

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR AUTOPROPELIDO

**ALEFE VIANA SOUZA BASTOS¹; RENATO CAMPOS DE OLIVEIRA¹;
FERNANDO NOBRE CUNHA²; NELMÍCIO FURTADO DA SILVA²; FABIANO
JOSÉ DE CAMPOS BASTOS² E MARCONI BATISTA TEIXEIRA³**

¹ Graduando em Agronomia, Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO, alefe_viana@hotmail.com; renatocampos51@hotmail.com

² Engenheiro Agrônomo, Mestrando Ciências Agrárias, Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO, fernandonobrecunha@hotmail.com; nelmiciofurtado@gmail.com; fabianojcbastos@gmail.com

³ Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO, marconibt@gmail.com

1 RESUMO

O sistema autopropelido foi à primeira evolução da aspersão em termos de automação, apresenta facilidade de manejo e adapta-se a diferentes tipos de cultura, sendo muito utilizado em culturas perenes. No entanto esse sistema necessita de alta pressão de serviço e consequentemente elevado consumo de energia; deste modo o presente trabalho objetivou avaliar a uniformidade de aplicação de água em 4 equipamentos de irrigação do tipo autopropelido, em cinco larguras de faixas irrigadas correspondentes a 100, 90, 80, 70 e 60% do diâmetro molhado. O experimento foi desenvolvido na fazenda São Tomaz (auto 1 e 2) e na fazenda Cereal Ouro II (auto 3 e 4), ambos localizados no município de Rio Verde-GO. Foram escolhidos equipamentos de irrigação similares para melhor representatividade dos dados; os equipamentos utilizados nos ensaios foram do tipo autopropelido: ano 2010 e 2012 (Auto 1 e 2), 2011 e 2012 (Auto 3 e 4), de maneira geral a pressão na entrada do carretel foi de 8,9 kgf cm⁻², pressão de saída 4,5 kgf cm⁻², 110 m de mangueira esticada, velocidade de recolhimento da mangueira 50 m h⁻¹ (auto 1 e 3) e 90 m h⁻¹ (auto 2 e 4); raio de alcance do aspersor 55 m, canhão aspersor com bocal cônico, diâmetro 32 mm, vazão 81,4 m³ h⁻¹, espaçamento 78 m, lâmina aplicada 12,5 mm (auto 2 e 4) e 22,5 mm (auto 1 e 3), precipitação na faixa irrigada 83 mm (auto 2 e 4) e 46 mm (auto 1 e 3) e ângulo de abertura 210°. Os autopropelidos alcançaram os maiores valores de CUC na largura de faixa molhada correspondente a 70 e 80% do diâmetro molhado. Os auto 2 e 4 apresentaram desempenho bem superior tanto para o CUA quanto para UDH, devido sua maior velocidade de recolhimento e menor tempo de uso.

Palavras-chave: diâmetro molhado, lâmina, vazão

2 INTRODUÇÃO

A irrigação é considerada a principal atividade humana consumidora de água, por esse motivo a água não pode ser entendida apenas como um mero insumo. Em grande parte das áreas agrícolas irrigadas o volume de água utilizado é superior ao realmente necessário para a produção satisfatória de alimentos. Desse modo torna-se importante a utilização eficiente da água com conhecimento adequado e a utilização de alternativas que otimizem o seu uso. Diversas medidas podem ser tomadas para o uso racional da água como a utilização de

equipamentos projetados adequadamente que apresentem boa otimização da quantidade de água a ser aplicada e manejo adequado (Faggion et al., 2009)

O sistema autopropelido foi a primeira evolução da aspersão em termos de automação, apresenta facilidade de manejo e adapta-se a diferentes tipos de cultura, sendo muito utilizado atualmente em culturas perenes. No entanto esse sistema necessita de alta pressão de serviço e conseqüentemente elevado consumo de energia. O custo desse sistema pode ser um fator limite na escolha deste tipo de equipamento, contudo, se for adotado um manejo adequado é possível utilizá-lo em um tempo menor do que foi projetado, com maior uniformidade e melhor eficiência, economizando assim em termos de operação, com reflexos diretos nos custos de energia de bombeamento (Scaloppi & Colombo, 1995; Rocha et al., 2005).

