



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO DESEMPENHO DA
IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO**

MICAELA SOUZA FERREIRA

Brasília, DF
Dezembro/2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO DESEMPENHO DA
IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO**

MICAELA SOUZA FERREIRA

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO LOPES DA SILVA

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Brasília, DF
Dezembro/2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Ferreira, Micaela Souza.

“INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO DESEMPENHO DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO”/ Micaela Souza Ferreira; Cícero Lopes da Silva; – Brasília 2011 - 38 p.: il.

Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2011.

Cessão de direitos

Nome da Autora: MICAELA SOUZA FERREIRA

Título da Monografia de Conclusão de Curso: INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO DESEMPENHO DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO.

Grau: BACHAREL **Ano:** 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

MICAELA SOUZA FERREIRA.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO DESEMPENHO DA
IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO**

MICAELA SOUZA FERREIRA

Matrícula - 08/51892

Monografia de graduação apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para obtenção de grau de Engenheiro Agrônomo.

APROVADA EM BRASÍLIA, 14 DE DEZEMBRO DE 2011 POR:

CÍCERO LOPES DA SILVA (ORIENTADOR)

Dr. em Engenharia Agrícola (UFV) e Professor da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB

TAIRONE PAIVA LEÃO (EXAMINADOR INTERNO)

Dr. em Agronomia (USP/ESALQ) e Professor da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB

DELVIO SANDRI (EXAMINADOR INTERNO)

Dr. em Engenharia Agrícola (UNICAMP) e Professor da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB

Dedico este trabalho, principalmente a Deus, a minha família, e
a todos os meus amigos que fazem parte da minha vida.

Muito Obrigada.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradecer a Deus, porque sem Ele nada seria possível.

A minha mãe, Neuza Rosa de Souza, por todos esses anos de educação, amor, carinho, sabedoria e dedicação. Sou eternamente grata a Deus por ter escolhido você para ser minha mãe e por me ensinar princípios e valores para o meu crescimento como pessoa. Amo muito você.

As minhas tias, Neide Rosa de Souza e Nadi Rosa de Souza, pelo imenso amor, carinho e afeto, por sempre estarem ao meu lado, me aconselhando e ajudando a tomar as decisões certas, por fazerem parte do meu crescimento profissional e pessoal, sempre me incentivando e elogiando. Amo vocês.

Ao meu namorado, Rubens Luiz da Cruz Junior, por me auxiliar e estar presente em importantes momentos da minha graduação, se mostrando companheiro e sábio para me ajudar a fazer as escolhas certas, sempre com muito amor e carinho. Eu te amo muito!

Aos meus avós, Miguel Rosa Magalhães e Alzira Pires Magalhães, pela sabedoria, cuidado, por tudo de maravilhoso que eles fizeram por mim no decorrer da minha vida e por me ensinarem valores que levarei sempre. Que Deus abençoe e guarde suas vidas. Amo muito vocês.

Aos meus amigos, Everton Batista Resende, Victor de Oliveira, Fernando Arthur dos Santos Lima, Diego de Paula, Moíra Paranaguá Nogueira, Bruna Pinheiro, Carlos Roberto Oliveira Junior, Bianca Maciel e Roney Brum, por estarem comigo sempre, proporcionando momentos de sabedoria, companheirismo, alegria e diversão. Obrigada.

Agradeço em especial ao Professor Dr. Cícero Lopes da Silva, pela oportunidade concedida de trabalhar ao seu lado, pelos momentos de ensinamento e dedicação, pela confiança em mim depositada, por todos os conhecimentos passados com entusiasmo e satisfação. Muito Obrigada.

Ao Professor Dr. Tairone Paiva Leão, pela participação na banca examinadora de monografia e por toda a ajuda e apoio nas análises estatísticas. Obrigada.

Agradeço ao Professor Dr. Delvio Sandri, pela participação nesta banca e pelo conhecimento passado.

Agradeço a todos os funcionários da FAV e da FAL, em especial, Diovaner Menezes Pires, pela ajuda na realização do projeto, prontidão, e bom humor.

Ao MSc. Manuel Pereira de Oliveira Junior, pela amizade, pela ajuda prestada na realização do projeto e pela confiança.

Aos meus professores, pelos ensinamentos, entusiasmo, dedicação e amizade. Muito Obrigada.

Agradeço aos colegas do curso de Agronomia pelos anos de amizade e por todo conhecimento adquirido e compartilhado, os quais nunca serão esquecidos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1 – Local e instalação.....	17
2.2 – Cálculos e delineamento estatístico.....	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
3.1 – Eficiências observadas.....	22
3.2 – Eficiência de aplicação estimada.....	26
3.3 – Eficiência de distribuição estimada.....	28
4. CONCLUSÕES.....	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
ANEXOS.....	33

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Representação da malha de coletores e disposição do aspersor no ensaio de campo.....17
- Figura 2.** Disposição do coletor em relação ao solo.....18
- Figura 3.** Distribuição de água (mm) do aspersor no espaçamento de 12 x 12 m, na pressão de serviço de 20 m.c.a, nos horários de 08:00 (A) e 12:00 (B) horas e nas datas 1 - 24/6/2011; 3 - 18/8/2011; e 5 - 03/11/2011.....24
- Figura 4.** Distribuição de água (mm) do aspersor no espaçamento de 12 x 12 m na pressão de serviço de 30 m.c.a, nos horários de 08:00 (A) e 12:00 (B) horas e nas datas 2 - 30/6/2011; 4 - 19/8/2011; e 6 - 04/11/2011.....25
- Figura 5.** Dispersão entre valores das eficiências de aplicação de água observadas e estimadas com a Equação $Ea_e = 63,79 + 0,31UR$27
- Figura 6.** Dispersão entre valores das eficiências de distribuição de água observadas e estimadas com a Equação $Ed_e = 95,78 - 4,4VV$29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Eficiência de distribuição (Ed) de acordo com o coeficiente de uniformidade (CUC) para 60 a 95 % de área adequadamente irrigada.....19

Tabela 2. Valores médios das variáveis independentes: velocidade do vento (VV), temperatura (T), umidade relativa (UR); e das variáveis dependentes: lâmina média coletada (Lm), vazão do aspersor (qa), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), eficiência de distribuição (Ed), eficiência de aplicação (Ea) e eficiência de irrigação (Ei), em função das pressões de serviço (PS 20 e 30 m.c.a), nos horários de 08:00 e 12:00 horas e nas datas 1 - 24/6/2011; 2 - 30/6/2011; 3 - 18/8/2011; 4 - 19/8/2011; 5 - 03/11/2011; e 6 - 04/11/2011.....22

Tabela 3. Valores de eficiência de aplicação observados (Ea_o) e estimados (Ea_e) pela equação de regressão para as duas pressões de serviço (PS) do aspersor, nos horários de 08:00 e 12:00 horas e nas datas 1 - 24/6/2011; 2 - 30/6/2011; 3 - 18/8/2011; 4 - 19/8/2011; 5 - 03/11/2011; e 6 - 04/11/2011.....27

Tabela 4. Valores de eficiência de distribuição observada (Ed_o) e estimada (Ed_e) pela equação de regressão para as duas pressões de serviço (PS) do aspersor, nos horários de 08:00 e 12:00 horas e nas datas 1 - 24/6/2011; 2 - 30/6/2011; 3 - 18/8/2011; 4 - 19/8/2011; 5 - 03/11/2011; e 6 - 04/11/2011.....29

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO DESEMPENHO DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Autora: MICAELA SOUZA FERREIRA

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO LOPES DA SILVA

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho, avaliar o desempenho da irrigação por aspersão, no Distrito Federal, quanta eficiência de aplicação e distribuição, nas datas de 24 e 30-6-2011 (primeira época), 18 e 19-8-2011 (segunda época) e 03 e 04-11-2011 (terceira época), para as pressões de serviço de 20 e 30 m.c.a, nos períodos do dia (08:00 e 12:00 horas) e estabelecer um modelo estatístico que considere o efeito das diferentes variáveis sobre o desempenho da aspersão. O aspersor utilizado foi da marca NaanDan, modelo 4455, com bocais de 5,4 x 3,0 mm, disposto no centro de uma malha composta de 144 coletores espaçados entre si de 3 m. A duração de cada ensaio foi de 3 horas. O delineamento estatístico utilizado foi em blocos completos casualizados para o fator pressão de serviço, o fator época em subparcela e o período do dia constituindo as repetições. No modelo de regressão que estimou a eficiência de aplicação, apenas a umidade relativa influenciou significativamente na estimativa da variável dependente Ea. A velocidade do vento influenciou de forma mais significativa a eficiência de distribuição do que a pressão de serviço. Não houve diferenças entre as épocas do ano para os valores de eficiência de irrigação e aplicação. As eficiências de irrigação observadas apresentaram valores aceitáveis segundo a literatura. Os modelos estatísticos gerados podem ser usados para estimativa de eficiência de aplicação e distribuição em aspersores que apresentem diâmetros semelhantes e dentro das amplitudes observadas nas variáveis climáticas.

