

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSORES COMPENSANTES E NÃO COMPENSANTES EM DIFERENTES ALTURAS

JORGE TOMOYOSHI TAMAGI¹; MIGUEL ANGEL URIBE-OPAZO²; JERRY ADRIANI JOHANN² E MARCIO ANTONIO VILAS BOAS²

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Doutorando em Engenharia Agrícola no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PGEAGRI. Rua Universitária, 2069 - Jd. Universitário - Caixa Postal 711 - CEP 85819-110 - Cascavel - PR, e-mail: jtamagi@gmail.com.

² UNIOESTE, *campus* de Cascavel - PR, professores e pesquisadores do PGEAGRI, e-mails: miguel.opazo@unioeste.br; jerry.johann@hotmail.com; marcio.vilasboas@unioeste.br.

1 RESUMO

Este trabalho tem como finalidade contribuir para o desenvolvimento de técnicas adequadas para avaliação de sistemas de irrigação por aspersão, considerando que a uniformidade de distribuição da água afeta diretamente a lâmina bruta de irrigação. O experimento foi conduzido na região Norte de Cascavel, Paraná, (24° 55' 04" latitude Sul, 53° 28' 31" longitude Oeste e altitude de 785 m). Foram utilizadas duas parcelas de 10 x 10 m, denominadas S1 e S2, modificando-se somente a altura dos aspersores de 1,5 m para 1,0 m, respectivamente. Em cada parcela foram instalados 100 coletores, 4 aspersores super 10 bocal azul, compensante e, após 32 ensaios, foram substituídos por 4 aspersores super 10 bocal azul, não compensante. Foram determinados os seguintes coeficientes: Uniformidade de Christiansen, Uniformidade de Distribuição e Uniformidade Estatístico. Foram realizados estudos de inferência estatística e criadas cartas de controle para a análise do controle estatístico do processo, além dos índices de capacidade de processo (Cp) e desempenho do processo (Cpk). Os resultados mostraram que o aspersor compensante apresentou melhor desempenho à altura de 1,5 m (C-1,5 m) e que, entre as alturas de 1,0 m e 1,5 m, as melhores uniformidades de distribuição de água ocorreram na altura de 1,5 m.

Palavras-chave: inferência estatística; cartas de controle; capacidade de processo.

**TAMAGI, J. T.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN J. A.; VILAS BOAS, M. A.
IRRIGATION WATER DISTRIBUTION UNIFORMITY BY COMPENSATING AND
NON-COMPENSATING SPRINKLERS AT DIFFERENT HEIGHTS**

2 ABSTRACT

The uniformity of water application is an important factor to be considered in the assessment of sprinkler irrigation systems, since it directly affects gross irrigation depth. This work is a contribution for the development of appropriate techniques for assessment of results to improve the system. This trial was conducted in the Northern region of Cascavel-PR (24° 55' 04" S, 53° 28' 31" W). Two 10 x 10 m plots were used and described as S1 and S2, according

to the heights' change of sprinklers, from 1.5 to 1.0 m, respectively. There were 100 collectors in each plot, plus 4 Super 10-blue-nozzle pressure compensating sprinklers, and, after 32 essays, they were replaced by 4 Super 10-blue-nozzle non pressure compensating sprinklers. The following coefficients were determined: Christiansen uniformity coefficient (CUC), coefficient of uniformity of distribution (CUD) and statistical uniformity coefficient (SUC). Statistical inference studies were carried out and control charts were generated to analyze the statistical control of the process, as well as Cp and Cpk indices. The results showed the best performance with the pressure compensating sprinklers irrigation at 1.5 m high (C-1.5 m) and that among the 1.0 m and 1.5 m heights the best water distribution uniformity was with the 1.5 m height.

Keywords: Statistical analysis; Control Charts; Process Capacity.

3 INTRODUÇÃO

O Brasil possui as maiores reservas de água doce do planeta (12% do total mundial), fator que, aliado à sua biodiversidade e a abundância dos seus rios e lagos, representa um incalculável patrimônio natural (SHIKLOMANOV, 1998). Os recursos hídricos têm significativa importância no desenvolvimento de diversas atividades econômicas. Em relação à produção agrícola, por exemplo, considerando-se que a água pode representar até 90% da composição física das plantas, a sua falta, no período de crescimento vegetativo, pode destruir lavouras e até ecossistemas inteiros devidamente implantados.