Como mostra a literatura em geral a aplicação de água por sistemas de irrigação não é perfeitamente uniforme. A uniformidade elevada deve ser estabelecida sob diferentes critérios, a partir do método de irrigação que está sendo utilizado. A elevada uniformidade em qualquer método de irrigação pode ser alcançada, ocorrendo, no entanto um aumento dos custos de operação. É comum expressar-se a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por meio de um coeficiente de uniformidade que expressa a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada sobre o solo (Paz et al., 2002). Atualmente existem diversos coeficientes para caracterizar a uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação. Christiansen (1942) foi o primeiro pesquisador a propor um coeficiente, sendo este muito utilizado atualmente nos estudos de uniformidade em irrigação.

A uniformidade de aplicação de água influencia no custo da irrigação, assim como o desempenho da cultura. Áreas irrigadas que apresentam baixa uniformidade de aplicação de água favorecerão o desenvolvimento desuniforme das plantas cultivadas, pois algumas receberão mais água que outras e dependendo do grau de desuniformidade algumas não irão receber nenhuma parcela dessa água aplicada. O desenvolvimento desuniforme da cultura está relacionado ao excesso de água no solo, que provoca a lixiviação de nutrientes, a redução na concentração de oxigênio disponível para as raízes, o aumento na incidência de pragas e doenças, enquanto a escassez de água aumenta os riscos de salinização do solo e inibe o potencial produtivo da planta (Santos et al., 2003; Paulino et al., 2009). Mantovani & Ramos (1994), afirmam que a uniformidade da irrigação objetiva melhorar a produtividade e/ou a rentabilidade da propriedade.

Deste modo o presente trabalho teve por objetivo avaliar a uniformidade de distribuição de água e o diâmetro molhado em 4 (quatro) equipamentos de irrigação do tipo autopropelido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na fazenda São Tomaz localizado na cidade de Rio Verde – GO (auto 1 e 2) e na fazenda Cereal Ouro II, localizado na cidade de Rio Verde – GO, na GO 174 km 30 (auto 3 e 4).

O clima da região é classificado conforme Köppen, como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35 °C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (10% de declividade). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), de textura média (EMBRAPA, 2006).

Para o autopropelido (auto) foram colocados os coletores de pluviosidade perpendicularmente a direção de deslocamento do mesmo. O primeiro coletor foi instalado a 5

m do centro da mangueira e entre os coletores o espaçamento foi de 5 metros; visando coletar toda pluviosidade dentro do dimensionamento de ação do aspersor, conforme as recomendações de Frizzone (1992); foi realizada a medição da água nos sessenta coletores (funcionamento da irrigação durante uma hora).

Foram escolhidos equipamentos de irrigação similares para melhor representatividade dos dados; os equipamentos utilizados nos ensaios de avaliações foram do tipo autopropelido: ano 2010 e 2012 (Auto 1 e 2), 2011 e 2012 (Auto 3 e 4), de maneira geral a pressão na entrada do carretel foi de 8,9 Kgf cm⁻², pressão de saída 4,5 kgf cm⁻², 110 m de mangueira esticada, velocidade de recolhimento da mangueira 50 m h⁻¹ (auto 1 e 3) e 90 m h⁻¹ (auto 2 e 4); raio de alcance do aspersor 55 m, canhão aspersor com bocal cônico, diâmetro 32 mm, vazão 81,4 m³ h⁻¹, espaçamento 78 m, lâmina aplicada 12,5 mm (auto 2 e 4) e 22,5 mm (auto 1 e 3), precipitação na faixa irrigada 83 mm (auto 2 e 4) e 46 mm (auto 1 e 3) e ângulo de abertura 210°.

