

IRRIGAÇÃO DIURNA E NOTURNA EM UM SISTEMA DE ASPERSÃO CONVENCIONAL EM PALOTINA-PR

JIAM PIRES FRIGO¹; MARCIO ANTONIO VILAS BOAS¹; ELISANDRO PIRES FRIGO²; ELIANE HERMES² e EVANTRO TESSARO¹

¹ Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola (Unioeste), CEP 85819-110, Cascavel, PR, Fone (45)99934783, e-mail: jianfrigo@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Paraná, Campus Palotina, CEP 85950-000, Palotina-PR

1 RESUMO

Os objetivos deste estudo foram avaliar a uniformidade da irrigação diurna e noturna de um sistema por aspersão convencional, analisando os efeitos do vento ao longo do tempo de irrigação pelos gráficos individuais de Shewhart. O experimento foi realizado no Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo, em Palotina, PR. Foram utilizados aspersores Xcel-wobbler, com sistema antideriva nos períodos diurno e noturno. O uso dos gráficos individuais de controle de Shewhart possibilitou afirmar que a irrigação noturna esteve sob controle ao longo do tempo. Foi possível observar que entre julho e setembro, o melhor desempenho do sistema ocorreu no período noturno, mostrando-se como o mais indicado para realizar irrigações por aspersão na localidade de Palotina-PR.

Palavras-chaves: água, vento, coeficiente de Christiansen, gráfico de controle.

FRIGO, J. P.; VILAS BOAS, M. A.; FRIGO, E. P.; HERMES, E.; JIAM PIRES FRIGO¹; MARCIO ANTONIO VILAS BOAS¹; ELISANDRO PIRES FRIGO²; ELIANE HERMES² e EVANTRO TESSARO¹

PROCESS CONTROL IN A CONVENTIONAL IRRIGATION SPRINKLER SYSTEM IN PALOTINA, PARANA, BRAZIL

2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the uniformity of daytime and nighttime irrigation of a conventional sprinkler system using the Christiansen Uniformity Coefficient (CUC). The experiments were carried out at the Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo, a state-supported agricultural secondary school in Palotina, Parana, Brazil. During the irrigation period, four anti-drift Senninger Irrigation Xcel Wobbler® sprinklers were used at both day and nighttimes. The use of individual Shewhart control charts showed that nighttime irrigation was always controlled. It was observed that from July to September the best system performance was recorded for nighttime which was shown to be the most adequate hours for sprinkler irrigation in Palotina, Parana.

Keywords: water, wind, Christiansen coefficient, control charts.

3 INTRODUÇÃO

O novo conceito de irrigação evoluiu de simples aplicação de água na agricultura para um importante instrumento no aumento de produção, produtividade e rentabilidade e diminuição dos riscos de investimento. Porém em função do volume de água necessário, é preciso fazer uso de sistemas de irrigação que possibilitam alta eficiência de uso da água (MANTOVANI, BERNARDO & PALARETTI, 2007).

A irrigação por aspersão é um método pelo qual a água é aplicada sobre os solos ou plantas, na forma de chuva artificial, este sistema é bastante utilizado devido a possibilidade de elevada uniformidade de distribuição e por se adaptar a diversas culturas e solos (ALENCAR et al., 2007). A uniformidade de aplicação de água nas irrigações por aspersão é afetada por elementos meteorológicos e operacionais (PRADO & COLOMBO, 2010).

Os elementos climáticos complicam a avaliação da uniformidade da irrigação de acordo com PLAYÁN et.al. (2006), sendo que o vento tem incidência direta na lâmina aplicada. Além disso, a competição pela água entre os usuários, as questões ambientais e os custos de energia são importantes razões para melhorar o desempenho de irrigação por aspersão YACOUBI et al. (2010).

O gráfico de controle é uma importante técnica para detectar se falta controle em um processo e seu uso sistemático é um importante modo de detectar e reduzir a variabilidade dos produtos (VILAS BOAS, 2005). É uma técnica de monitoramento muito útil, quando fontes de variabilidade estão presentes (variabilidade de pressão de serviço e perda de carga). Quando as médias amostrais estão plotadas fora dos limites de controle, é um sinal de que investigações do processo devem ser feitas e ações corretivas devem ser tomadas para amenizar fontes de variabilidade.

