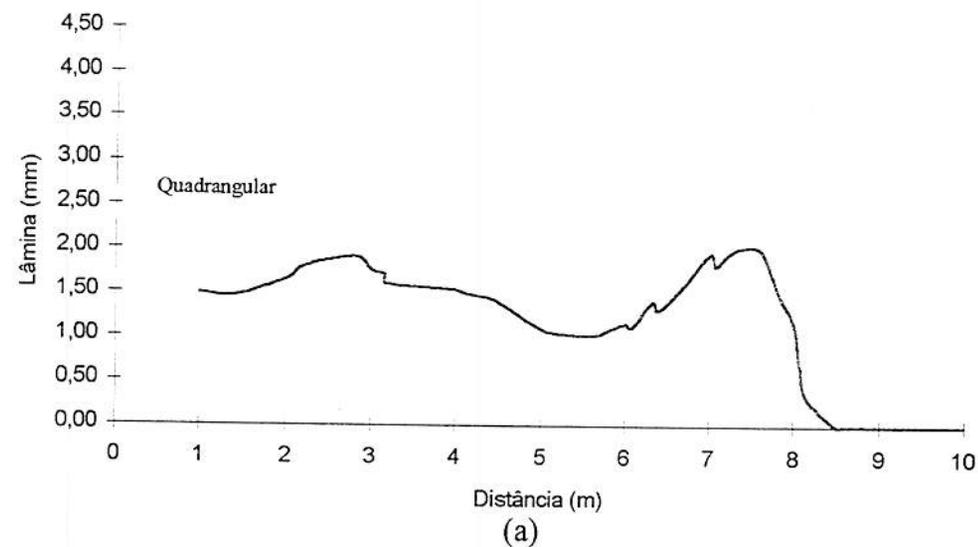


FIGURA 10 (Continua)

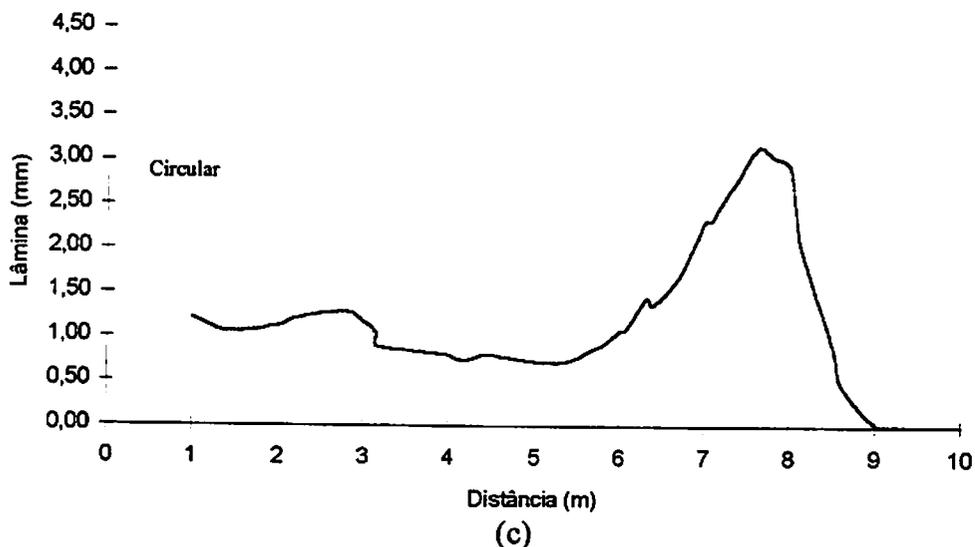


FIGURA 10 - Perfis de distribuição de precipitação desenvolvidos pelo bocal Quadrangular (a), Triangular (b) e Circular (c) produzidos pelo fabricante.

No Quadro 3 são mostradas as rotações médias, às quais aplicou-se um teste de média (Tukey à 5%), onde observa-se que não houve diferença significativa entre estes resultados, sendo que, as diferenças existentes pode ser atribuídas ao processo de determinação das mesmas. Também são apresentadas neste quadro, a vazão de cada tipo de orifício, para as quais através de um teste de média (Tukey à 5%), verificou-se uma diferença significativa entre as mesmas. Na coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Na Figura 11 apresentamos a distribuição espacial das lâminas pela simulação de um conjunto de aspersores funcionando simultaneamente, arranjados de forma quadrangular e espaçados entre si com uma distância igual à 70 % do diâmetro molhado efetivo por um único

aspersor. Determinou-se o coeficiente de uniformidade para cada uma das formas avaliadas e através de uma análise de variância e um posterior teste de médias (Tukey à 5 %), verificou-se que o formato quadrado é estatisticamente superior às demais formas.

QUADRO 3 - Pressões (kPa), rotações (rpm) e vazão (l/h) para cada forma de bocal produzidos pelo fabricante.

Forma	Pressão (kPa)			Vazão (l / h)
	Tubo	Vena	Rotação (rpm)	
Quadrado	300	295	1.96 a	331 c
Triângulo	300	290	1.96 a	366 b
Círculo	300	280	2.13 a	388 a

Obs.: - Média de três repetições para cada bocal.