Os dados meteorológicos no momento da avaliação foram: temperatura entre 23 e 25,5°C, umidade relativa variando de 36,7 a 50%, velocidade vento 1,02 a 3,11 m.s⁻¹, para estas medições foi utilizado um termo-higro-anemômetro luxímetro digital portátil, modelo THAL-300, com precisão de +/- 3% E.C. O monitoramento da lâmina aplicada pelos autopropelidos (mm) permitiu a obtenção da lâmina média utilizando-se a equação 1.

$$q = \frac{V}{1000 \times t} 60 \quad (1)$$

em que: q é a lâmina aplicada (mm), V é o volume de água coletado (mm) e t é o tempo de coleta (mm).

Depois de tabulados os dados de vazão, foram efetuados os cálculos da vazão e de uniformidade de aplicação de água por alguns dos métodos mais utilizados na literatura, destacados nas equações 2 a 4.

$$CUC = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right\} \quad (2)$$

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (Christiansen, 1942), em %.

$$CUA = 50 \left(\frac{X_{25\%}}{\bar{X}} + \frac{\bar{X}}{X_{12,5\%}} \right) \quad (3)$$

CUA = coeficiente de uniformidade absoluto (Karmeli & Keller, 1975), em %.

$$UDH = 100 \left(1 - 1,27 \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (4)$$

UDH = eficiência padrão da HSPA (Hart, 1961), em %.

em que: X_i é a lâmina aplicada (mm), \bar{X} é a lâmina X aplicada (mm), n número de coletores utilizados, S é o desvio-padrão dos dados de lâmina aplicada (mm), X_{25} média de 25% do total dos coletores, com as menores lâminas (mm) e $X_{12,5\%}$ média de 12,5% do total dos coletores, com as menores lâminas (mm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 pode-se observar que os autopropelidos alcançaram os maiores valores de CUC nas simulações de largura de faixa molhada correspondente a 70 e 80% dos diâmetros molhados. Os auto 2 e 4 apresentaram um desempenho bem superior tanto para o CUA quanto para o UDH (Tabela 1); para o CUC estes valores foram superiores a 88%, valores classificados como bom de acordo com a classificação proposta por Mantovani (2001). Bernado et al., (2006), de maneira abrangente, citam que o valor mínimo recomendável do CUC para a irrigação por aspersão, deve ser da ordem de 80%. De forma mais específica, Frizzone (1992) e Pereira (2000) descrevem que em um sistema de irrigação por aspersão utilizando culturas de alto valor econômico e com sistema radicular raso, o CUC a ser obtido deve apresentar valores acima de 88%. Em relação as culturas de sistema radicular médio ou profundo, sugerem coeficiente entre 80 e 88%, e 70 e 80%, respectivamente, enquanto Pereira (2000) sugere 82 a 88% e 70 a 82%, respectivamente.

Tabela 1. Valores médios de CUC, CUA e UDH para 4 autopropelidos em função de cinco simulações de largura de faixa irrigada correspondentes a 100, 90, 80, 70 e 60% do diâmetro molhado (DM)

Autopropelido	Coeficiente de Chistiansen – CUC (%)				
	100% DM	90% DM	80% DM	70% DM	60% DM
1	55,87	77,43	87,28	81,88	74,25
2	57,69	76,53	90,65	83,69	76,81
3	54,86	74,60	88,91	85,78	76,13
4	57,48	75,55	91,00	81,13	75,91
Autopropelido	Coeficiente Absoluto – CUA (%)				
	100% DM	90% DM	80% DM	70% DM	60% DM
1	45,66	70,91	80,57	75,38	68,39
2	44,88	69,54	87,41	76,20	71,51
3	42,82	68,63	82,41	78,19	70,79
4	45,51	69,06	85,95	74,57	67,26
Autopropelido	Eficiência Padrão da HSPA – UDH (%)				
	100% DM	90% DM	80% DM	70% DM	60% DM
1	33,86	66,99	80,51	72,95	61,57
2	34,61	65,62	86,16	75,12	65,96
3	30,92	63,63	82,49	77,26	65,86
4	34,69	64,37	85,91	71,98	63,66

Os maiores valores encontrados nas simulações (onde existe sobreposição do jato) é maior do que os observados na de 100% (não existe sobreposição do jato), proporcionando

um menor espaço entre carregadores. Shull e Dylla (1979), ao trabalharem com um sistema autopropelido, simularam vários espaçamentos entre carregadores, sob diversas condições de vento, e verificaram que os menores espaçamentos entre carregadores proporcionaram uma melhor uniformidade de distribuição. Nestas condições, ocorre uma aplicação de altas lâminas médias.