O gráfico de controle de Shewhart é uma regra de decisão estatística, tomada com base nas observações de um processo para determinar se a característica de qualidade desejada desviou-se de seu valor alvo ao longo do tempo (MONTGOMERY, 2009).

Por meio destas considerações, os objetivos deste estudo foram avaliar a uniformidade da irrigação diurna e noturna de um sistema por aspersão convencional, analisando os efeitos das variáveis climáticas ao longo do tempo de irrigação pelos gráficos individuais de Shewhart.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo, rodovia PR-364; zona rural da cidade de Palotina, PR, cujas coordenadas geográficas são 24° 20' 51" de latitude Sul e 53° 45' 14" de longitude Oeste e altitude de aproximadamente 365 m. Os testes foram de julho a setembro de 2011, pois no segundo semestre do ano, devido à sazonalidade das chuvas, tem início a um dos períodos de irrigação nesta região.

Para as irrigações diurnas foram realizados 30 ensaios de 1 hora, sendo o período considerado das 6h da manhã até as 20:30 horas. Foram realizados 30 ensaios para as irrigações noturnas, no período compreendido entre 20:30h da noite às 6h da manhã.

O sistema de irrigação constituiu-se dos seguintes componentes: bomba BC-91 SSC, 1 cv; linha adutora 90 m de mangueira preta de polietileno 1"; duas linhas laterais de PVC para irrigação 1", espaçadas de 6 m entre si; e conjunto de quatro aspersores da marca SENNINGER, modelo Xcel-Wobbler HA ¾", altura do tubo de subida 1,0 m, e espaçamento

de 6 x 6 m, os coletores eram espaçados em 1 m entre si.

Nos ensaios, foi utilizada a disposição dos sistemas de irrigação por aspersão mais comumente encontrada nas propriedades rurais, que fazem uso de emissores linearmente instalados em linhas laterais, dispostos em uma forma quadrada. A pressão de serviço no experimento foi monitorada e adequada às especificações dos aspersores. A velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar foram monitoradas *in loco*, intervalos de 10 minutos, com um anemômetro, AD-250, marca INSTRUTHERM, escala em $m\ s^{-1}$ e um termo-higrômetro, THDL-400, marca INSTRUTHERM, ambos digital e portátil.

Para a avaliação do sistema foi utilizado o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), para as análises estatísticas e confecção dos mapas de superfície, foi utilizado o software Minitab 16 e Surfer, respectivamente.

KELLER (2009) propôs a seguinte classificação para CUC, ao estipular o valor mínimo aceitável para irrigação por aspersão, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do Coeficiente de Uniformidade (CUC).

Classes	Uniformidade (%)
Excelente	> 90
Bom	85 - 90
Mínimo	> 78
Inaceitável	< 78

Fonte: Sprinkle and Trickle Irrigation. KELLER, J. (p. 43, 2009). OBS: $CU < 78$ aceitável apenas para água residuária.

O método de Christiansen (CUC) é uma das maneiras mais utilizadas para se medir o coeficiente de uniformidade, o qual expressa a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo em relação à lâmina média aplicada em cada aspersor (BERNARDO; SOARES e MANTOVANI, 2008).

O gráfico de Controle de Shewhart individual foi utilizado para avaliar se as irrigações testadas ficaram em conformidade com as especificações do projeto bem como seu comportamento ao longo do tempo.

Os limites inferior e superior dos gráficos de Controle de Shewhart para medidas individuais foram calculados a partir das equações 1 e 2, respectivamente.

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad \text{eq. 1}$$

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad \text{eq. 2}$$

Em que:

LIC : Limite inferior de controle;

LSC : Limite superior de controle;

\bar{x} : Média dos dados;

\overline{MR} : Média da amplitude móvel dos dados;

d_2 : Constante quando usada uma amplitude móvel de $n= 2$ observações ($d_2 = 1,128$) (MONTGOMERY, 2009).