- Médias seguidas de mesma letra diferiram estatisticamente

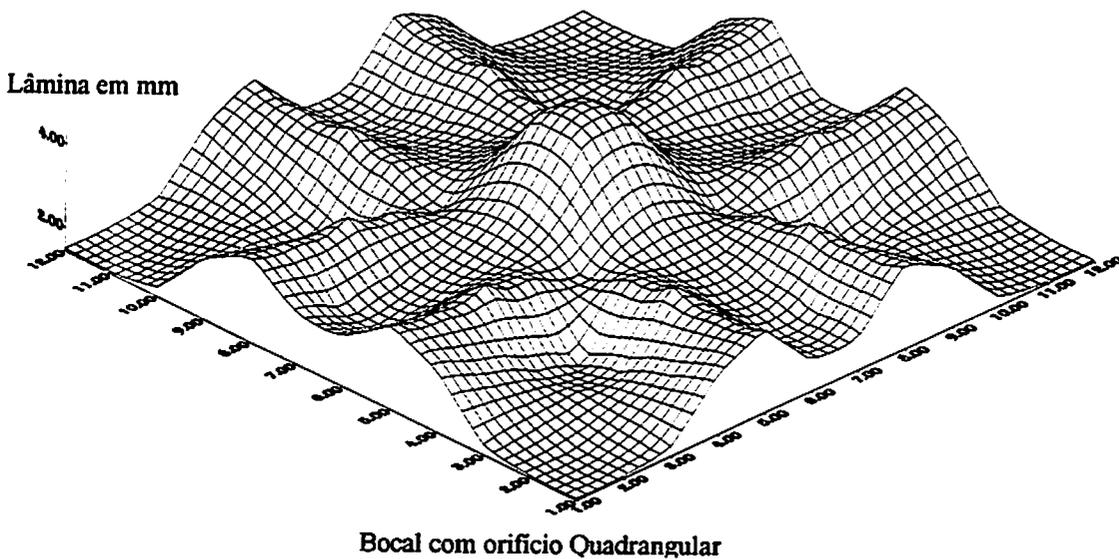


FIGURA 11 Continua

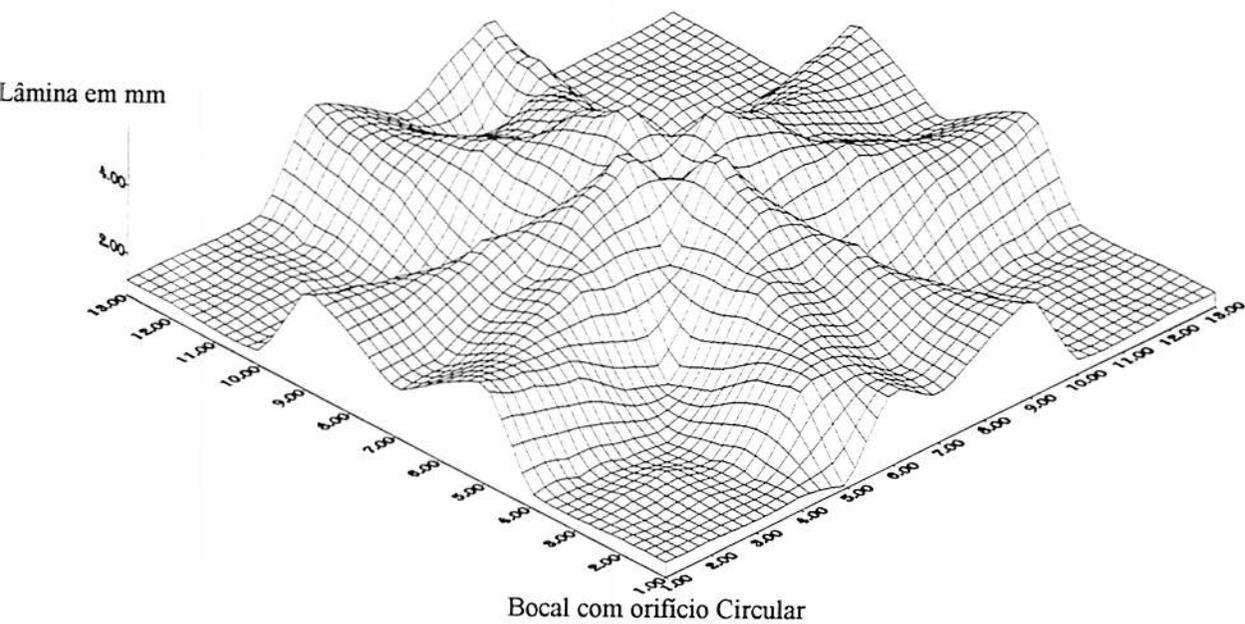
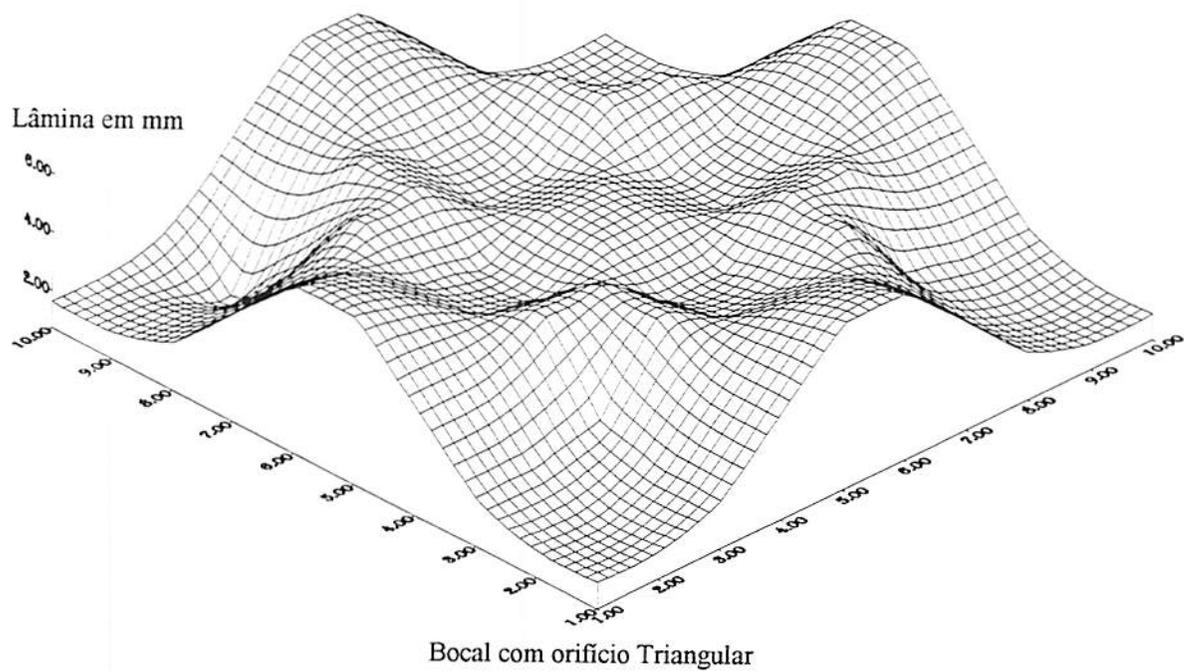


FIGURA 11 - Perfis de distribuição espacial das lâmina para os bocais com orifício Quadrangular, Triangular e Circular, simulando vários aspersores funcionando simultaneamente.

No Quadro 4 são apresentados os coeficientes de uniformidade de Christiansen para as formas de orifício produzidas no laboratório. Observa-se que os bocais com formas de orifício diferentes daqueles produzidos pelo fabricante apresentaram coeficientes de uniformidade superiores à forma circular; pode-se observar também que são poucos os que obtiveram coeficientes de uniformidade superiores ao mínimo aceitável para um sistema de irrigação por aspersão, destacados em negrito no referido quadro. Ainda observando o mesmo quadro, constata-se que o bocal com orifício quadrado apresentou os maiores coeficientes de uniformidade, quando comparados aos bocais produzidos no laboratório, resultado este, também encontrado para os demais bocais produzidos pelo fabricante.

QUADRO 4 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%) para as formas de orifício produzidos no laboratório.

Forma	Espaçamento entre os aspersores em (m) (arranjo quadrangular)					
	12	11	10	9	8	7
Quadrado	60	69	70	69	82	90
Triângulo	64	57	65	69	70	77
Círculo	50	60	58	61	77	79
¼ do Círculo	55	61	69	67	77	91
½ Círculo	59	55	55	63	66	72
Chave	66	67	64	71	86	79
Elíptico	67	66	69	74	74	81
Duplo Círculo	62	71	70	72	83	89

Na Figura 12, em que são apresentados os perfis de distribuição de precipitação, observa-se uma melhor distribuição para os bocais com as formas quadrado, chave, elíptico e duplo círculo, o que lhes conferem os maiores coeficientes de uniformidade de distribuição de Christiansen (Quadro 4).