A irrigação é uma técnica milenar que tem por objetivo fornecer água à planta, no momento e na quantidade exata que ela necessita. A tecnologia de irrigação, desde que adequadamente desenvolvida, traz inúmeros benefícios ao setor agrícola, como o aumento da produtividade na produção de alimentos e a geração de empregos (FAGANELLO et al., 2007; SOUZA; SOUZA; VILAS BOAS et al., 2008; DERMITAS; AYAS, 2009; BILIBIO et al., 2010), com conseqüente crescimento da rentabilidade dos produtos rurais. Entretanto, em razão de períodos de seca cada vez mais frequentes e duradouros, os irrigantes têm procurado utilizar o recurso água de forma cada vez mais eficiente, maximizando a atividade produtiva.

A irrigação por aspersão na forma de chuva artificial constitui-se num dos métodos mais utilizados nas últimas décadas no Brasil (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; ALENCAR et al., 2007).

Podendo-se obter altos índices de eficiência, empregando-se o dimensionamento correto do sistema, equipamentos adequados e manejo racional da água (FRIZZONE; REZENDE; FREITAS, 2011). No sistema de irrigação em hortaliças e frutas, os valores superam os 90%. Isso quer dizer que, do volume total de água aplicado, acima de 90% ficará disponível para a planta. Se a eficiência for baixa, será necessária a aplicação de um volume maior para compensar as perdas, significando um desperdício de água e energia (HICKEL et al., 2005).

A uniformidade pode variar devido a diversos fatores ambientais, como a velocidade do vento, a umidade relativa do ar e a temperatura ambiente (FREITAS et al., 2003; PAULINO et al., 2009; PRADO; COLOMBO, 2010; FRIGO et al., 2013). Segundo Brennan, Narasimha e Holtham (2007), a uniformidade de distribuição da água é o principal fator usado para determinar se um sistema de irrigação é aceitável ou não. Segundo Bernardo (1995) e Mantovani, Bernardo e Palaretti (2007), a uniformidade pode ser expressa por índices ou coeficientes, sendo mais utilizado o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).

Entretanto, também são utilizados, em menor escala, o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente Estatístico de Uniformidade (CUE).

Os métodos estatísticos de controle de processos são técnicas eficazes para a melhoria dos processos e a redução de defeitos. As cartas de controle constituem um método estatístico para a análise e ajuste da variação de um processo em função de fatores de interesse. Segundo Montgomery (2009), no estudo de controle de processos, é importante verificar a estabilidade por meio da capacidade de processos.

Para definir o quanto um processo é capaz de atender às especificações, utilizam-se os índices de capacidade: capacidade do processo (C_p) e desempenho do processo (C_{pk}).

Segundo Werkema (1996), para utilizar os índices de capacidade é necessário que o processo esteja sob controle estatístico e que a variável de interesse tenha uma distribuição normal de probabilidades. Ressalte-se que, para o cálculo destes itens, deve-se ter pelo menos 30 observações para o uso do Teorema Central de Limite (MONTGOMERY, 2009).

Para este trabalho foi estabelecido como objetivo avaliar a uniformidade de distribuição de água por meio de irrigação por aspersores compensantes e não compensantes, bocal azul, NaanDan, a 1,0 e 1,5 m de altura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Instalação do experimento

O experimento foi conduzido na chácara Floricultura & Mercado de Plantas Cascavel, localizada na região norte da cidade de Cascavel-PR (Figura 1), 24° 55' 04" de latitude Sul e 53° 28' 31" de longitude Oeste, com altitude de 785 m. O clima da região é temperado, mesotérmico, superúmido, subtropical, com temperatura média do ar de 28,6°C, em janeiro e de 11,2°C em julho, com ocorrência de geadas, ficando a temperatura média do ar em 19,0 °C, precipitação acumulada anual em 1940 mm e umidade relativa do ar anual de 75% (IAPAR, 2012).