A eficiência de irrigação leva em consideração as perdas por evaporação e arraste pelo vento. Seu cálculo foi determinado pelas seguintes equações:

$$Ea = E1 \times E2 \quad \text{eq. 3}$$

Em que:

Ea: Eficiência de aplicação (%);

E1: Eficiência de aplicação \cong CUC (%);

E2: Eficiência durante aplicação = $1 - P_{Ev+Arraste}$ (%).

$$P_{Ev+Arraste} = 100 \left(\frac{Ia_{medida} - Ia_{coletada}}{Ia_{medida}} \right) \quad \text{eq. 4}$$

Em que:

($P_{Ev+Arraste}$): Perdas por evaporação e arraste pelo vento (%);

Ia_{medida} : Intensidade de aplicação do aspersor (mm h^{-1});

$Ia_{coletada}$: Intensidade recebida pelos copos coletores (mm h^{-1}).

$$Ia_{medida} = t \left(\frac{Qa}{A} \right) \quad \text{eq. 5}$$

Em que:

Ia_{medida} : Intensidade de aplicação medida (mm s^{-1});

t: Tempo de duração do ensaio (s);

Qa: Vazão do aspersor (L s^{-1});

A: Área delimitada do ensaio (m^2).

$$Ia_{coletada} = \sum_{i=1}^n \frac{|X_i|}{n} \quad \text{eq. 6}$$

Em que:

$Ia_{coletada}$: Intensidade média coletada (mm);

$\sum_{i=1}^n |X_i|$: Somatório da medida em cada coletor (mm);

n: Número de coletores na área de ensaio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Irrigação Diurna: Na Tabela 2, apresenta-se a estatística descritiva, em que foram calculados a média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo para Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Eficiência de Aplicação (Ea), velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar.

Pode-se observar pelo desvio padrão e variância amostral que houve certa dispersão dos dados. O coeficiente de variação (CV) apresentou mínimo de 5,35% e máximo 57,79%, indicando que os dados estão na faixa de variação baixa a muito alta. De acordo com PIMENTEL GOMES (2000), os coeficientes de variação comumente obtidos nos experimentos de campo podem ser considerados baixos, se inferiores a 10%; médios, quando de 10 a 20%; considerados elevados, quando variam de 20 a 30% e muito altos, se superiores a 30%.

Tabela 2. Análise descritiva das variáveis Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Eficiência de aplicação (Ea), vento, umidade relativa e temperatura do ar.

Análise de 30 ensaios	CUC (%)	Ea (%)	Vento (m s ⁻¹)	Umidade Relativa (%)	Temperatura do ar (°C)
Norma para os coeficientes	78,00	-	-	-	-
Máximo	92,24	86,62	4,30	79,40	33,70
Mínimo	74,60	28,31	0,00	20,80	11,00
Média	86,67	62,67	2,18	48,05	26,04
Desvio Padrão	4,64	16,70	1,26	18,46	6,06
Variância	21,53	278,89	1,58	340,77	36,72
Coeficiente de Variação	5,35	26,64	57,79	38,41	23,27

Justi et al. (2010), em um estudo de controle de qualidade em irrigação por aspersão em Cascavel, PR, observaram em uma análise de regressão linear ($R^2 = 83,6\%$) que houve tendência do CUC diminuir com o aumento da velocidade do vento, consequentemente, pode-se comprovar que um parâmetro aumenta em função do decréscimo do outro.

Foi obtida uma correlação negativa entre CUC e velocidade do vento, ou seja, o CUC diminuiu à medida que a velocidade do vento aumentou.

Nas análises foi encontrado um coeficiente de determinação $R^2 = 66,0\%$, mas quando testado o método de regressão cúbica, obteve-se um coeficiente de determinação $R^2 = 70,6\%$ (Figura 1), concordando com Yacoubi et al. (2010), que a melhor regressão entre CUC e velocidade de vento foi obtida com polinômios de terceiro grau.

$$\text{CUC (\%)} = 91,69 - 2,197 \text{ Vento} + 0,604 \text{ Vento}^2 - 0,1947 \text{ Vento}^3$$