Observando a figura 12 pode-se verificar que os bocais que apresentam o perfil de distribuição de precipitação irregular apresentam bons coeficientes de uniformidade (Quadro 4) para diferentes espaçamentos entre aspersores, sendo estes resultados similares aos encontrados por Wilcox e McDougald citados por Carvalho (1991).

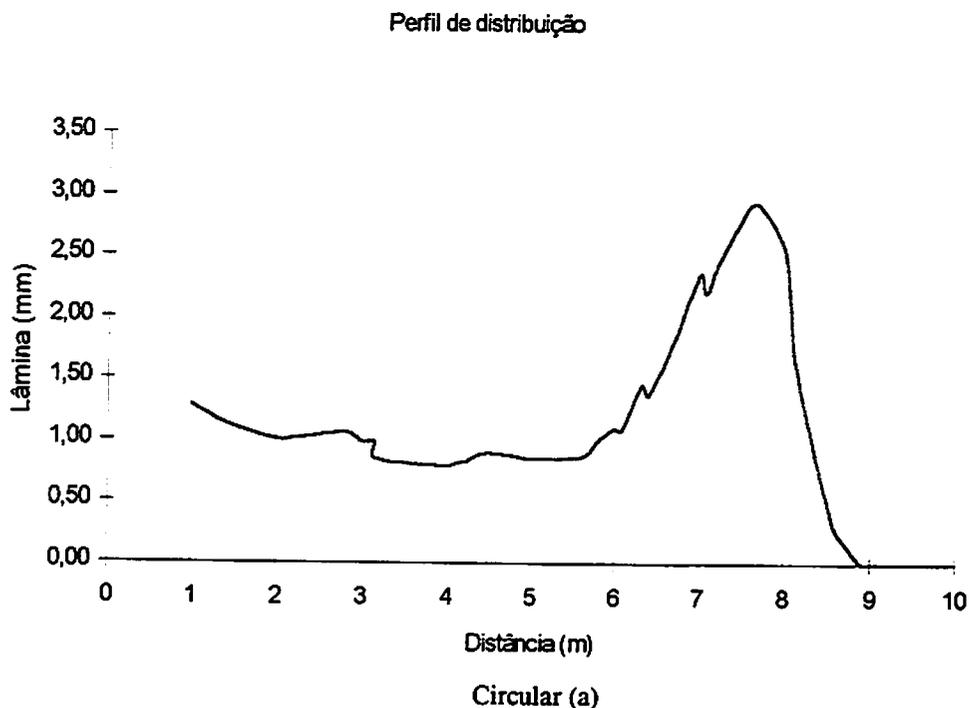


FIGURA 12 (Continua)

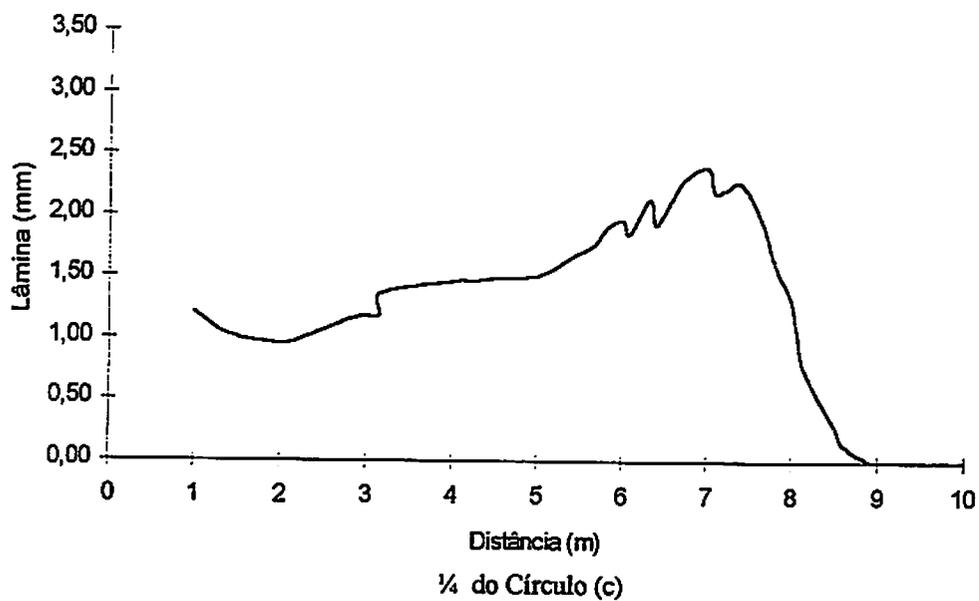
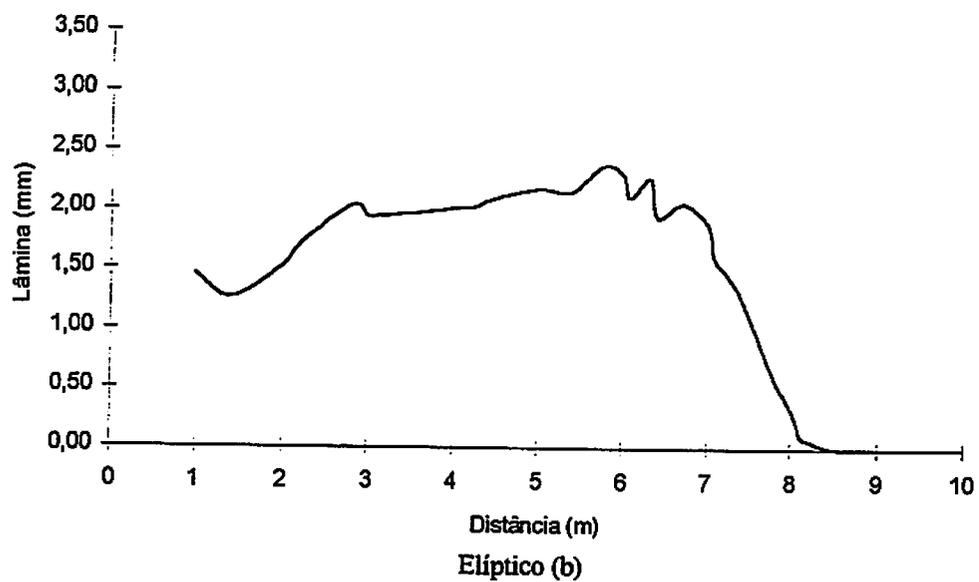


FIGURA 12(Continua)