Palavras-chave: irrigação por aspersão, eficiência de aplicação, eficiência de distribuição

INFLUENCE OF CLIMATIC VARIABLES IN SPRINKLER IRRIGATION PERFORMANCE

Author: MICAELA SOUZA FERREIRA

Adviser: Prof. Dr. CÍCERO LOPES DA SILVA

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the performance of sprinkler irrigation in the Federal District, Brazil, what application efficiency and distribution, the dates of 24th and the 30th of June of 2011 (first season), 18th and 19th of August of 2011 (second season) and 3rd and 4th of November of 2011 (third season), for operating pressures of 20 and 30 m.c.a, the periods of the day (08:00 and 12:00 hours) and establish a statistical model that considers the effect of different variables on the performance of the sprinkler. The sprinkler was used Naan Dan brand; model 4455, with nozzles of 5.4 x 3.0 mm, arranged in the center of a mesh consists of 144 collectors spaced 3 m. The duration of each test was 3 hours. The statistical design was in complete randomized blocks for operating pressure in the plot and season in the sub-plot and the period of the day as replications. In the regression model that estimated the efficiency of application, only the relative humidity significantly influenced the dependent variable and estimated. The wind speed influenced more significantly the efficiency of the distribution of pressure. There were no differences between seasons for the values of irrigation efficiency and application. The irrigation efficiencies observed values were acceptable according to the literature. The statistical models generated can be used to estimate the application efficiency and distribution in sprinklers that have similar diameters and within the ranges observed in the climatic variables.

Keywords: sprinkler irrigation, application efficiency, distribution efficiency.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é uma operação agrícola que tem como finalidade básica disponibilizar água à planta, mantendo o solo com umidade adequada, utilizando para isto diferentes métodos de irrigação (Rezende et al., 1998).

Um dos métodos é a aspersão convencional que tem como objetivo principal distribuir água no solo na forma de chuva de baixa intensidade, de tal maneira que possa ser infiltrada sem escoamento superficial (Christiansen, 1942). Contudo, Freitas et al. (2003) afirmam que nenhum sistema de irrigação é capaz de aplicar água com perfeita uniformidade e, para aumentar o grau da uniformidade de aplicação são necessários investimentos para aquisição de sistemas mais eficientes, para adequação do já existente ou ainda, para cobrir o custo de mão-de-obra com o manejo de irrigação.

Nos estudos da eficiência de irrigação por aspersão, além dos problemas com a uniformidade de distribuição, as perdas de água também reduzem a eficiência do sistema. Segundo Keller e Bliesner (1990) o excesso de irrigação é, talvez, a maior causa das perdas de água em qualquer sistema de irrigação, pois além do excesso de irrigação devido a um manejo inadequado, as principais causas associadas ao desperdício de água na aspersão são: evaporação das gotas aspergidas e da água da superfície do solo e das folhas, gotas de pequeno diâmetro arrastadas pelo vento (deriva), desperdício nas bordas das áreas irrigadas e em vazamentos.

O desperdício da água traz conseqüências ambientais e socioeconômicas, tornando cada vez mais importante o seu uso eficiente, que obviamente, varia de região para região e de época para época; por exemplo, em regiões áridas e semi-áridas a necessidade de água é maior que em regiões úmidas; portanto, os custos, os benefícios e o uso propriamente dito da água devem ser considerados; além disso, os fatores de ordem econômica e social também são importantes e, em muitos casos, a educação tem levado à conservação e ao melhor uso da água disponível (Paz et al., 2000).

Ainda segundo o autor acima, a eficiência do uso da água de irrigação integra vários componentes, considerando-se, entre outros, as perdas que ocorrem nos reservatórios, na condução e na aplicação das parcelas irrigadas. Vários trabalhos apontam baixos valores de eficiência, indicando a necessidade de utilização de estratégias de manejo para estimativa da quantidade de água a ser aplicada e a operação adequada de sistemas, proporcionando melhoria dos níveis de eficiência. Os métodos e equipamentos de irrigação podem e devem

ser aprimorados para reduzir as perdas e induzir ao manejo adequado em conjunto com o solo, a planta e o clima, com ganhos de eficiência do uso da água. Em média geral, considerando todos os métodos, a eficiência de irrigação é de 37% a nível mundial. Entretanto pequenos aumentos na eficiência produzem incrementos significativos na água disponível para outros fins, principalmente em situações de competição pelo uso; quanto maior a eficiência, menores os custos de bombeamento, condução e distribuição da água de irrigação.

Evangelista et al. (2010) definiu a eficiência de irrigação a partir do produto de três eficiências: distribuição, aplicação e condução, esta última considerada igual a um, quando o equipamento não apresenta vazamento algum no sistema de condução. Segundo Bernardo et al. (2008) a eficiência de irrigação (E_i) representa a relação entre a quantidade de água armazenada no sistema radicular e a quantidade total derivada da fonte, porém o seu conceito é muito mais amplo atualmente, pois deve levar em conta aspectos econômicos, sociais e ambientais. A uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água dos sistemas de irrigação por aspersão são importantes parâmetros que expressam a qualidade da irrigação.

Bernardo et al. (2008) definiu a eficiência de aplicação (E_a) como sendo a razão entre o volume de água armazenada na zona radicular, ou seja, o volume considerado útil para a cultura, e o volume total de água aplicada no sistema. Já a eficiência de distribuição (E_d) é a relação entre a lâmina mínima aplicada na área adequadamente irrigada e a lâmina média total aplicada. Contudo, Pinto et al. (2006) constataram que variáveis climáticas como, por exemplo, a umidade relativa e a velocidade do vento, prevaletentes durante uma irrigação, afetam a eficiência de aplicação. Já uniformidade de distribuição, segundo Christiansen (1942), depende do perfil de distribuição produzido pelo aspersor que, por sua vez, é função da velocidade do vento, da pressão de serviço, da uniformidade de rotação do aspersor, da altura de elevação, diâmetro do bocal e espaçamento entre aspersores.

Segundo Frizzone (1992), o coeficiente de uniformidade de distribuição da água e a eficiência de aplicação são os principais parâmetros utilizados na avaliação da eficiência de irrigação, pois expressam a qualidade da irrigação e são decisivos no planejamento e na operação desse sistema. O coeficiente de uniformidade exprime a variabilidade da lâmina de irrigação na superfície do solo e é influenciado, principalmente, pelo espaçamento entre aspersores, velocidade do vento e pressão de serviço. As medidas de eficiência quantificam fisicamente a qualidade da irrigação e dependem da uniformidade e do manejo do sistema.

Muitos coeficientes são usados para expressar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão. O primeiro deles foi proposto por

Christiansen (1942) e adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão, chamado de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC). O CUC é o coeficiente mais conhecido e, pela sua simplicidade, o mais utilizado. Por convenção, 80% representam, em geral, o seu valor mínimo aceitável para culturas de baixo valor comercial no sistema de irrigação por aspersão. Segundo Gomes (1994) admitem-se valores de CUC < 80%, se a área a irrigar recebe chuvas durante o período de irrigação, se a planta possui sistema radicular profundo ou, ainda, se a economia obtida no custo da instalação, com maiores espaçamentos entre aspersores e entre linhas laterais, compensar a redução do rendimento da cultura irrigada.

Ribeiro (1982) menciona que o vento é o fator climático responsável pelas maiores variações na uniformidade e na eficiência de aplicação de água, sob irrigação por aspersão. Já Bernardo et. al. (2008) afirma que, além da velocidade do vento, a umidade relativa e a temperatura do ar também exercem influência marcante no uso da irrigação por aspersão. Segundo Withers e Vipond (1977) o efeito do vento no perfil de distribuição de água do aspersor pode ser atenuado pela diminuição do espaçamento entre aspersores, no sentido perpendicular à direção do vento.