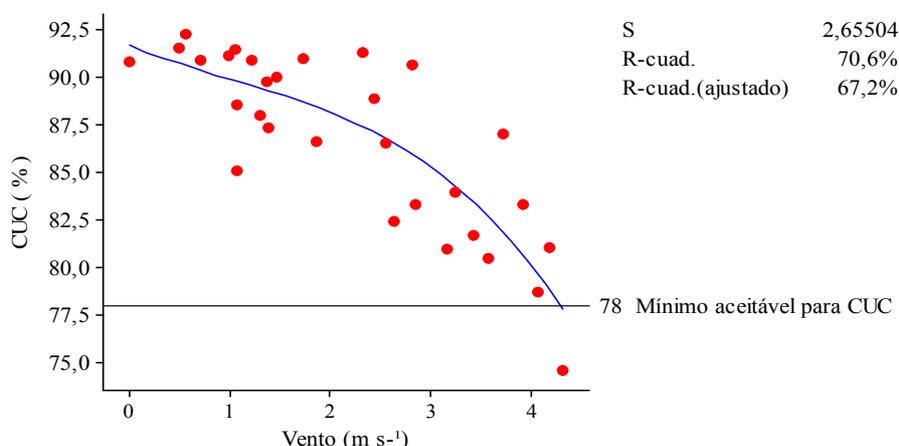


Figura 1. Regressão entre CUC e vento dos ensaios diurnos.

Nas irrigações diurnas, verificou-se que o valor máximo de CUC (92,2%), ocorreu quando a velocidade do vento esteve abaixo de $1,0 \text{ m s}^{-1}$. O valor mínimo para CUC (74,6%) foi constatado quando houve ventos próximo de $4,3 \text{ m s}^{-1}$. As constatações evidenciam que o vento é uma das variáveis climáticas que mais influencia na irrigação por aspersão, conforme verificado por OLIVEIRA, et al. (2009).

YACOUBI et al. (2010) obtiveram os menores valores de CUC (65%) quando a

velocidade do vento ficou acima de $4,0 \text{ m s}^{-1}$. Os maiores valores de CUC (81%) ocorreram quando o vento estava próximo de $1,7 \text{ m s}^{-1}$.

Nas irrigações diurnas, o efeito da velocidade do vento pode ser visualizado pela Figura 2a e 2b.

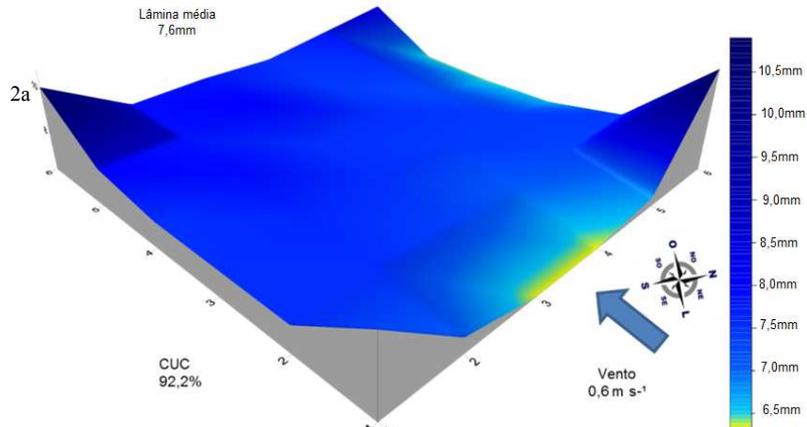


Figura 2a. Ensaio com maior lâmina aplicada na irrigação diurna realizada na localidade de Palotina, PR.

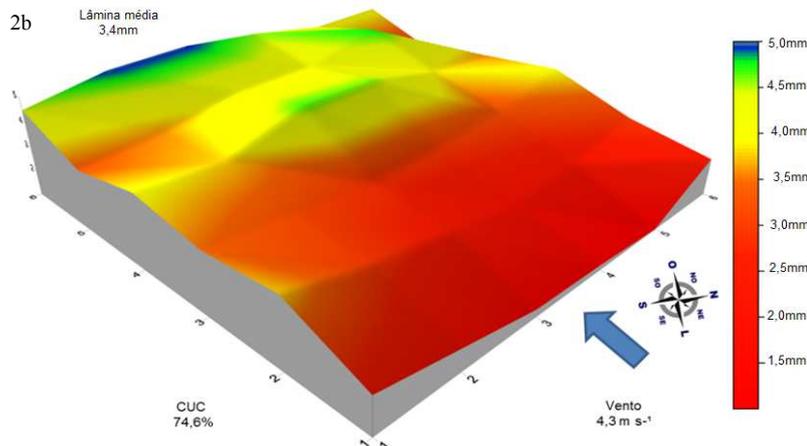


Figura 2b. Ensaio com menor lâmina aplicada na irrigação diurna realizada na localidade de Palotina, PR.