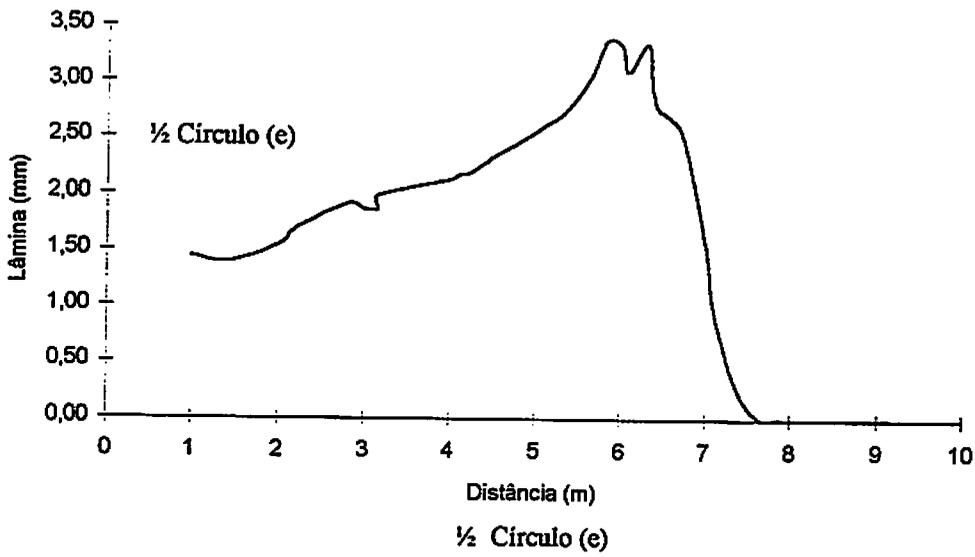
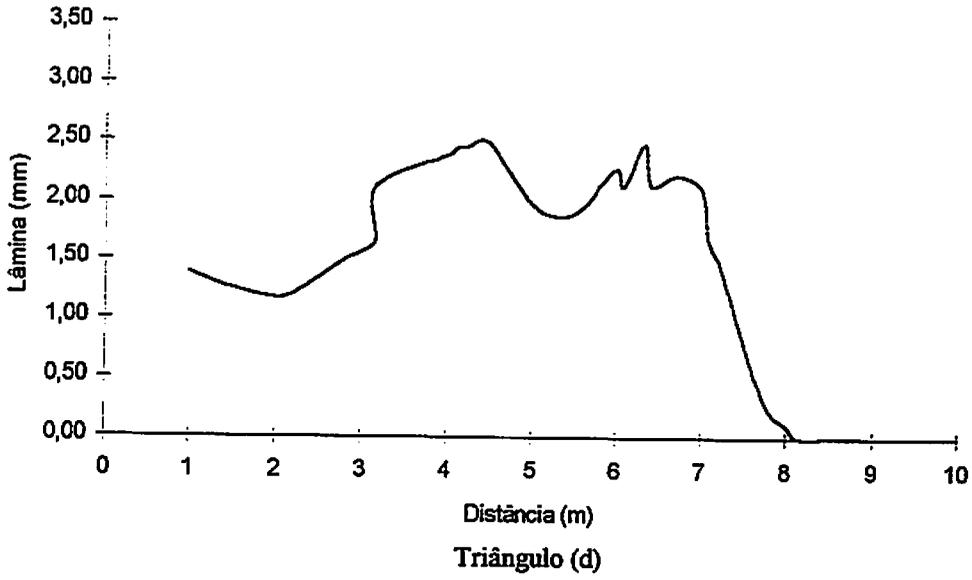


FIGURA 12 (Continua)

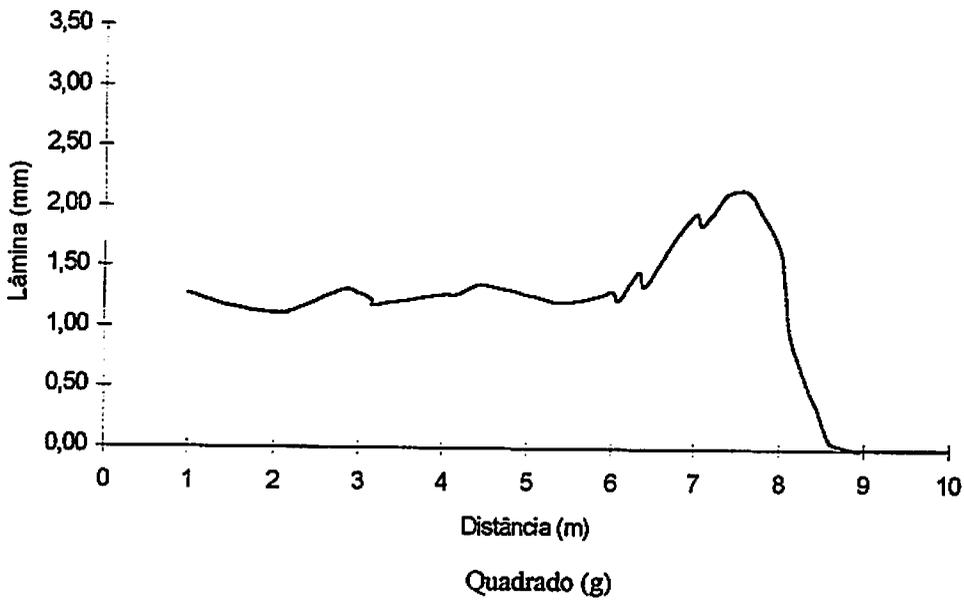
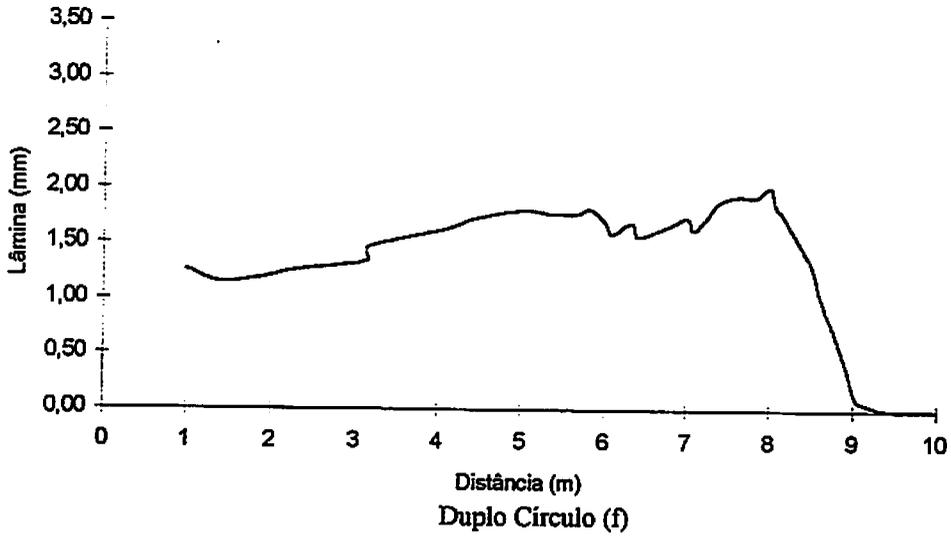


FIGURA 12(Continua)