Na simulação equivalente a 100% do DM pode-se observar que todos os valores de CUC estão abaixo do limite aceitável (Tabela 1), comprovando que em sistemas autopropelido a sobreposição se faz necessária para alcançar uma maior uniformidade, sabendo que nesse tipo sistema em comparação com outros a uniformidade é relativamente baixa, por apresentar distorções no perfil de distribuição de água.

Na Tabela 1 verifica-se que os valores dos coeficientes obtidos para todos os autopropelidos aumentaram do DM 100% até o DM de 80% e caíram a partir do DM de 80% até o 60%. Essa situação evidencia um aumento na uniformidade a medida que se aumenta a sobreposição, porém o maior valor que pode ser encontrado será no DM de 80% (condição ótima de sobreposição) e sobreposições maiores que essa irá acarretar uma diminuição nos valores de uniformidade. Com esses resultados sugere-se que o funcionamento dos quatro autopropelido seja realizado com largura de faixa molhada equivalente a 80% do DM, ao invés dos 100% do DM que é o recomendado pela empresa.

O CUA e o UDH seguiram o mesmo comportamento do CUC, obtiveram todos, valores superiores nas simulações de 70 e 80% (Tabela 1). Para o Coeficiente Absoluto (CUA) o auto 2 obteve o maior ganho na uniformidade com a comparação da simulação de 100% para a de 80%, sendo o valor observado de 94,75% maior. O auto 3 teve um ganho de 92,46%, o 4 obteve 88,83% e o auto 1 teve o menor valor observado em ganho de uniformidade, sendo de 76,44%. Apesar do auto 4 ter obtido um menor ganho, em relação ao DM de 100% para a simulação com DM de 80% esse aumento na uniformidade de distribuição de água é um excelente resultado que influenciará no custo da irrigação e proporcionará um melhor desempenho da cultura, pela melhor distribuição da água.

A ocorrência de ventos durante o funcionamento de sistemas de aspersão, ou microaspersão, faz aumentar as perdas por evaporação e deriva, além de afetar a uniformidade de distribuição espacial de água. Inúmeros estudos foram realizados sobre a uniformidade e as perdas de água em sistemas de aspersão sob condições de vento (Christiansen, 1942; Sternberg, 1967; Seginer & Kostrinski, 1975; Paz et al., 1991; Alves et al., 1997; Azevedo et al., 1999; Faci et al., 2001; Conceição, 2002; Prado et al., 2007; Lima, 2009). Na prática, principalmente em propriedades que possuem uma grande área para cultivo o vento não é um grande fator limitante para a irrigação. Mediante essas situações as sobreposições se tornam necessárias para suprir a baixa uniformidade na distribuição da água, ocasionada pelo vento.

Considerando a sobreposição de 80% do DM (recomendado) os valores de CUCs estão todos acima do mínimo aceitável para o sistema de irrigação autopropelido, que é de 80% conforme Mantovani e Ramos (1994). A uniformidade se encontra menor nos autos 1 e 3, demonstrando que esses apresentam algum problema na distribuição de água, entretanto a menor uniformidade encontrada, não indica que o sistema tipo autopropelido seja inviável na aplicação de água para as culturas de alto valor econômico, muito pelo contrário, o sistema pode ser bastante explorado e utilizado nessas culturas.