A influência dos efeitos do vento em relação à uniformidade de distribuição de água de aspersores tem sido bastante discutida na literatura (Azevedo et al., 2000; Carrión et al., 2001; Conceição e Coelho, 2003; Beskow et al., 2008a; 2008b; Faria et al., 2009; Oliveira et al., 2009). Em seus estudos, Azevedo et al. (2000) observaram que a velocidade do vento foi o fator que mais influenciou na uniformidade de distribuição de água, seguido pela pressão de serviço, espaçamento entre aspersores na linha lateral, espaçamento entre linhas laterais, direção do vento em relação à linha lateral e velocidade de rotação do aspersor.

Em virtude da importância dos efeitos danosos do vento sobre a uniformidade de distribuição e perdas de água de aspersores, a modelagem matemática tem sido bastante utilizada (Oliveira et al., 2009). Carrión et al. (2001) e Playa et al. (2006) utilizaram a teoria balística para simular a distribuição espacial de água aplicada por aspersores de média pressão em diferentes condições de vento, sendo a adequação do modelo SIRIAS (Carrión et al., 2001) comprovada no trabalho de Conceição e Coelho (2003)

No trabalho de Evangelista et al. (2010) em pivô-central, houve diferenças entre as variáveis independentes umidade relativa, velocidade do vento e temperatura em função do período do dia e do ano, sugerindo que essas podem ser responsáveis pela diferença entre os parâmetros dependentes analisados, em especial E_a que, apesar de não ter sido significativa a 5%, o foi a 5,5% de probabilidade. Além de que, só no período da manhã é que se observou

nítida variação entre as três épocas avaliadas, o que está em consonância com a interação entre velocidade de deslocamento e época do ano para as variáveis independentes, umidade relativa e velocidade do vento.

De acordo com Heinemann et al. (1998), devido à crescente necessidade de conservação e usos alternativos do recurso água; ao custo da energia; ao custo dos insumos e à estabilidade dos preços dos produtos agrícolas, os sistemas de irrigação, para serem vantajosos economicamente, devem proporcionar uma aplicação de água uniforme e eficiente. Uma das maneiras de avaliar se os sistemas de irrigação estão operando de forma adequada, consiste de acordo com Fietz et al. (1999) na utilização de modelos matemáticos, os quais possuem uma série de vantagens, sendo a principal, a possibilidade de simular o desempenho de um sistema de irrigação com modelos oriundos de outros locais.

Na região Centro-Oeste do Brasil, a irrigação é uma técnica essencial para uma produção economicamente viável, pois com a predominância do cerrado tem-se um clima bem definido, com uma estação chuvosa que vai de outubro a abril e outra estação seca, que vai de maio a setembro, representando as estações do outono e inverno, respectivamente. A estação seca leva a um grande déficit hídrico das culturas, por isso é necessário fazer uso da irrigação. Contudo essa técnica deve ser usada para expressar sua máxima eficiência de irrigação, reduzindo as perdas e o desperdício de água potável.

Objetivou-se nesse trabalho, avaliar o desempenho da irrigação por aspersão, quanta eficiência de aplicação e distribuição, em diferentes datas, sob variações climáticas, para as pressões de serviço de 20 e 30 metros de coluna de água (mca) e estabelecer um modelo estatístico que considere o efeito das diferentes variáveis sobre o desempenho da aspersão.

As hipóteses a serem confirmadas são:

- 1 – A eficiência de aplicação é mais influenciada significativamente pela velocidade do vento e umidade relativa;
- 2 – A velocidade do vento e pressão de serviço influenciam a eficiência de distribuição;
- 3 – Há diferenças entre as épocas do ano para os valores de eficiência de irrigação e aplicação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Local e instalação

Para a determinação das variáveis, eficiência de distribuição (E_d), eficiência de aplicação (E_a) e eficiência de irrigação (E_i) utilizou-se um aspersor instalado na Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, localizada em Brasília, DF, numa área com coordenadas geográficas médias em torno de $15^\circ 56'$ de latitude sul e $47^\circ 56'$ de longitude oeste e 1080 m de altitude, com inclinação de aproximadamente 4%.

O aspersor utilizado foi da marca NaanDan, modelo 4455, com bocais de 5,4 x 3,0 mm, disposto no centro de uma malha (Figura 1), composta de 144 coletores espaçados entre si de 3 m, com o aspersor instalado a uma altura de 1,25 m da superfície do solo, resultando uma diferença de altura de 0,50 m do bocal do aspersor em relação à borda superior do coletor. A coleta de água durante os ensaios foi feita em coletores da marca Fabrimar, cujo diâmetro da borda superior era 0,08 m, fixados em hastes metálicas, de forma a ficarem a uma altura de aproximadamente 0,75 m da superfície do solo (Figura 2).

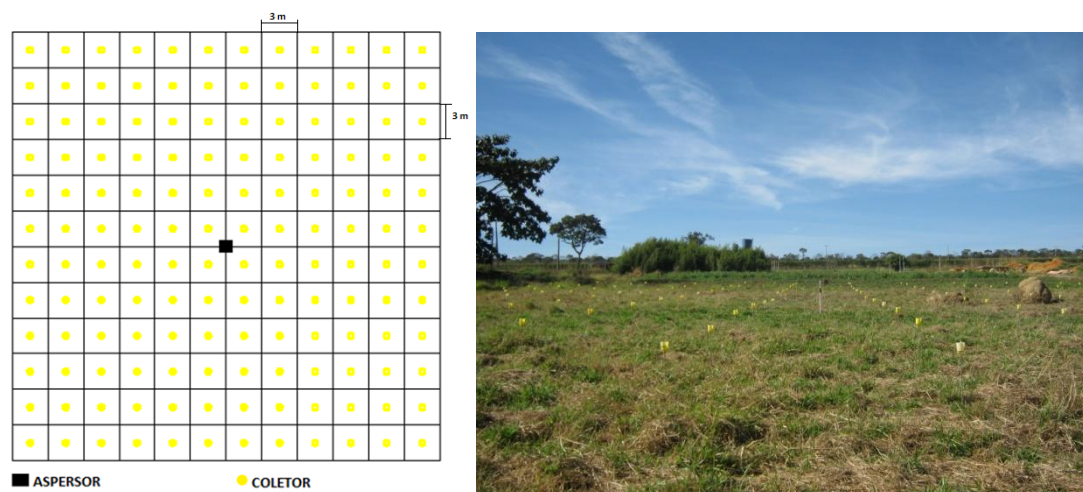


Figura 1. Representação da malha de coletores e disposição do aspersor no ensaio de campo.

Foram utilizadas as pressões de serviço (PS) 20 e 30 m.c.a, com dois ensaios, um às 08h00min h e o outro com início às 12h00min, visando quantificar o efeito da variação de fatores climáticos ao longo do dia. Em cada ensaio se registraram a velocidade do vento (VV), a umidade relativa (UR) e a temperatura do ar (T).



Figura 2. Disposição do coletor em relação ao solo.

Durante os testes de campo utilizou-se um manômetro com escala de 0 a 1000 kPa e precisão de 20 kPa, para o acompanhamento da pressão de operação na entrada do bocal do aspersor. Para que se pudesse variar (para mais ou para menos) a pressão de operação do aspersor, foi instalada uma válvula de gaveta na linha lateral, próxima ao tubo de subida do aspersor. A duração de cada ensaio foi de 3 horas, sendo o volume de água armazenado em cada coletor medido com o auxílio de provetas graduadas de 0,1L, 0,05L e 0,01L, logo após o término da irrigação. Esses volumes coletados foram transformados em lâminas de água.

As variáveis meteorológicas pertinentes ao estudo (temperatura e umidade relativa) foram monitoradas e registradas em intervalos regulares de 15 minutos em uma estação automática, localizada a uma distância de 300 m da área de estudo e a velocidade do vento foi determinada com auxílio de anemômetro digital portátil, instalado a 2 m de altura em relação à superfície do solo na área do teste; a leitura desse instrumento foi feita a cada 15 minutos durante o ensaio.

Realizou-se após a transformação dos volumes para lâminas de água, a sobreposição dos dados de cada ensaio para o espaçamento de 12 m entre aspersores e 12 m entre linhas laterais, calculando assim o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUC).

Os ensaios foram realizados em seis datas: 1) 24-6-2011; 2) 30-6-2011; 3) 18-8-2011; 4) 19-8-2011; 5) 03-11-2011; e 6) 04-11-2011. Para as datas 1, 3 e 5 foi usada a pressão de serviço de 20 m.c.a, já para as datas 2, 4 e 6 realizou-se os ensaios com 30 m.c.a de pressão. As datas foram escolhidas para determinar o desempenho do sistema de irrigação em diferentes condições climáticas, para 1 e 2 numa época seca e fria; 3 e 4, seca e quente; e 5 e 6, quente e úmida.