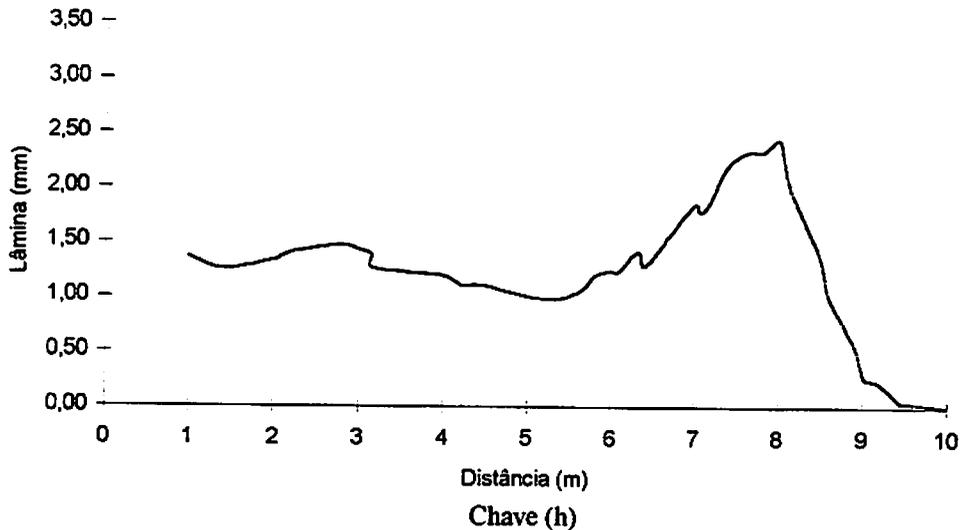


FIGURA 12 - Perfil de distribuição de precipitação desenvolvidos pelos bocais produzidos no laboratório.

Através de uma análise de variância e posterior teste de médias constatou-se para o espaçamento de 70 % do diâmetro molhado efetivo para cada um destes que os bocais com as formas de orifício quadrado e elíptico são estatisticamente diferentes e superiores aos demais. Constatou-se também, que os bocais com as formas de triângulo e chave se comportam estatisticamente iguais para este espaçamento e que o bocal com o orifício de forma circular apresentou o menor coeficiente de uniformidade para este espaçamento, conforme ocorreu para os bocais produzidos pelo fabricante.

No Quadro 5 são apresentados os resultados de pressão, rotação e vazão para os bocais produzidos no laboratório, os quais foram determinados conforme metodologia usada para

os bocais produzidos pelo fabricante, onde pode-se verificar através de um teste de média (Tukey à 5 %), que houve diferença significativa para a rotação dos diferentes formatos de orifício avaliados e que, também, por um teste semelhante ao realizado para a rotação, verificou-se uma diferença significativa para a vazão produzida por cada formato de orifício, tendo sido os formatos apresentadas na Figura 3, com suas respectivas áreas da seção transversal do orifício. Observando ainda o mesmo quadro, verificou-se que não houve diferença para as pressões, o que pode ser atribuído à sensibilidade do equipamento utilizado para estas determinações.

QUADRO 5 - Pressão(kPa), rotação(rpm) e vazão(l/h) para cada forma de orifício de bocal produzida no laboratório

Forma	Pressão (kPa)		Rotação (rpm)	Vazão (l / h)
	Tubo	Vena		
Quadrado	300	290	1.82 ab	332 c
Triângulo	300	290	1.73 b	368 ab
Círculo	300	290	1.94 ab	375 ab
¼ do Círculo	300	290	2.14 a	378 ab
½ Círculo	300	290	2.14 a	371 ab
Chave	300	290	1.89 ab	372 ab
Elíptico	300	290	1.80 ab	365 b
Duplo Círculo	300	290	1.88 ab	380 a

Em uma mesma coluna médias seguidas e mesma letra não diferiram estatisticamente

No Quadro 6, encontram-se os coeficientes de uniformidade para os bocais com mesma forma de orifício, porém um produzido pelo fabricante e outro produzido no laboratório, sendo

este coeficiente calculado com base numa simulação de um conjunto de aspersores funcionando arranjados de forma quadrada e com um espaçamento entre si igual a 70 % do diâmetro molhado efetivo de um aspersor. Constatou-se através da análise de variância e posterior teste de média, que houve uma diferença significativa para os orifícios de forma quadrada e triangular, sendo o coeficiente de uniformidade superior para o bocal produzido pelo fabricante; já para o bocal com forma de orifício em círculo não houve diferença significativa entre os bocais comparados.

QUADRO 6 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%) para os bocais de mesma forma de orifício produzidos pelo fabricante e no laboratório.

	FORMA					
	Quadrado		Triângulo		Círculo	
	Fábrica	Laboratório	Fábrica	Laboratório	Fábrica	Laboratório
CUC(%)	75 a	70 b	69 b	65 c	51 d	50 d

Nas Figuras 13 a 20 são apresentados os perfis de distribuição de precipitações em superfície para os bocais produzidos no laboratório, numa simulação de um conjunto de aspersores funcionando simultaneamente e com espaçamento entre si igual a 70 % do diâmetro molhado efetivamente por um único aspersor funcionando isoladamente. Podemos observar ainda que as formas que apresentaram superfícies mais uniformes também apresentaram os maiores coeficiente de uniformidade.

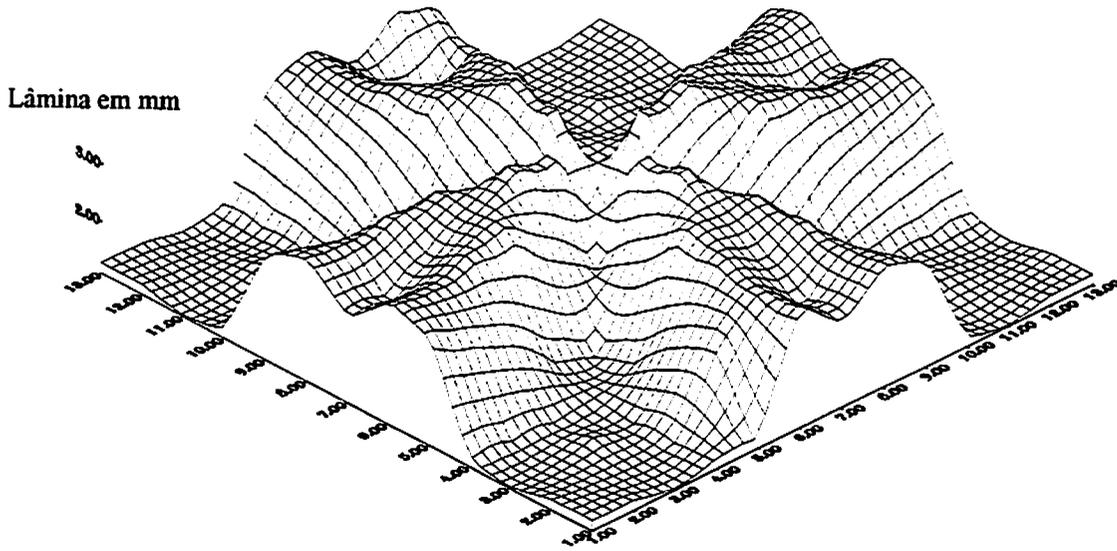


FIGURA 13 - Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Quadrado
CUC = 69%