Keller & Bliessner (1990), por considerarem que os canhões utilizados em sistemas autopropelidos de irrigação apresentam perfil de aplicação de água que tem formato quase uniforme, recomendam, para a condição de ventos fracos, que o espaçamento entre carregadores seja próximo de 80% do diâmetro molhado. Com os resultados obtidos nesse

trabalho recomenda-se que para condições de ventos fortes esse espaçamento seja mantido, para obtenção de uma melhor uniformidade de distribuição da água.

A Figura 1 mostra a precipitação média em função da posição do coletor, do lado esquerdo e direito do canhão para o auto 1 e 2.

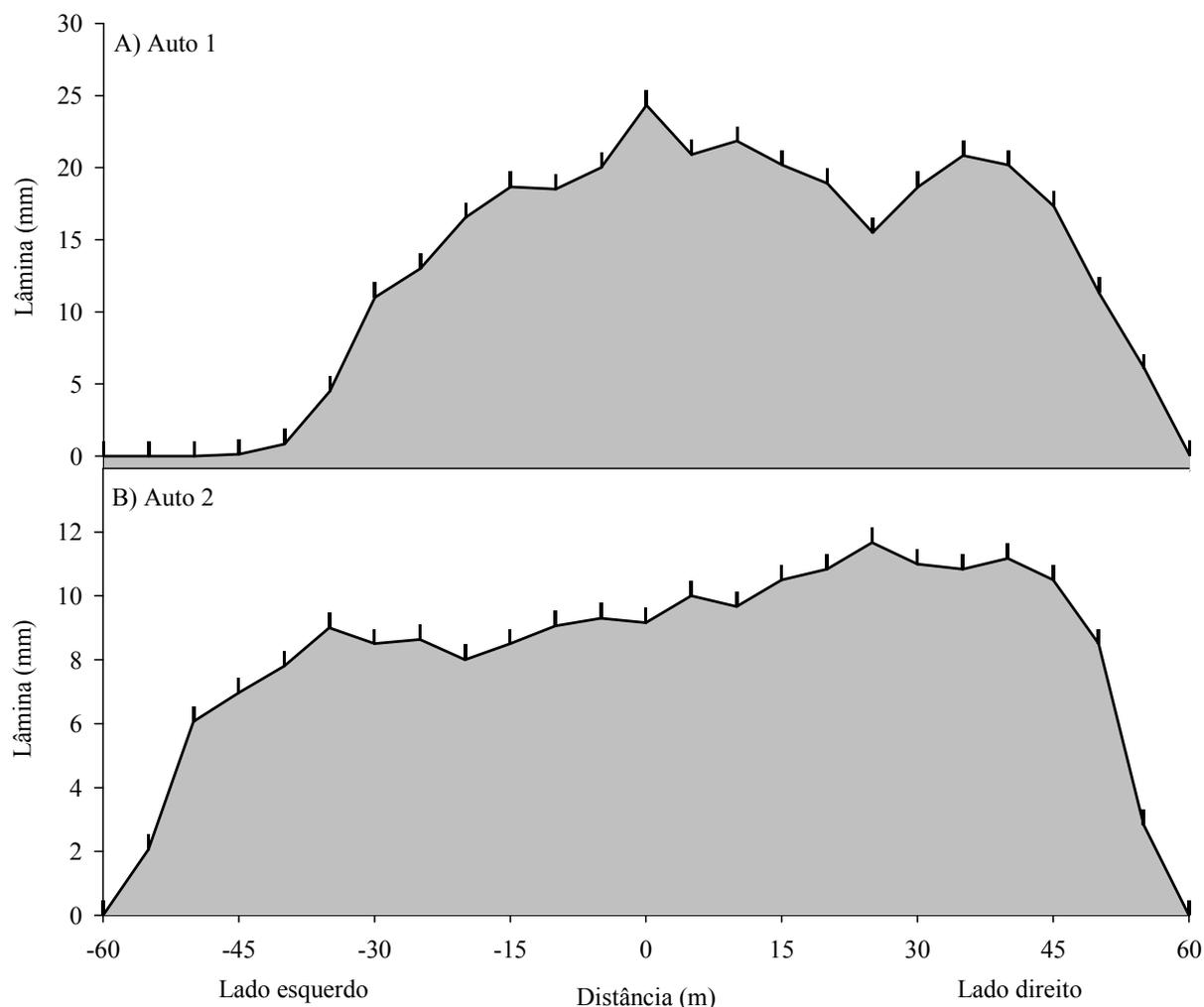


Figura 1. Precipitação média em função da posição do coletor, do lado esquerdo e direito do canhão para os auto 1(A) e 2 (B).