Quando a velocidade do vento atingiu valores menores que 1 m s^{-1} , a lâmina média de irrigação foi de $7,6 \text{ mm}$ (Figura 2a), muito próxima da lâmina simulada pela empresa fornecedora dos aspersores que é de $7,7 \text{ mm}$; com ventos acima de 4 m s^{-1} a lâmina de irrigação diminuiu aproximadamente 45%, cuja média foi de $3,4 \text{ mm}$ (Figura 2b).

Quando a velocidade do vento se elevou de $0,6 \text{ m s}^{-1}$ para $4,3 \text{ m s}^{-1}$, em relação ao CUC ocorreu uma queda de 17,6%, cujo resultado foi o decréscimo dos valores de CUC de 92,2% para 74,6%. Este valor está abaixo do limite mínimo indicado por KELLER e BLIESNER (2009) para irrigação por aspersão ($\text{CUC} > 78\%$).

Irrigação Noturna: Na Tabela 3, apresenta-se a estatística descritiva, em que foram calculados a média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, valores máximo e mínimo para Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Eficiência de Aspersão (Ea), velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar.

Ao serem observados os desvios e as variâncias amostrais, pode-se perceber a pequena variabilidade dos dados na irrigação noturna, com exceção da umidade relativa do ar.

Tabela 3. Análise descritiva das variáveis Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Eficiência de aplicação (Ea), vento, umidade relativa e temperatura do ar

Análise de 30 ensaios	CUC (%)	Ea (%)	Vento (m.s ⁻¹)	Umidade Relativa (%)	Temperatura do ar (°C)
Padrão para os coeficientes	78,00	-	-	-	-
Mínimo	86,32	67,49	0,00	33,83	13,60
Máximo	93,73	88,80	2,47	90,02	27,62
Média	90,55	81,18	0,91	64,91	20,55
Desvio Padrão	1,56	4,61	0,64	14,17	3,38
Variância	2,43	21,25	0,41	200,78	11,42
Coefficiente de Variação	1,72	5,67	70,32	21,83	16,45

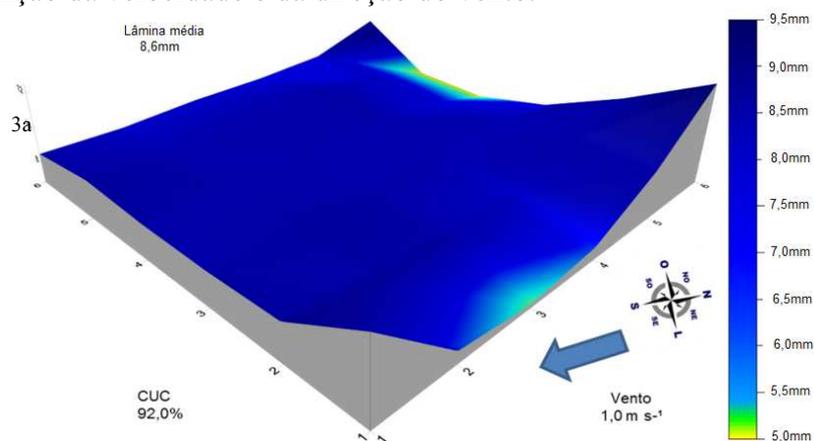
O coeficiente de variação (CV) mínimo foi de 1,7% e máximo de 21,8% indicando que os dados se apresentam de baixa à média variação de acordo com a classificação de PIMENTEL GOMES (2000), com exceção do vento que apresentou CV acima de 70% embora com baixas velocidades média.

Nas irrigações noturnas, verificou-se que o valor máximo de CUC (93,7%), ocorreu quando a velocidade do vento esteve abaixo de 1,0 m s⁻¹. Os valores mínimos para CUC (86,32%) foram constatados quando a velocidade do vento esteve muito próxima de 2,5 m s⁻¹.

O valor mínimo para Ea (67,5%), obtido nas irrigações noturnas, aproxima-se do valor médio do mesmo parâmetro analisado nas irrigações do período diurno, Ea (62,7%).

As constatações proporcionam a possibilidade de caracterizar o comportamento do vento durante o trabalho realizado, o qual se apresentou com maior incidência no período diurno, velocidade média (2,2 m s⁻¹).

O efeito da velocidade do vento nas irrigações noturnas para este experimento pode ser visualizado na Figura 3a e 3b, as quais apresentam o comportamento da lâmina de água aplicada em função da velocidade e da direção do vento.