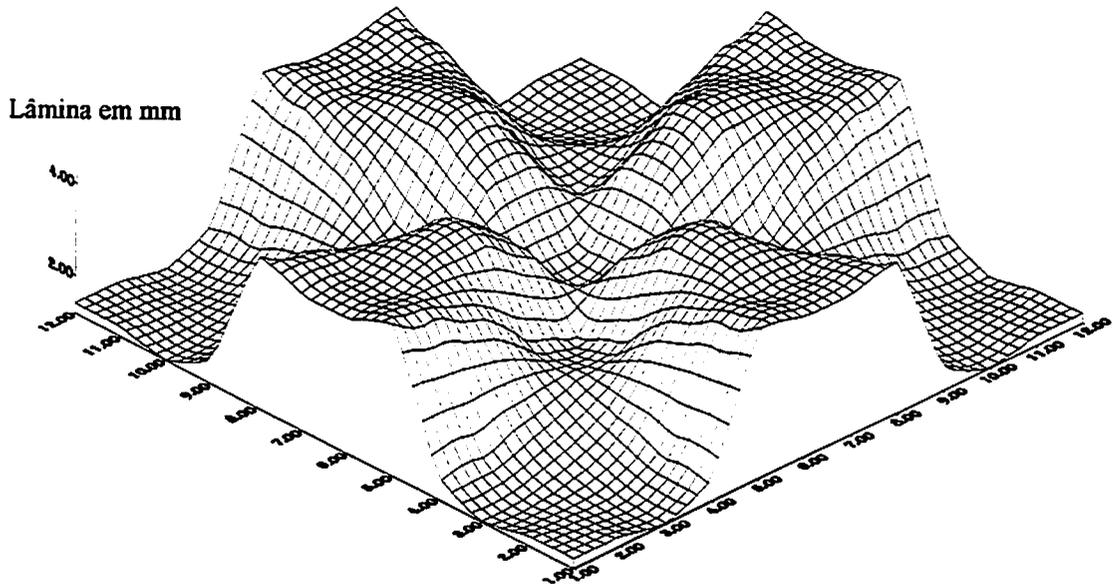


FIGURA 14 - Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Triângulo
CUC = 65 %

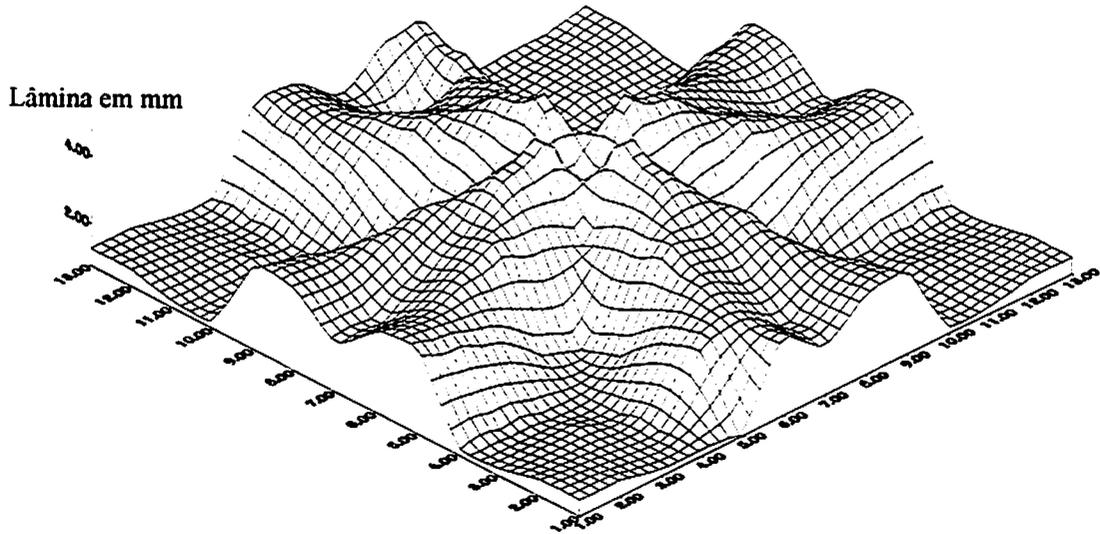


FIGURA 15 - Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Círculo CUC = 50 %

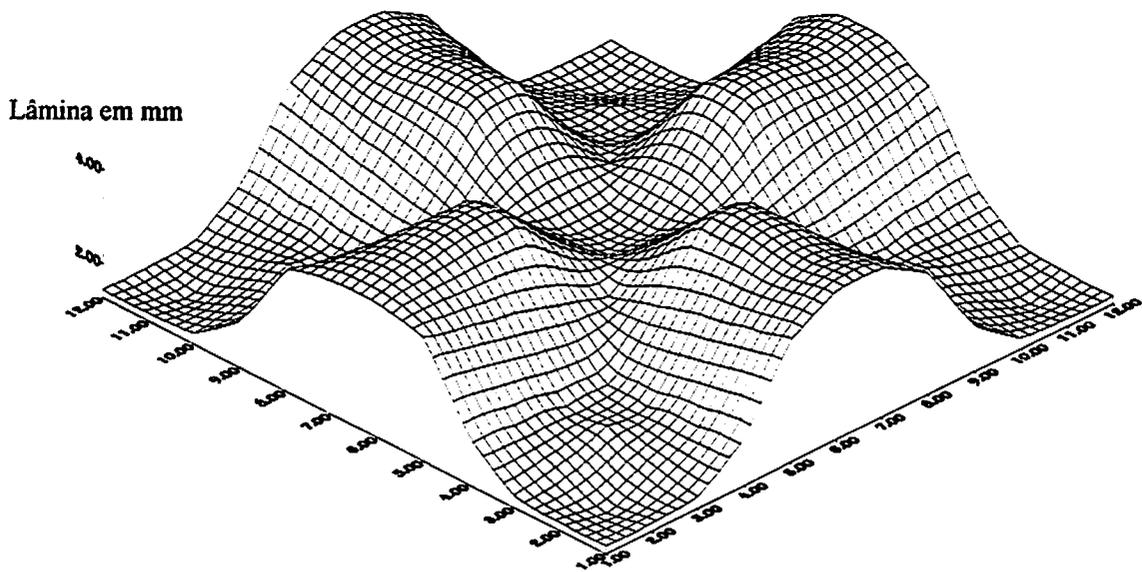


FIGURA 16 - Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Elíptico CUC = 67 %