Observa-se que os auto 1 (Figura 1A) e 3 (Figura 2A) alcançaram as maiores lâminas aplicadas sendo o valor observado para o auto 1 de 24,33 mm e para o auto 3 de 22,50 mm. Esses valores foram encontrados para ambos autopropelidos na distância de 0 m, o que indica que à medida que se aumenta a distância alcançada pela lâmina aplicada, tanto para o lado direito quanto para o esquerdo a precipitação (lâmina) diminui.

Os auto 2 (Figura 1B) e 4 (Figura 2B) foram os que apresentaram as menores lâminas aplicadas e os maiores graus de uniformidade, obtendo seus maiores valores de precipitação na distância de 25 e 40 m respectivamente. O maior valor de lâmina alcançado para o auto 2 foi de 11,66 mm e para o 4 de 11,00 mm (Figura 1 e 2). Comparada com os demais autopropelidos a menor precipitação e a maior uniformidade alcançada foram devido a maior velocidade de recolhimento, sendo essa de 100 m h^{-1} .

Essa situação comprova que um aumento na velocidade de recolhimento melhora a uniformidade da lâmina aplicada ao mesmo tempo em que proporciona maior desgaste na mangueira. Desta forma, na prática, não se recomenda utilizar altas velocidades de recolhimento do carro aspersor, pois a mangueira é um dos componentes mais caros deste sistema, além de possuir uma vida útil de no máximo 10 anos (Danieletto, 1990).

Segundo Addink et al. (1983), os coeficientes de uniformidade de aplicação de água de um equipamento autopropelido decresce caso a velocidade de deslocamento do carro aspersor ao longo do carreador não seja constante. Estes autores relatam que na literatura foram encontrados valores extremos de até 60% de variação na velocidade de deslocamento de autopropelidos.

Essa situação acompanhada com uma alta velocidade pode contribuir para uma baixa uniformidade de um equipamento de irrigação.