2.2 – Cálculos e delineamento estatístico

Estimou-se a uniformidade de distribuição de água por meio do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) expressa pela Equação 1.

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

em que:

n = numero de quadrículas após a sobreposição;

X_i = precipitação individual em cada quadrícula, em mm;

\bar{X} = precipitação média de todas as quadrículas, em mm;

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %.

Para a eficiência de distribuição (Ed) foi usada a Tabela 1, extraída de Bernardo et al. (2008), onde há a relação de Ed de acordo com o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e uma área adequadamente irrigada (AAI) de 80%.

Tabela 1. Eficiência de distribuição (Ed) de acordo com o coeficiente de uniformidade (CUC) para 60 a 95 % de área adequadamente irrigada.

CUC (%)	Ed (%)							
	Área adequadamente irrigada. (%)							
	95	90	85	80	75	70	65	60
94	88	90	92	94	95	96	97	98
92	84	87	90	92	93	95	96	97
90	80	84	87	90	92	94	95	97
88	75	80	84	87	90	92	94	96
86	71	77	82	85	88	91	93	95
84	67	74	79	83	87	90	92	95
82	63	70	76	81	85	88	91	94
80	59	67	74	79	83	87	90	93
78	55	64	71	77	82	86	89	93
76	51	61	69	75	80	84	88	92
74	47	57	66	73	78	83	87	91
72	43	54	63	71	77	82	86	91
70	39	51	61	69	75	81	85	90
68	35	48	58	66	73	79	84	89
66	30	44	55	64	72	78	83	89

Fonte: Bernardo et al. (2008)

A eficiência de aplicação da água foi obtida pela Equação 2, considerando que não houve perda por escoamento superficial.

$$Ea = \frac{n \times a \times \bar{X}}{Td \times qa} \quad (2)$$

em que:

n = número de quadrículas;

a = área de cada quadrícula, em m^2 ;

\bar{X} = precipitação média de todas as quadrículas, em mm;

Td = Duração do ensaio, em horas;

qa = vazão do aspersor, em m^3/h .

Por não se ter verificado vazamento na tubulação de acesso do aspersor, considerou-se a eficiência de condução (E_c) igual a 1, obtendo a eficiência da irrigação (E_i) pela Equação 3.

$$Ei = (Ea \times Ed \times Ec) \cdot 100 \quad (3)$$

em que:

E_i = eficiência de irrigação, em %;

E_a = eficiência de aplicação potencial, em decimal;

E_d = eficiência de distribuição, em decimal;

E_c = eficiência de condução, em decimal.

O delineamento estatístico utilizado foi em blocos completos casualizados para o fator pressão de serviço na parcela, o fator época em subparcela e o período do dia constituindo as repetições. Análises de regressão foram realizadas para estabelecer um modelo estatístico para estimativa de E_a , considerando como variáveis independentes a velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa; e outro modelo para E_d , considerando como variáveis independentes, a velocidade do vento e pressão de serviço.

O modelo de regressão desenvolvido para E_a encontra-se na Equação (4), enquanto o para E_d na Equação (5).

$$Ea = aVV + bT + cUR + d(T \times VV) + e(T \times UR) + f(UR \times VV) + g(T \times VV \times UR) + h \quad (4)$$

em que:

VV = velocidade do vento, em m/s;

T = temperatura, em °C;

UR = umidade relativa do ar, em %;

a = coeficiente de ajuste para VV;

b = coeficiente de ajuste para T;

c = coeficiente de ajuste para UR;

d = coeficiente de ajuste para interação (T x VV);

e = coeficiente de ajuste para interação (T x UR);

f = coeficiente de ajuste para interação (UR x VV);

g = coeficiente de ajuste para interação (T x VV x UR);

h = coeficiente de ajuste para a equação.

$$Ed = aVV + bPS + c(VV \times PS) + d \quad (5)$$

em que:

VV = velocidade do vento, em m/s;

PS = pressão de serviço, em m.c.a.;

a = coeficiente de ajuste para VV;

b = coeficiente de ajuste para PS;

c = coeficiente de ajuste para interação (VV x PS);

d = coeficiente de ajuste para a equação.

Após a editoração dos dados os mesmos foram submetidos a uma análise de variância (Anova) e posterior análise de regressão, utilizando o programa SAS – Statistical Analysis System (SAS, 2001). Os resultados encontram-se nos Anexos 1 e 2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Eficiências observadas

Os resultados obtidos para Ed, Ea e Ei de acordo com as condições de velocidade do vento (VV), temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR), para as diferentes datas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios das variáveis independentes: velocidade do vento (VV), temperatura (T), umidade relativa (UR); e das variáveis dependentes: lâmina média coletada (Lm), vazão do aspersor (qa), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), eficiência de distribuição (Ed), eficiência de aplicação (Ea) e eficiência de irrigação (Ei), em função das pressões de serviço (PS 20 e 30 m.c.a), nos horários de 08:00 e 12:00 horas e nas datas 1 - 24/6/2011; 2 - 30/6/2011; 3 - 18/8/2011; 4 - 19/8/2011; 5 - 03/11/2011; e 6 - 04/11/2011.

PS (mca)	Período do dia (h)	Datas	VV (m s ⁻¹)	T (°C)	UR (%)	Lm (mm)	qa (m ³ h ⁻¹)	CUC (%)	Ed (%)	Ea (%)	Ei (%)
30	08:00	2	1,5	22	52	37	2,28	86	85	78	67
	12:00	2	1,9	27	32	33	2,28	86	85	70	60
	08:00	4	1,2	26	32	34	2,20	91	91	74	67
	12:00	4	1,8	29	22	31	2,20	89	88	67	59
	08:00	6	2,3	20	80	41	2,14	85	84	92	77
	12:00	6	2,0	26	54	37	2,14	89	88	83	73
20	08:00	1	1,3	25	41	30	1,85	92	92	77	71
	12:00	1	0,8	28	30	31	1,90	93	93	79	74
	08:00	3	0,8	25	27	28	1,79	91	91	74	67
	12:00	3	0,9	29	18	26	1,79	94	94	70	65
	08:00	5	2,2	20	78	32	1,77	86	85	86	73
	12:00	5	1,1	25	60	29	1,77	89	88	79	70

Os valores de CUC, Ea, Ed, e Ei são em sua maioria aceitáveis de acordo com Bernardo et. al. (2008), no entanto Ea nas datas 2, 3 e 4 (período 12:00 h) apresenta valores menores que 75% (aceitável). Para a pressão de serviço de 30 m.c.a nas datas avaliadas as vazões médias foram de: 2,28; 2,20 e 2,14 m³h⁻¹. Observa-se que esses valores estão próximos da média de 2,3 m³h⁻¹, definida pelo fabricante para essa pressão de serviço (Anexo 3). Para a pressão de serviço de 20 m.c.a as vazões médias foram 1,85; 1,79 e 1,77 m³h⁻¹.

A análise de variância (Anexo 1e e 2d) para a eficiência de aplicação de água (Ea) e eficiência de distribuição (Ed), em função das datas, pressão de serviço e período do dia (08:00 e 12:00 horas) indicou não haver diferença estatística entre elas ($P > 0,05$).

Os perfis médios de distribuição de água do aspersor para o espaçamento de 12 x 12 m, mostram o grau de distribuição desuniforme da água, onde áreas receberam quantidades maiores de água que outras (Figuras 3 e 4). Observou-se na Figura 3 que a data 3 apresentou uma maior uniformidade de distribuição de água, já na data 5 a uniformidade foi menor, porém as lâminas foram maiores, principalmente no período da manhã. Para a pressão de serviço de 30 mca (Figura 4) a distribuição mais uniforme ocorreu na data 2, isso pode ser devido aos baixos valores de velocidade do vento encontrados para essa época do ano.

Nas três épocas houve diferenças entre as lâminas coletadas na manhã (08:00 h) em relação a tarde (12:00 h). Sendo o período da manhã favorecido pelos fatores climáticos como: UR, VV e T (Tabela 1), variáveis estas que favorecem o aumento da demanda evaporativa no período da tarde.

Os valores de CUC ficaram dentro do intervalo recomendado por Ramos e Mantovani et al. (1994), que consideram como bons (80 a 90%), provavelmente devido aos baixos valores de velocidade do vento. Já os valores das eficiências de irrigação (Ei), quando associadas à eficiência de aplicação, foram aceitáveis em sua maioria ao valor que Marouelli et. al. (2001) indicam para o sistema de aspersão convencional fixo, que é de 65 - 85%.