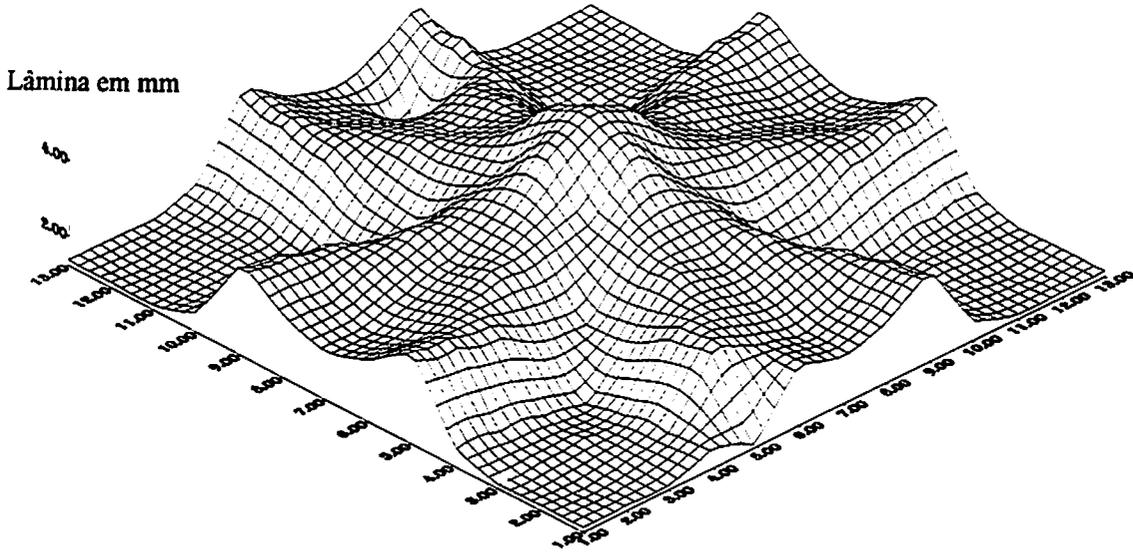


FIGURA 17 - Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Chave CUC = 65 %

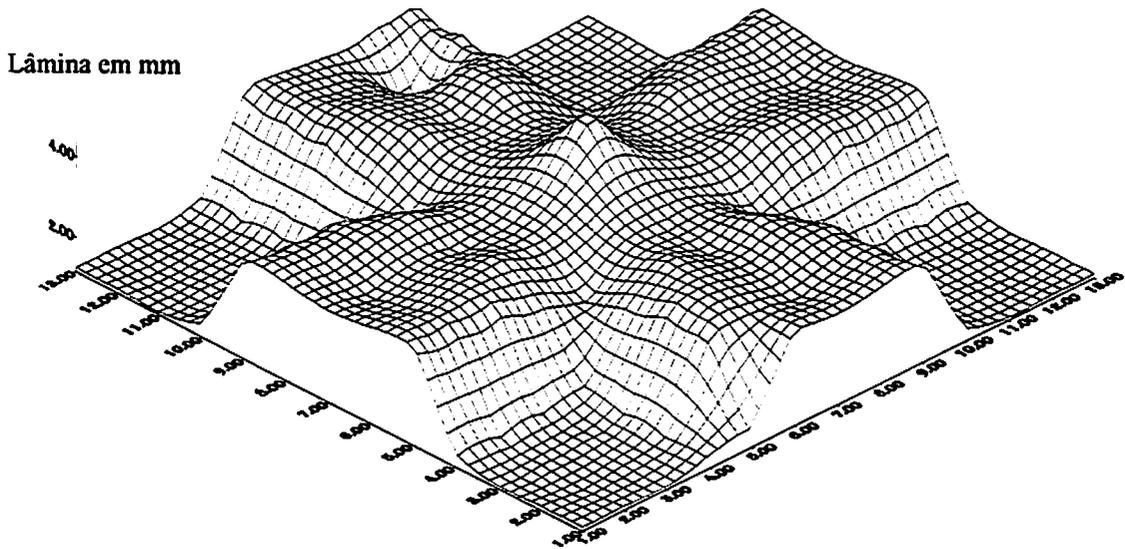


FIGURA 18 - Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício Duplo Círculo CUC = 62%

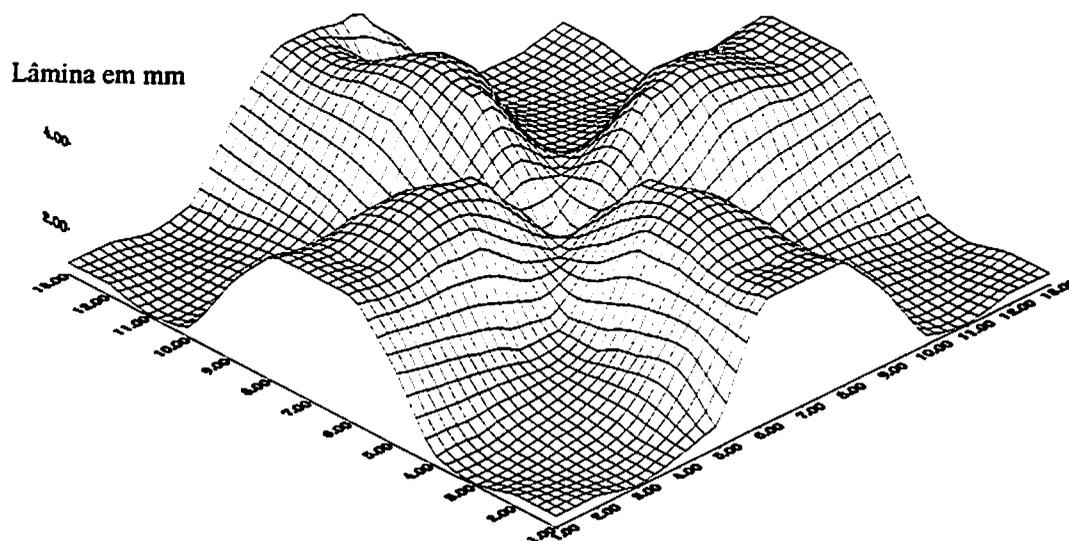


FIGURA 19 - Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício $\frac{1}{4}$ do círculo
CUC = 55 %

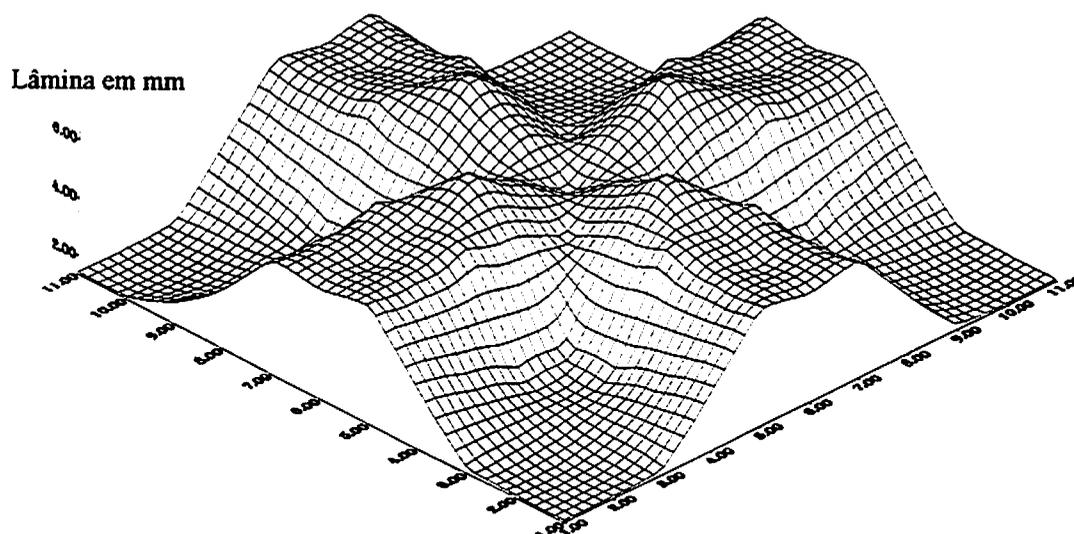


FIGURA 20 - Perfil de distribuição em superfície para o bocal com orifício $\frac{1}{2}$ círculo
CUC = 55 %