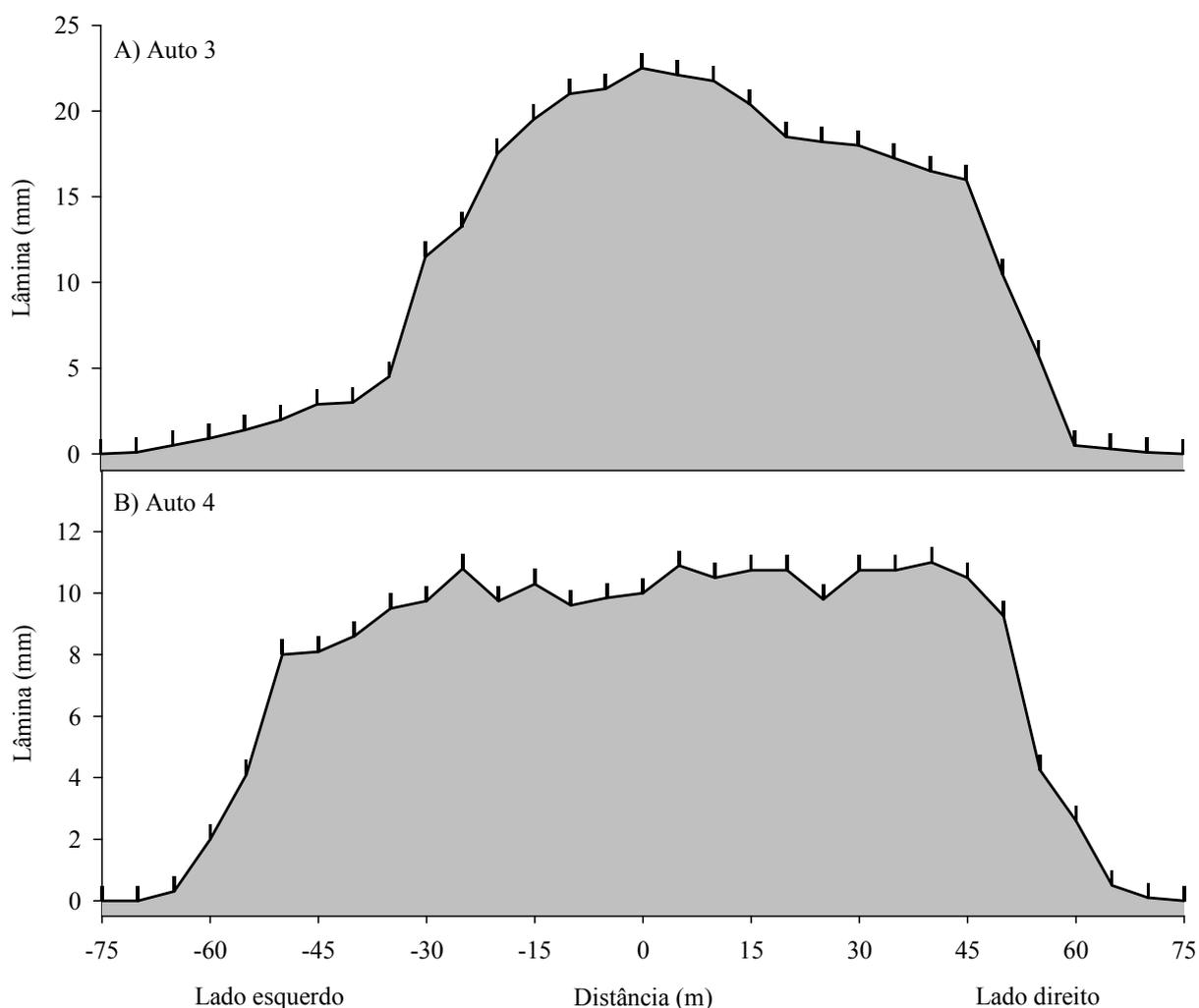


Figura 2. Precipitação média em função da posição do coletor, do lado esquerdo e direito do canhão para os auto 3 (A) e 4 (B).

Os autopropelidos que obtiveram menor precipitação foram os auto 2 e 4, porém esses mesmos equipamentos alcançaram um valor de uniformidade muito acima do que foi encontrado nos auto 1 e 3.

Nas figuras 1 e 2 conseguimos observar facilmente a diferença no comportamento dos gráficos que representa a uniformidade de aplicação.

Os coeficientes de uniformidade para os autopropelidos também apresentaram índices de uniformidade decrescentes conforme o tempo de uso, ou seja, ocorreu uma diminuição nos coeficientes obtidos com o autopropelido de menor tempo de uso (auto 2 e 4) para o de maior tempo de uso (auto 1 e 3).

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

Estes ensaios também tendem a completar a falta de informações técnicas sobre os diversos modelos de aspersores disponíveis no mercado, o que torna difícil uma correta seleção destes (Martín-benito et al., 1992).

4 CONCLUSÕES

O auto 2 obteve o maior ganho na uniformidade de 94,75%, o auto 3 e 4 tiveram um ganho de 92,46 e 88,83% e o auto 1 teve o menor valor observado em ganho de uniformidade de 76,44%, com a comparação da simulação de 100% para 80%.

Os maiores valores de CUC, CUA e o UDH foram verificados nas simulações de largura de faixa molhada correspondente a 70 e 80% dos diâmetros molhados. O DM de 100% teve os valores de CUC abaixo do limite aceitável.