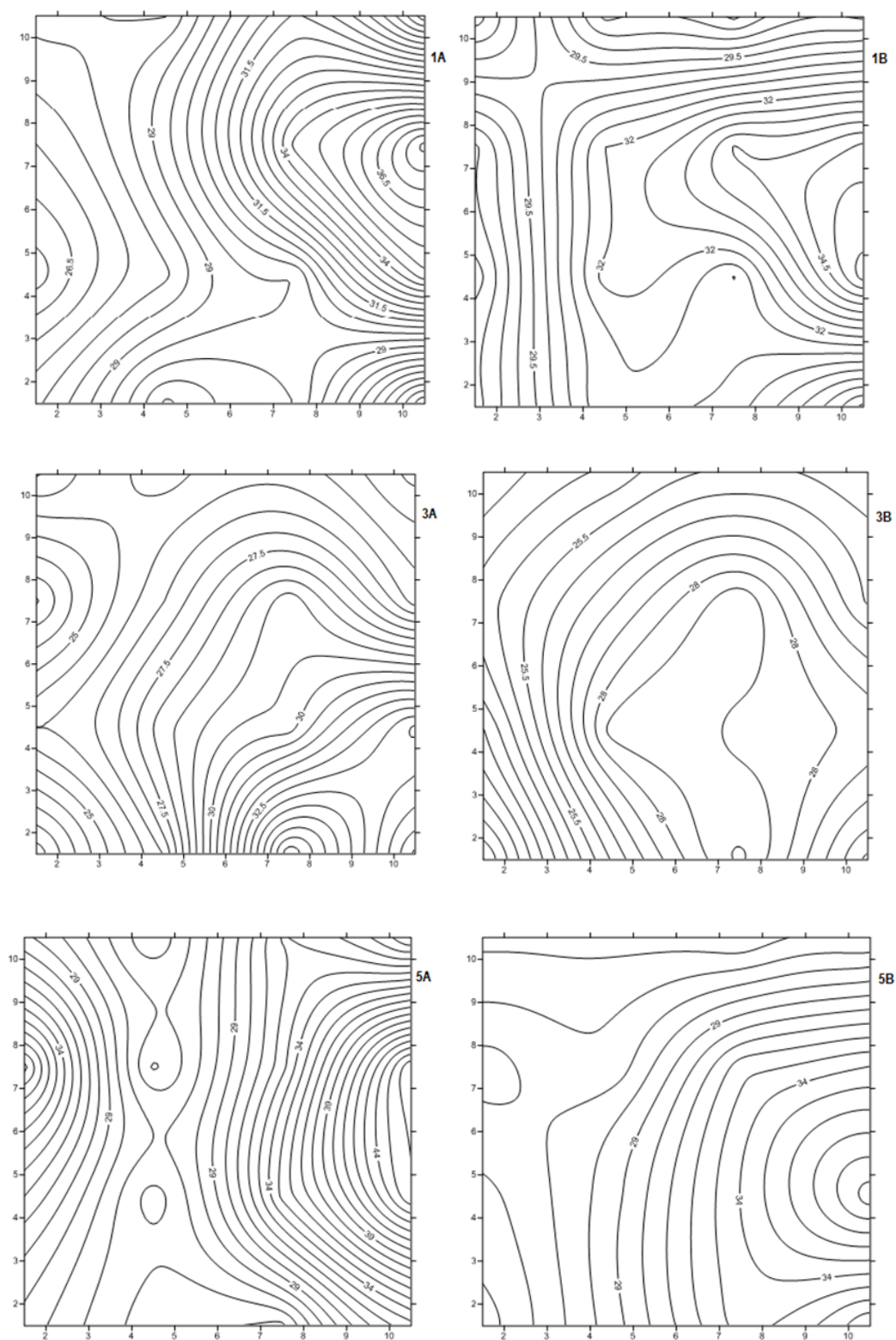


Figura 3. Distribuição de água (mm) do aspersor no espaçamento de 12 x 12 m, na pressão de serviço de 20 m.c.a, nos horários de 08:00 (A) e 12:00 (B) horas e nas datas 1 - 24/6/2011; 3 - 18/8/2011; e 5 - 03/11/2011.

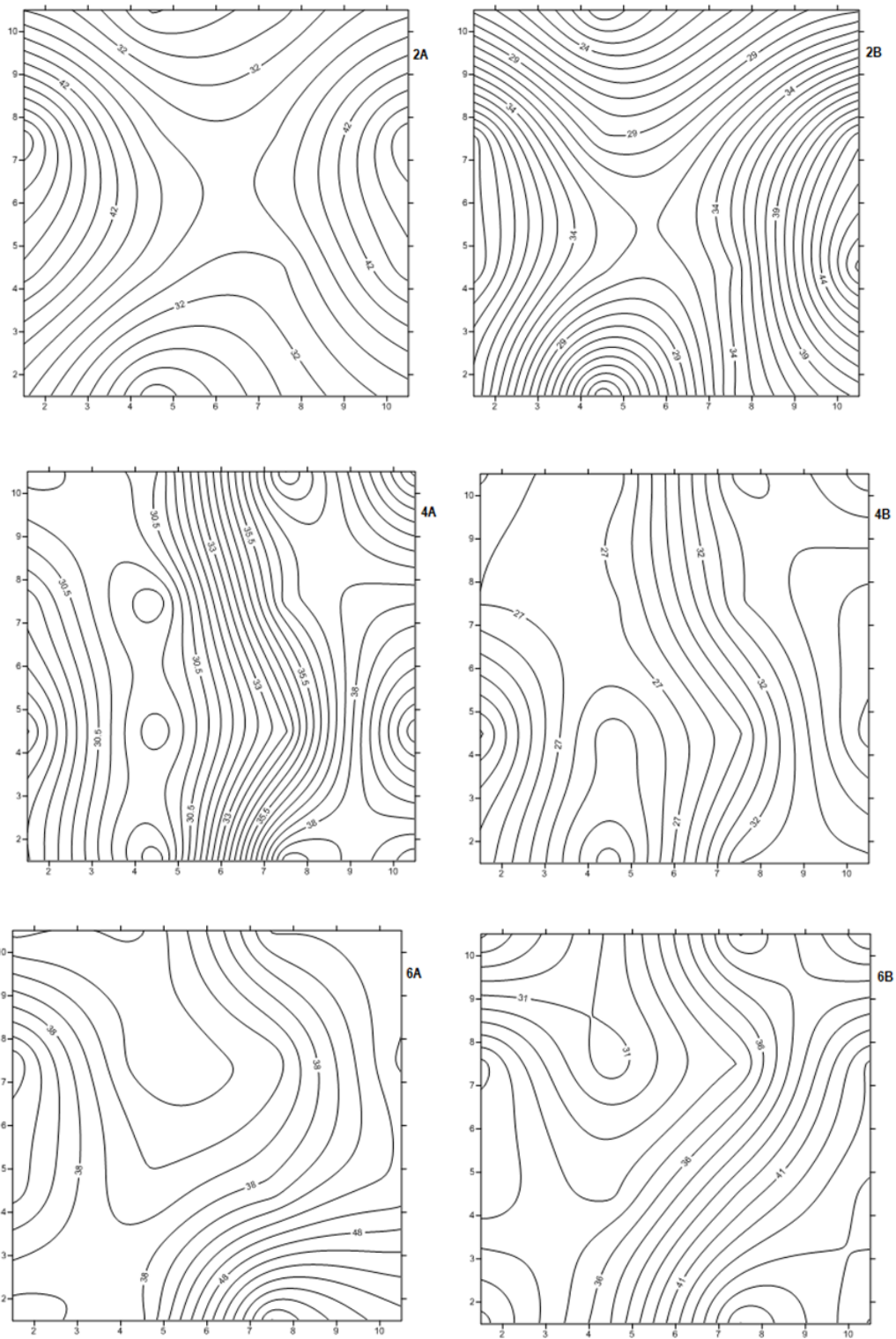


Figura 4. Distribuição de água (mm) do aspersor no espaçamento de 12 x 12 m na pressão de serviço de 30 m.c.a, nos horários de 08:00 (A) e 12:00 (B) horas e nas datas 2 - 30/6/2011; 4 - 19/8/2011; e 6 - 04/11/2011.