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foram produzidos e avaliados os bocais com as suas respectivas formas de orifício, os resultados encontrados nos proporcionam as seguintes conclusões:

- Dentre as formas de orifício produzidos pelo fabricante, o bocal que possui a forma quadrado apresentou os melhores coeficientes de uniformidade para os espaçamentos entre aspersores estudados, portanto para o aspersor utilizado nesta avaliação, recomenda-se o bocal com o orifício quadrado.

- Para os orifícios produzidos no laboratório, o bocal com forma de orifício $\frac{1}{4}$ do círculo quadrada, duplo círculo e elíptico apresentaram-se superiores aos demais, portanto estas devem ser recomendadas para este aspersor.

- A forma de orifício circular apresentou os menores coeficientes de uniformidade, tanto para os bocais produzidos pelo fabricante, como para os bocais produzidos no laboratório. Portanto, esta forma de orifício não deve ser recomendada para este aspersor com os espaçamentos estudados.

- O processo de fabricação utilizado no laboratório foi satisfatório no que tange à perda de pressão, visto que a diferença de pressão no tubo de subida e na saída não se diferenciou daquelas encontradas para os bocais produzidos pelo fabricante.

- Com base neste trabalho, verificou-se um efeito significativo da forma do orifício do bocal no coeficiente de uniformidade de Christiansen para este aspersor, portanto recomenda-se este mesmo estudo para outros modelos de aspersor à diferentes pressões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 1989. 488 p.
- BILANSKI, W.K.; KIDDER, E.H. Factors that affect the distribution of water from a medium pressure rotary irrigation sprinkler. **Transations 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. 73p. (Tese - Mestrado em Irrigação e Drenagem).
- CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. 124p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION- ISO **Agricultural irrigation equipment - rotating sprinklers**, ISO - 7749. Switzerland, 1990. 6p.
- KHOL, R.A. Drop size distribution from medium sized agricultural sprinklers. **Transations of ASAE**, St. Joseph, v.17, n.4, p. 690 - 693, 1974.
- LI, J. Sprinkler performance as funtion of nozzle geometrical parameters. **Journal of the Irrigation and Drainage**, ASCE, New York, v.122, n.4, p.244 - 247, 1996.
- LI, J., KAWANO, H.; YU, K. Droplet size distributions fron different shaped sprinkler nozzles. **Transations of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 6, p.1871 - 1878, 1994.
- OLLITA, 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. **Simulação das perdas de água por evaporação e da uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão**. Viçosa: UFV, 1995. 95p. (Tese- Doutorado em Irrigação e Drenagem).
- VILAS BOAS, M.A. **Análise de métodos de amostragem da distribuição espacial da água de aspersores rotativos**. Lavras: UFLA, 1994. 121p.(Tese - Mestrado em Irrigação e Drenagem).

ANEXO

QUADRO 7 - Análise de variância para ROTAÇÃO dos bocais produzidos pelo fabricante

Fonte de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F.
Tratamento	2	0.07870749	0.039335374	0.853
Resíduo	9	0.4151869	.04613188	

n.s. : Não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste. F

Coefficiente de variação = 10,664 %

QUADRO 8 - Comparações pelo Teste de TUKEY ao nível de 5 %

Tratamento	Dados	Médias
1(quadrangular)	4	2.13 a
2(triangular)	4	1.96 a
3(circular)	4	1.96 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferiram significativamente pelo teste TUKEY, ao nível de 5 % de probabilidade.

QUADRO 9 - Análise de variância para VAZÃO dos bocais produzidos pelo fabricante

Fonte de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F.
Tratamento	2	5058.800	2529.400	74.797 *
Resíduo	6	202.9023	33.81706	

* Significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

Coefficiente de variação = 1,607 %

QUADRO 10 - Comparações pelo Teste de TUKEY ao nível de 5 %

Tratamento	Dados	Médias
3 (circular)	3	388 a
2 (triangular)	3	366 b
1 (quadrangular)	3	331 c

QUADRO 11 - Análise de variância para ROTAÇÃO dos bocais produzidos no Laboratório

Fonte de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F.
Tratamento	7	0.6512442	0.09303488	3.463
Residuo	24	0.6447438	.02686433	

Coefficiente de variação = 8,539 %

QUADRO 12 - Comparações pelo Teste de TUKEY ao nível de 5 %

Tratamento	Dados	Médias
4(¼ do círculo)	4	2.14 a
5(½ círculo)	4	2.14 a
3(circular)	4	1.94 ab
6(chave)	4	1.90 ab
8(duplo círculo)	4	1.90 ab
1(quadrangular)	4	1.82 ab
7(elíptico)	4	1.79 ab
2(triangular)	4	1.73 b

QUADRO 13 - Análise de variância para VAZÃO dos bocais produzidos no Laboratório

Fonte de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F.
Tratamento	7	4945.314	706.4735	31.911
Resíduo	16	354.2197	22.13873	

Coefficiente de variação = 1,28 %

QUADRO 14 - Análise de variância para comparação entre os bocais produzidos no Laboratório e pelo Fabricante

Fonte de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F.
Tratamento	5	1564.727	312.9453	902.137
Resíduo	12	4.162720	.3468933	

Coefficiente de variação = 0,933 %

QUADRO 15 - Comparações pelo Teste de TUKEY ao nível de 5 %

Tratamento	Dados	Médias
5(triangular F.)	3	74.2 a
2(triangular B.)	3	69.3 b
6(circular F.)	3	69.0 b
3(circular B.)	3	64.6 c
4 (quadrangular F.)	3	51.2 d
1(quadrangular B.)	3	50.1 d

QUADRO 16 - Comparações pelo Teste de TUKEY ao nível de 5 % para os CUC

Tratamento	Dados	Médias
<i>7 metros entre aspersores</i>		
4(¼ do círculo)	4	91 a
1(quadrangular)	4	90 ab
8(duplo círculo)	4	89 ab
7(elíptico)	4	81 bc
3(circular)	4	79 c
6(chave)	4	79 c
2(triangular)	4	77 c
5(½ círculo)	4	72 c