A uniformidade se encontra menor nos auto 1 e 3 do que nos auto 2 e 4, ocorrendo uma diminuição nos coeficientes obtidos com o autopropelido de menor tempo de uso (auto 2 e 4) para o de maior tempo de uso (auto 1 e 3).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDINK, J. W. Et al. Design and operation of sprinkler systems. In: JENSEN, M. E. (Ed.) **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: Transactions of American Society of Agricultural Engineers, p. 621-658., 1983.

ALVES, E.F.; ROCHA JÚNIOR, O.C.; CASTRO, P.T de. Perdas de água por evaporação e por arraste em um sistema de irrigação por aspersão em diferentes espaçamentos e velocidades de vento. **Ciência Agrônômica**, v.28, n.1/2, p.32-36, 1997.

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

AZEVEDO, H.J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M.M.; SEDIYAMA, G.C.; CECON, P.R. Influência de elementos do clima no desperdício de energia em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.336-341, 1999.

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

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station. Bulletin, 670. 124p., 1942.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento**. 2002. 110 p. Tese (Doutorado em Irrigação de Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

DANIELETTO, J. R. B. **Tubos de polietileno e polipropileno: características e dimensionamento**. São Caetano do Sul: Medialdêa, 340 p., 1990.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. RJ, 306p., 2006.

FACI, J.M.; SALVADOR, R.; PLAYÁN, E. Comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 127, n.4, p.224-233, 2001.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; DEMÉTRIOS, C. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.2, n. 1, 2009.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por Aspersão: Uniformidade e Eficiência**. Piracicaba, SP: ESALQ. Série Didática n. 003. Departamento de Engenharia Rural. 53p., 1992.

HART, W. E. **Overhead irrigation pattern parameters**. Transactions of the ASAE, Saint Joseph, v.42, n.7, p.354-355, 1961.

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

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora, Rain bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 133p., 1975.

LIMA, B. S. S. Determinação da Influência do Vento na Uniformidade da Irrigação na Região de Itabaina-SE. **Monografia**. Aracaju, SE, UFS, 38p, 2009.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Manejo da irrigação. In: COSTA, E. F. da; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: Embrapa, SPI, p.129-158, 1994.

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

- PAULINO, M. A. O.; FIGUEIREDO, F. P.; FERNANDES, R. C.; MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n.2, p.48-54, 2009.
- PAZ, V.P.S.; BERNARDO, S.; SEDIYAMA, G.C.; RAMOS, M.M.; AZEVEDO, H. M. de; REGAZZI, A.J. Perdas de água na irrigação por aspersão, para as condições do projeto de irrigação São Gonçalo, Paraíba. **Revista Ceres**, v.38, n.216, p.117-124, 1991.
- PAZ, V. P. da S.; FRIZZONE, J. A., BOTREL, T. A., FOLEGATTI, M. V. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, set./dez. 2002.
- PEREIRA, G. M. **irrigação por aspersão convencional**. Lavras: FAEPE, 90p., 2000.
- PRADO, G; COLOMBO, A. Análise da uniformidade de aplicação de água pelo aspersor plona-rl250 em sistemas autopropelidos de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 249-262, abril-junho, 2007.
- ROCHA, F. A.; PEREIRA, G. M.; ROCHA, F. S; SILVA, J. O. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. **Irriga**, Botucatu v. 10, n. 1, janeiro-abril, 2005.
- SANTOS, R. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; FERREIRA, E. J. S.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C. Uniformidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras (*Bactris gasipaes* H. B. K.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. [**Anais eletrônicos...**]. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/c2003rsantos.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2013.
- SCALLOPI, E. J.; COLOMBO, A. Dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersores autopropelidos. In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 24., 1995, Viçosa. **Anais...** Sorocaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p.218-222. 1995.
- SEGINER, I.; KOSTRINSKI, M. Wind, sprinkler patterns and system design. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering Division**, v. 101, n.4, p.251-264, 1975.
- SHULL, H.; DYLLA, A. S. Traveling boom sprinkler operation in wind. **Transactions of the ASAE**. v.22, n.3, p.537-539, May/June 1979.
- STERNBERG, Y. M. Analysis of sprinkler irrigation losses. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.92, n.4, p.111-124, 1967.