3.2 – Eficiência de aplicação estimada

Utilizou-se análise de variância para verificar a influência das variáveis climáticas e suas interações de acordo com a Equação 4, considerando a eficiência de aplicação como variável dependente, e temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento como variáveis independentes, pelo teste F da análise de variância verificou-se significância ($P=0,01$), as diferenças na eficiência de aplicação são explicadas pela variação nos parâmetros climáticos analisados. Entretanto ao realizar um modelo de regressão com todas as variáveis independentes, pelo teste t não houve significância ($P>0,05$) para nenhum dos parâmetros analisados (Anexo 1a).

Sendo assim, considerou-se apenas velocidade do vento e umidade relativa para uma nova análise de variância, que mostrou significância a 1%, contudo no modelo de regressão a velocidade do vento não foi significativa ($P>0,05$) (Anexo 1b).

Seguindo apenas com umidade relativa, a análise de variância foi significativa a 1%, sendo possível gerar um modelo estatístico de regressão para a eficiência de aplicação da água, de acordo com a Equação 6, com $R^2 = 0,81$ (Anexo 1c).

$$Ea_e = 63,79 + 0,31UR \quad (6)$$

em que:

Ea_e – eficiência de aplicação estimada, em %;

UR – umidade relativa do ar, em %.

Este modelo não pode ser generalizado para outros tipos de aspersores que apresentem diferentes diâmetros de bocais. Simulações em que se usou um modelo matemático obtido para um tipo de aspersor, para estimar a eficiência de outro aspersor (com diâmetro de bocal diferente), segundo Beskow et. al. (2011) não forneceram resultados satisfatórios. Nas estimativas das perdas de água por evaporação e arraste em sistemas de irrigação por aspersão convencional é de suma importância na escolha correta de um modelo de simulação, devendo-se levar em consideração quais as condições de diâmetro de bocal, pressão de operação e inclinação do jato em que os modelos foram gerados.

Com o auxílio da Equação 6 elaborou-se a Tabela 3 e Figura 5, na qual são apresentados os valores médios das eficiências de aplicação observados e estimados. Verificou-se um ajuste bom entre os valores de Ea observados e estimados ($R^2 = 0,81$),

indicando que o modelo estatístico possui potencial aceitável para estimativa da eficiência de aplicação do aspersor utilizado, dentro das amplitudes observadas para as variáveis climáticas. Porém, observou-se uma pequena tendência da Equação 6, em superestimar os menores e subestimar os maiores valores de E_a (intercepto maior que zero e declividade menor que 1).

Tabela 3. Valores de eficiência de aplicação observados (E_{a_o}) e estimados (E_{a_e}) pela equação de regressão para as duas pressões de serviço (PS) do aspersor, nos horários de 08:00 e 12:00 horas e nas datas 1 - 24/6/2011; 2 - 30/6/2011; 3 - 18/8/2011; 4 - 19/8/2011; 5 - 03/11/2011; e 6 - 04/11/2011.

PS (mca)	Período do dia (h)	Datas	E_{a_e} (%)	E_{a_o} (%)
30	08:00	2	80	78
	12:00	2	73	70
	08:00	4	73	74
	12:00	4	71	67
	08:00	6	88	92
	12:00	6	80	83
20	08:00	1	77	77
	12:00	1	73	79
	08:00	3	72	74
	12:00	3	69	70
	08:00	5	88	86
	12:00	5	82	79

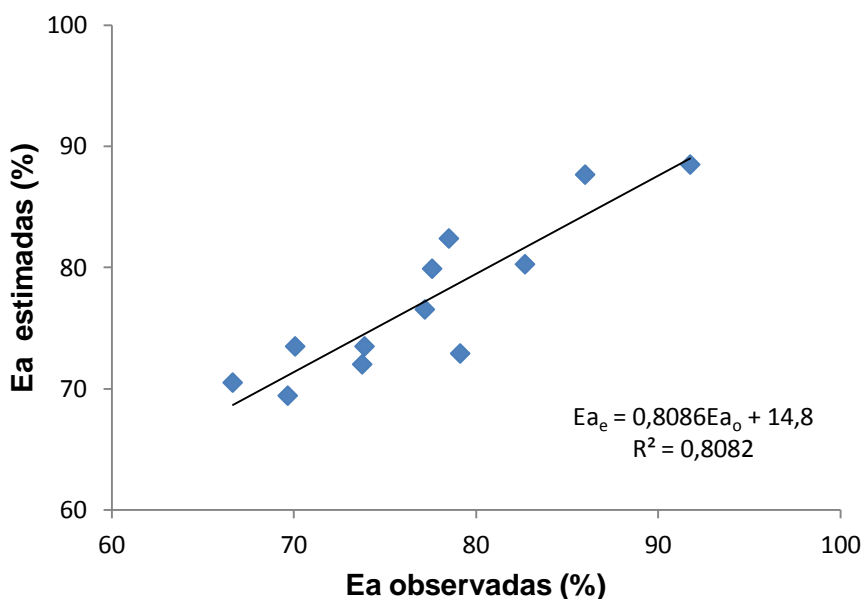


Figura 5. Dispersão entre valores das eficiências de aplicação de água observadas e estimadas com a Equação $E_{a_e} = 63,79 + 0,31UR$.

3.3 – Eficiência de distribuição estimada

A análise de variância para a eficiência de distribuição da água (E_d), em função pressão de serviço, datas e período do dia (08:00 e 12:00 horas), indicou que a pressão de serviço só foi significativa na interação, porém, comparando as médias de E_d com as duas pressões de serviço não houve diferença estatística para as pressões. Na análise de regressão, considerando os parâmetros de pressão de serviço e velocidade do vento, verificou-se que apenas a velocidade do vento foi significativa ($P < 0,05$) (Anexo 2a). Elaborou-se uma nova análise de regressão (Anexo 2b), que forneceu o coeficiente de regressão e o respectivo intercepto para um modelo estatístico que permitiu estimar a eficiência de distribuição (Equação 7), com $R^2 = 0,68$.

$$E_{d_e} = 95,78 - 4,4VV \quad (7)$$

Em que,

E_{d_e} – eficiência de distribuição estimada, em %;

VV – velocidade do vento, em m/s.

Com este modelo para E_d foi possível fazer a comparação, com o auxílio da Equação 7, entre os valores da eficiência de distribuição observada (E_{d_o}) e eficiência de distribuição estimada (E_{d_e}) (Tabela 4 e Figura 6), na qual se verificou um bom ajuste ($R^2 = 0,68$). Porém, observou-se uma pequena tendência em superestimar os menores e subestimar os maiores valores de E_d (intercepto maior que zero e declividade menor que 1).

Tabela 4. Valores de eficiência de distribuição observada (Ed_o) e estimada (Ed_e) pela equação de regressão para as duas pressões de serviço (PS) do aspersor, nos horários de 08:00 e 12:00 horas e nas datas 1 - 24/6/2011; 2 - 30/6/2011; 3 - 18/8/2011; 4 - 19/8/2011; 5 - 03/11/2011; e 6 - 04/11/2011.

PS (mca)	Período do dia (h)	Datas	Ed_e (%)	Ed_o (%)
30	08:00	2	89	86
	12:00	2	87	86
	08:00	4	90	91
	12:00	4	88	89
	08:00	6	86	85
	12:00	6	87	89
20	08:00	1	90	92
	12:00	1	92	93
	08:00	3	92	91
	12:00	3	92	94
	08:00	5	86	86
	12:00	5	91	89

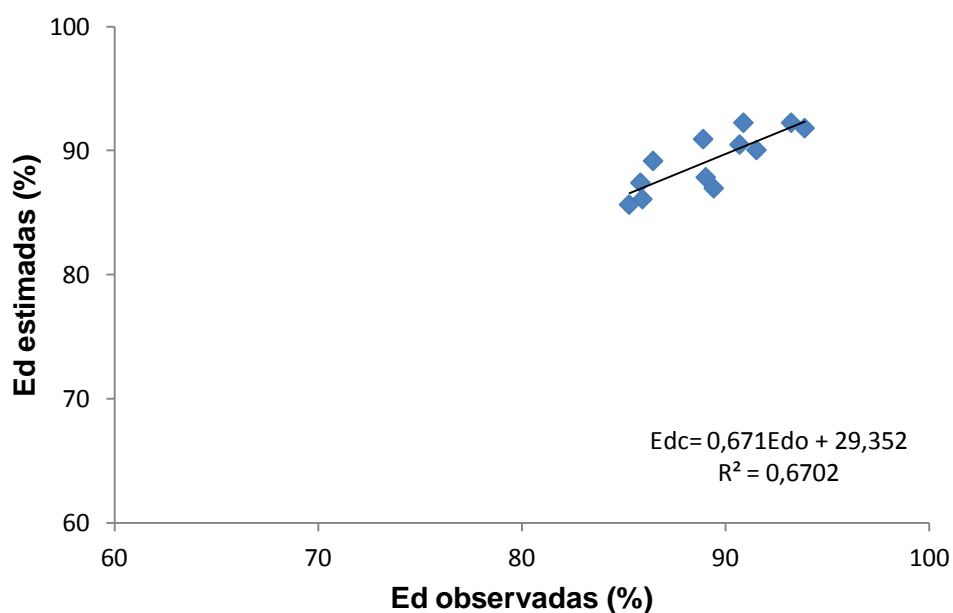


Figura 6. Dispersão entre valores das eficiências de distribuição de água observadas e estimadas com a Equação $Ed_e = 95,78 - 4,4VV$.