**Figura 3a.** Ensaio com maior lâmina aplicada na irrigação noturna, realizada na localidade de Palotina, PR.

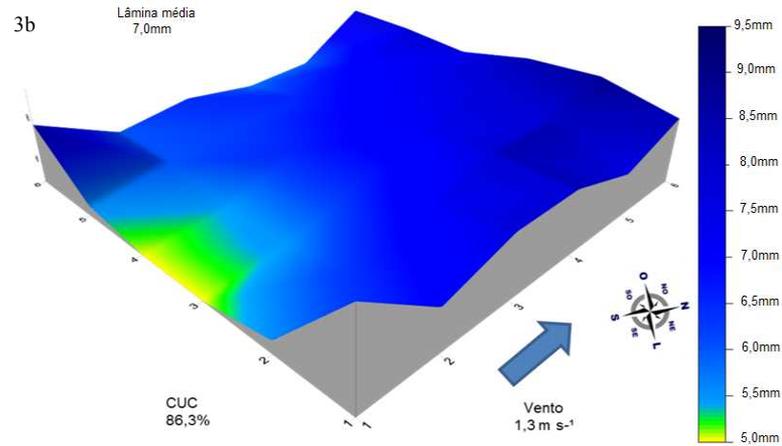


Figura 3b. Ensaio com a menor lâmina aplicada na irrigação noturna, realizada na localidade de Palotina, PR.

Quando a velocidade do vento atingiu valores menores que 1 m s^{-1} , a lâmina média de irrigação foi de $8,6 \text{ mm}$ (Figura 3a).

Para CUC, houve uma queda de $5,7\%$ quando a velocidade do vento foi de $1,0 \text{ m s}^{-1}$ para $1,3 \text{ m s}^{-1}$, o qual passou de $92,0\%$ para $86,3\%$ (Figura 3b). Ainda assim, o valor ficou acima de 78% , mínimo indicado para irrigação por aspersão.

Yacoubi et al. (2010) relatam que a melhor regressão entre CUC e a velocidade do vento é obtida com polinômios de terceiro grau. Nas irrigações do período noturno não foi encontrado tal resultado, pois por regressão cúbica, apenas $39,7\%$ da variação de CUC são explicados pela ação do vento, conforme Figura 4, possivelmente porque as velocidades de vento no período noturno não foram expressivas.

$$\text{CUC (\%)} = 91,88 + 0,057 \text{ Vento (m/s)} - 2,742 \text{ Vento (m/s)**2} + 0,9774 \text{ Vento (m/s)**3}$$

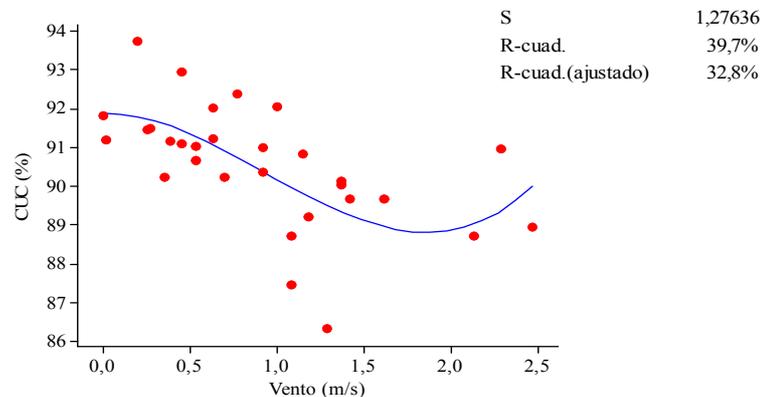


Figura 4. Regressão cúbica entre CUC e vento dos ensaios noturnos.

Pode-se perceber que a velocidade do vento influenciou tanto nas irrigações diurna quanto noturna, e que o vento teve influência diferenciada entre o dia e a noite (Figura 5).