4. CONCLUSÕES

1. No modelo de regressão que estimou a eficiência de aplicação, apenas a umidade relativa influenciou significativamente na estimativa da variável dependente E_a .
2. A velocidade do vento influenciou de forma mais significativa a eficiência de distribuição do que a pressão de serviço.
3. Não houve diferenças entre as épocas do ano para os valores de eficiência de irrigação e aplicação.
4. As eficiências de irrigação observadas apresentaram valores aceitáveis segundo a literatura.
5. Os modelos estatísticos gerados podem ser usados para estimativa de eficiência de aplicação e distribuição em aspersores que apresentem diâmetros semelhantes e dentro das amplitudes observadas nas variáveis climáticas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

BESKOW, S.; FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; MOURA D. C. M. Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste em aspersores de média pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.3, p.221–228, 2011.

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

BESKOW, S.; COLOMBO, A.; PEREIRA, G. M.; TAVEIRA, J. H. S.; RICARDO, C. M. Simulação das perdas de água por evaporação e arraste, no aspersor NY-7 (4,6 x 4,0 mm), em sistemas de aspersão convencional. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.427-437, 2008b.

CARDOSO, H.E.A.; MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. **As águas da agricultura**. Agroanalysis. Instituto Brasileiro de Economia/Centro de Estudos Agrícolas. Rio de Janeiro. 1998. p.27-28.

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

CHRISTIANSEN, E.J. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of Califórnia, 1942, 124p. (University of Califórnia. Bulletin 670).

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

EVANGELISTA, W.; OLIVEIRA, C. A. S.; SILVA, C. L. Variáveis climáticas e o desempenho de um pivô central, em Cristalina Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.3, p.246–252, 2010.

FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E. DE; PRADO, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.427-437, 2009.

FIETZ, C.R.; FOLEGATTI, M.V.; VIEIRA, S.R.; FRIZZONE, J.A. Efeito da variabilidade do armazenamento de água no solo na qualidade da irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.150-153, 1999.

FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R.; MANTOVANI, E.C.; FRIZZONE, J.A. Viabilidade de inserção dos efeitos da uniformidade de irrigação em modelos de crescimento de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.437-444, 2003.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 53p. Série Didática, 3, 1992.

GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação**. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 344p. 1994.

HEINEMANN, A. B.; FRIZZONE, J. A.; PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. Influencia da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema tipo pivô central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.9, p.1487-1491, 1998.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 649 p.

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

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

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PINTO, J. M.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Influência de variáveis climáticas e hidráulicas no desempenho da irrigação de um pivô central no oeste baiano. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.76-85, 2006.

PLAYÁN, E.; ZAPATA, N.; FACI, J. M.; TOLOSA, D.; LACUERVA, J. L.; PELEGRI, J.; SALVADOR, R.; SANCHES, I.; LAFITA, A. Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model. **Agricultural Water Management**, v.84, p.89-100, 2006.

RAMOS, M.M.; MANTOVANI, E.C. **Sistemas de irrigação e seus componentes**. In: COSTA, E.F. da; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. (Ed.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA-CNPMS-SPI, 1994. p.41-84.

REZENDE, R.; FRIZZONE, J.A.; GONÇALVES, A.C.A; FREITAS, P.S.L. Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.257-261, 1998.

RIBEIRO, A.F.L. **Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através do modelo linear**. Fortaleza: UFCE, 1982, 89p. Dissertação Mestrado.

WITHERS, B.; VIPON, S. **Irrigação: projeto e prática**. São Paulo: E.P.U., 339p. 1977.

ANEXOS

ANEXO 1 – Eficiência de Aplicação (Ea)

Anexo 1a - Regressão com todas as variáveis independentes

The REG Procedure
Model: MODEL1
Dependent Variable: Ea

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	547.03475	78.14782	15.09	0.0099
Error	4	20.71525	5.17881		
Corrected Total	11	567.75000			

Root MSE	2.27570	R-Square	0.9635
Dependent Mean	77.25000	Adj R-Sq	0.8997
Coeff Var	2.94589		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	125.95254	76.89344	1.64	0.1768
VV	1	3.41397	60.80850	0.06	0.9579
T	1	-1.98174	2.81043	-0.71	0.5196
UR	1	-3.47253	2.09574	-1.66	0.1729
TxUR	1	0.13821	0.08657	1.60	0.1856
TxVv	1	-0.43069	2.10160	-0.20	0.8476
URxVv	1	1.18238	0.94589	1.25	0.2794
TxURxVv	1	-0.03937	0.03977	-0.99	0.3782

Anexo 1b - Regressão com VV e UR

The REG Procedure
Model: MODEL1
Dependent Variable: Ea

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	468.26003	234.13002	21.18	0.0004
Error	9	99.48997	11.05444		
Corrected Total	11	567.75000			

Root MSE	3.32482	R-Square	0.8248
Dependent Mean	77.25000	Adj R-Sq	0.7858
Coeff Var	4.30398		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	65.47207	2.92873	22.36	<.0001
VV	1	-2.23531	2.40658	-0.93	0.3772
UR	1	0.34519	0.06243	5.53	0.0004

Anexo 1c - Regressão com UR

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: Ea

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	458.72302	458.72302	42.07	<.0001
Error	10	109.02698	10.90270		
Corrected Total	11	567.75000			

Root MSE	3.30192	R-Square	0.8080
Dependent Mean	77.25000	Adj R-Sq	0.7888
Coeff Var	4.27433		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	63.78762	2.28387	27.93	<.0001
UR	1	0.30789	0.04747	6.49	<.0001

Anexo 1d - Pred vs Obs: Regressão UR

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: p Predicted Value of Ea

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	370.63287	370.63287	42.07	<.0001
Error	10	88.09015	8.80902		
Corrected Total	11	458.72302			

Root MSE	2.96800	R-Square	0.8080
Dependent Mean	77.25000	Adj R-Sq	0.7888
Coeff Var	3.84207		

Parameter Estimates

Variable	Label	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	Intercept	1	14.83458	9.66047	1.54	0.1556
Ea		1	0.80797	0.12456	6.49	<.0001

Anexo 1e - Análise de Variância para Ea em função de PS, período e época.

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
PS	2	20 30
Periodo	2	M T
Epoca	3	1 2 3

Number of observations 12

The GLM Procedure

Dependent Variable: Ea

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	481.7933333	120.4483333	9.81	0.0054
Error	7	85.9566667	12.2795238		
Corrected Total	11	567.7500000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Ea Mean
0.848601	4.536201	3.504215	77.25000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PS	1	0.2133333	0.2133333	0.02	0.8988
Periodo	1	94.0800000	94.0800000	7.66	0.0278
Epoca	2	387.5000000	193.7500000	15.78	0.0025

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PS	1	0.2133333	0.2133333	0.02	0.8988
Periodo	1	94.0800000	94.0800000	7.66	0.0278
Epoca	2	387.5000000	193.7500000	15.78	0.0025

ANEXO 2 – Eficiência de Distribuição (Ed)

Anexo 2a - Regressão de Ed com PS e VV

The REG Procedure
Model: MODEL1
Dependent Variable: Ed

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	63.52402	31.76201	9.50	0.0060
Error	9	30.08598	3.34289		
Corrected Total	11	93.61000			

Root MSE	1.82836	R-Square	0.6786
Dependent Mean	89.25000	Adj R-Sq	0.6072
Coeff Var	2.04858		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	96.51396	2.69135	35.86	<.0001
PS	1	-0.04359	0.12912	-0.34	0.7434
VV	1	-4.16233	1.23927	-3.36	0.0084

Anexo 2b - Regressão de Ed com VV

The REG Procedure
Model: MODEL1
Dependent Variable: Ed

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	63.14297	63.14297	20.73	0.0011
Error	10	30.46703	3.04670		
Corrected Total	11	93.61000			

Root MSE	1.74548	R-Square	0.6745
Dependent Mean	89.25000	Adj R-Sq	0.6420
Coeff Var	1.95572		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	95.78153	1.52063	62.99	<.0001
VV	1	-4.40328	0.96723	-4.55	0.0011

Anexo 2c – Pred VS Obs: Regressão de Ed com VV

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: p Predicted Value of Ed

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	42.59197	42.59197	20.73	0.0011
Error	10	20.55100	2.05510		
Corrected Total	11	63.14297			

Root MSE	1.43356	R-Square	0.6745
Dependent Mean	89.25000	Adj R-Sq	0.6420
Coeff Var	1.60623		

Parameter Estimates

Variable	Label	Parameter DF	Standard Estimate	Error	t Value	Pr > t
Intercept	Intercept	1	29.04799	13.23050	2.20	0.0528
Ed		1	0.67453	0.14817	4.55	0.0011

Anexo 2d - Análise de Variância para Ed em função de PS, período e época.

The GLM Procedure

Dependent Variable: Ed

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	61.30166667	15.32541667	3.32	0.0795
Error	7	32.30833333	4.61547619		
Corrected Total	11	93.61000000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Ed Mean
0.654862	2.407133	2.148366	89.25000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PS	1	25.81333333	25.81333333	5.59	0.0500
Periodo	1	7.36333333	7.36333333	1.60	0.2470
epoca	2	28.12500000	14.06250000	3.05	0.1117

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PS	1	25.81333333	25.81333333	5.59	0.0500
Periodo	1	7.36333333	7.36333333	1.60	0.2470
epoca	2	28.12500000	14.06250000	3.05	0.1117

ANEXO 3 – Catálogo do Aspersor

SPRINKLER 4455

4455 PERFORMANCE TABLE Metric Standard

Nozzle		Press. atm.	Disch. m ³ /h	Coverage Ø m	Precipitation Rate – mm/hour				
Ø mm	Color				12x12 m	15x12 m	18x12 m	18x15 m	18x18 m
2.9 x 3.0	white	2.0	0.78	27	5.4	4.3	3.6	2.9	2.4
		2.5	0.87	28	6.0	4.8	4.0	3.2	2.7
		3.0	0.96	28	6.7	5.3	4.4	3.5	2.9
		3.5	1.04	29	7.2	5.8	4.8	3.8	3.2
4.0	1.11	29	7.7	6.1	5.1	4.1	3.4		
3.3 x 3.0	green	2.0	0.90	28	6.2	5.0	4.2	3.3	2.8
		2.5	1.00	28	6.9	5.5	4.6	3.7	3.1
		3.0	1.09	29	7.6	6.0	5.0	4.0	3.4
		3.5	1.19	29	8.3	6.6	5.5	4.4	3.7
4.0	1.27	30	8.8	7.0	5.9	4.7	3.9		
4.0 x 3.0	blue	2.0	1.14	29	9.9	6.3	5.3	4.2	3.5
		2.5	1.28	30	8.9	7.1	5.9	4.7	3.9
		3.0	1.40	30	9.7	7.8	6.5	5.2	4.3
		3.5	1.51	31	10.5	8.4	7.0	5.6	4.7
4.0	1.60	31	11.1	8.9	7.4	5.9	4.9		
4.6 x 3.0	orange	2.0	1.38	29	9.6	7.7	6.4	5.1	4.2
		2.5	1.53	30	10.6	8.5	7.1	5.7	4.7
		3.0	1.68	31	11.7	9.3	7.8	6.2	5.2
		3.5	1.82	32	12.6	10.1	8.4	6.7	5.6
4.0	1.95	32	13.5	10.8	9.0	7.2	6.0		
5.0 x 3.0	yellow	2.0	1.53	30	10.6	8.5	7.1	5.7	4.7
		2.5	1.73	31	12.0	9.6	8.0	6.4	5.3
		3.0	1.90	32	13.2	10.5	8.8	7.0	5.9
		3.5	2.07	33	14.4	11.5	9.6	7.7	6.4
4.0	2.18	34	15.1	12.1	10.1	8.1	6.7		
5.4 x 3.0	red	2.0	1.70	30	11.8	9.4	7.9	6.3	5.2
		2.5	1.93	31	13.4	10.7	8.9	7.1	6.0
		3.0	2.12	32	14.7	11.8	9.8	7.8	6.5
		3.5	2.30	34	16.0	12.8	10.6	8.5	7.1
4.0	2.44	35	16.9	13.5	11.3	9.0	7.5		

Shaded areas are not recommended.

4455 PERFORMANCE TABLE U.S. Standard

Nozzle		Press. p.s.i.	Disch. US/gpm	Coverage Ø feet	Precipitation Rate – in/hour				
Ø inch	Color				40x40 feet	50x40 feet	60x40 feet	60x50 feet	60x60 feet
.114 x .118	white	28.4	3.4	88.5	.205	.164	.137	.110	.091
		35.5	3.8	92.0	.228	.183	.152	.122	.103
		42.7	4.2	92.0	.255	.202	.167	.133	.110
		50.0	4.6	95.0	.274	.221	.183	.145	.122
		56.9	4.9	95.0	.293	.232	.194	.156	.129
.130 x .118	green	28.4	4.0	92.0	.236	.190	.160	.125	.106
		35.5	4.4	92.0	.262	.209	.175	.141	.118
		42.7	4.8	95.0	.289	.228	.190	.152	.129
		50.0	5.2	95.0	.316	.251	.209	.167	.141
		56.9	5.6	98.5	.335	.266	.224	.179	.148
.157 x .118	blue	28.4	5.0	95.0	.301	.240	.202	.160	.133
		35.5	5.6	98.5	.339	.270	.224	.179	.148
		42.7	6.2	98.5	.369	.297	.247	.198	.164
		50.0	6.6	101.5	.399	.320	.266	.213	.179
		56.9	7.0	101.5	.422	.339	.282	.224	.186
.181 x .118	orange	28.4	6.1	95.0	.365	.293	.243	.194	.160
		35.5	6.7	98.5	.403	.323	.270	.217	.179
		42.7	7.4	101.5	.445	.354	.297	.236	.198
		50.0	8.0	105.0	.479	.384	.320	.255	.213
		56.9	8.6	105.0	.514	.411	.342	.274	.228
.197 x .118	yellow	28.4	6.7	98.5	.403	.323	.270	.217	.179
		35.5	7.6	101.5	.457	.365	.304	.243	.202
		42.7	8.4	105.0	.502	.400	.335	.266	.224
		50.0	9.1	108.0	.548	.430	.365	.293	.243
		56.9	9.6	111.5	.575	.460	.384	.308	.255
.213 x .118	red	28.4	7.5	98.5	.449	.358	.301	.240	.198
		35.5	8.5	101.5	.510	.407	.339	.270	.228
		42.7	9.3	105.0	.559	.449	.373	.297	.247
		50.0	10.1	111.5	.609	.487	.403	.323	.270
		56.9	10.7	115.7	.643	.514	.430	.342	.285

Shaded areas are not recommended.

ALLOWABLE NUMBER OF 4455 ON LATERAL

Nozzle			Spacing betw. Sprinklers		Discharge		Possible No. of Sprinklers	
Ø mm	Ø inch	Color	m	feet	m ³ /h	US/gpm	2" Lateral	3" Lateral
2.9 x 3.0	.114 x .118	white	6	20	0.96	4.20	17	35
			9	30			16	30
			12	40			13	27
			15	50			12	25
3.3 x 3.0	.130 x .118	green	6	20	1.09	4.80	15	32
			9	30			13	28
			12	40			12	25
			15	50			11	23
4.0 x 3.0	.157 x .118	blue	6	20	1.40	6.20	13	28
			9	30			11	24
			12	40			10	22
			15	50			10	20
4.6 x 3.0	.181 x .118	orange	6	20	1.68	7.40	12	25
			9	20			10	21
			12	40			9	19
			15	50			8	18
5.0 x 3.0	.197 x .118	yellow	6	20	1.90	8.40	11	23
			9	30			9	20
			12	40			8	18
			15	50			8	17
5.4 x 3.0	.213 x .118	red	6	20	2.12	9.30	10	21
			9	30			9	18
			12	40			8	16
			15	50			7	15

DAN SPRINKLERS
Irrigation Equipment

Adv. Consultants E 4/87