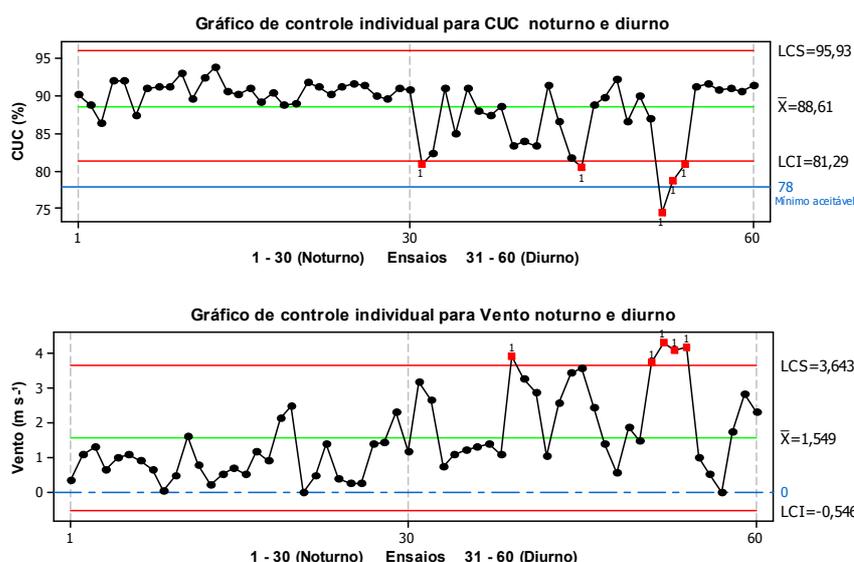


Figura 5. Gráfico de controle individual de Shewhart para CUC e vento nos períodos noturno e diurno.

Na Figura 5, é possível observar visualmente a correlação negativa entre CUC e o vento nas irrigações. No período noturno, houve ventos de menor intensidade e menor variação na velocidade, os quais proporcionaram melhores resultados para o CUC. Todavia, no período diurno a velocidade do vento aumentou bem como sua variabilidade ao longo do tempo, ocorrendo valores de CUC (74,6%) abaixo do limite inferior de controle.

6 CONCLUSÕES

O sistema de aspersão convencional apresentou boa uniformidade nas irrigações diurnas, todavia, no período noturno, tal sistema pode ser considerado como excelente.

Nas irrigações noturnas, as variáveis climáticas apresentaram menor variabilidade quando comparadas ao período diurno, logo, conferiram os melhores resultados na uniformidade de irrigação. No entanto, a velocidade do vento foi o fator que mais influenciou na eficiência de aplicação da água.

O uso dos gráficos individuais de controle de Shewhart possibilitou afirmar que a irrigação noturna esteve sob controle ao longo do tempo, o que não ocorreu no período diurno devido principalmente a variabilidade nas velocidades de vento.

Neste experimento, pode ser observado que na localidade de Palotina, PR, com irrigação noturna, o sistema de irrigação por aspersão teve melhor desempenho.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A. B. de; CUNHA, F. F. da; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A.; PIZIOLO, T. A. de; OLIVEIRA, R. A. de. **Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por mini aspersão**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.15, n.2, p. 109-118, 2007.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª ed. Viçosa: editora UFV, 2008. 625 p.

JUSTI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C. **Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.2, p. 264-270. 2010.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and Trickle Irrigation**. Chapman-Hall, Publishers, 1990, Utah State University, Copyright to 2009. 314p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação princípios e métodos**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. 358p.

MONTGOMERY, D.C.; **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Tradução Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores; Revisão técnica Luiz da Costa Laurencel. – 4 ed., reimpr.- Rio de Janeiro: LTC, 2009. 513p.

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

PIMENTEL GOMES. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba: Editora Degaspari, 2000. p.477.

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

PRADO, J.; COLOMBO, A. **Distribuição espacial da água aplicada por equipamentos autopropelido de irrigação**-Parte 1: Modelagem com o simulasoft. Irriga, Botucatu, v. 15, n.1, p. 15-62, janeiro-março, 2010.

VILAS BOAS, E. B. B. **Estudo da qualidade da matéria-prima de uma fábrica de ração para frangos de corte utilizando cartas de controle e técnicas taguchi de custo mínimo**. 2005. 2 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo – PR, 2005.

YACOUBI, S.; ZAIANI, K.; ZAPATA, N.; ZAIRI, A.; SLATNI, A.; SALVADOR, R.; PLAYÁN, E. **Day and night time sprinkler irrigated tomato: Irrigation performance and crop yield**. Biosystems Engineering, v. 107, p. 25-35, 2010.