Figura 1. Localização da área experimental



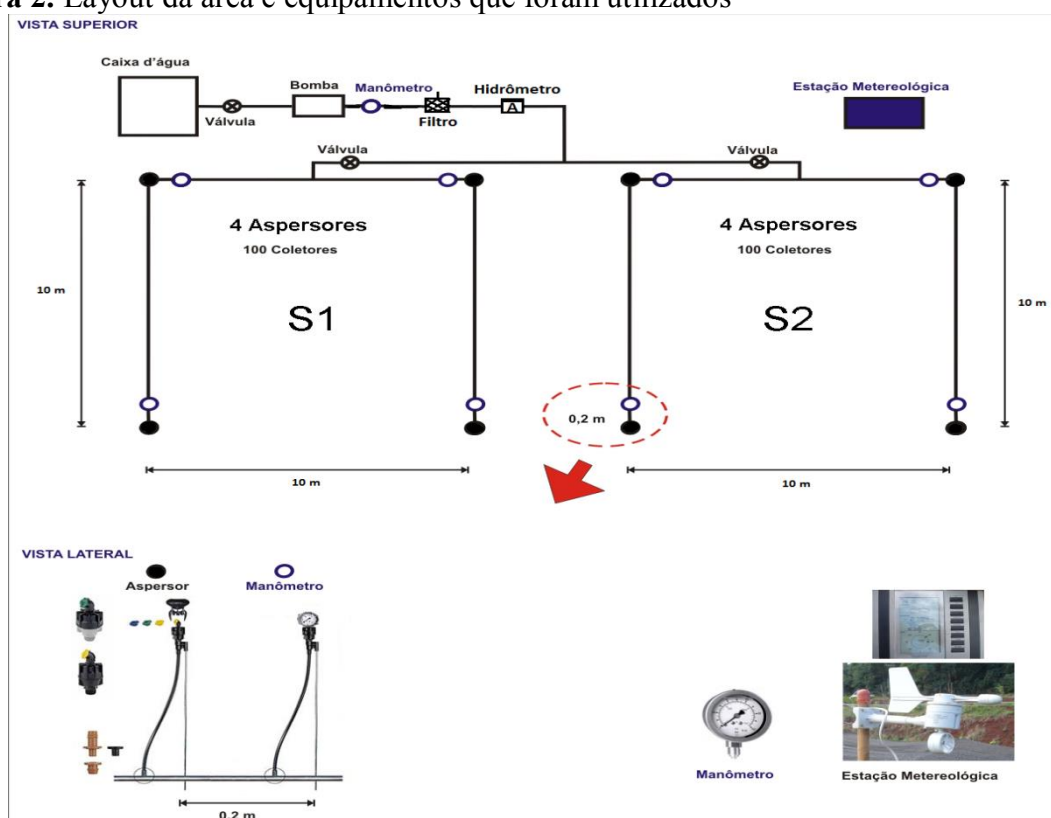
O sistema de irrigação por aspersão montado para este experimento foi constituído com os seguintes equipamentos: caixa de água de 5 m³, bomba de água marca Sonar de 2 CV,

4 estágios, 60 m.c.a. ou 6 kg (vazão), $Q = 4,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, manômetro com glicerina escala de 0 - 10,5 Bar, filtro, hidrômetro, válvulas, tubulação das linhas de plástico preto de uma polegada de diâmetro, aspersores compensantes e não compensantes (bocal azul, super 10, da fabricante NaanDan) e coletores (com 80 mm de diâmetro e 102 mm de altura, da marca Fabrimar) fixados em hastes metálicas, a 70 cm da superfície do solo (Figura 2).

Também foi instalada uma estação meteorológica portátil - *La Crosse Technology* - para registro das condições climáticas no local do ensaio dos aspersores. A temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) foi obtida por um termômetro, a umidade relativa do ar (%) foi medida por meio de um termohigrógrafo e a velocidade do vento (m s^{-1}) por um anemômetro de conchas totalizador, instalado a 2 m de altura, em relação à superfície do solo. A leitura dos dados foi realizada no início e a cada 10 minutos, totalizando sete medições para cada ensaio de 1 hora, nas diferentes condições trabalhadas no experimento, conforme descrito a seguir.

Foram demarcadas duas parcelas de 10 x 10 m, denominadas S1 e S2 (Figura 2), em que se modificou apenas a altura dos aspersores de 1,5 m para 1,0 m, respectivamente. Em cada parcela foram instalados 100 coletores, 4 manômetros de pressão de 0 a 10 bar, 4 aspersores compensantes (S1) e, após 32 ensaios, foram substituídos por 4 aspersores não compensantes (S2), fazendo-se outros 32 ensaios. As duas parcelas não foram irrigadas simultaneamente. A pressão do sistema foi mantida constante a 3,5 bar, com verificações constantes para que não ocorresse variação.

Figura 2. Layout da área e equipamentos que foram utilizados

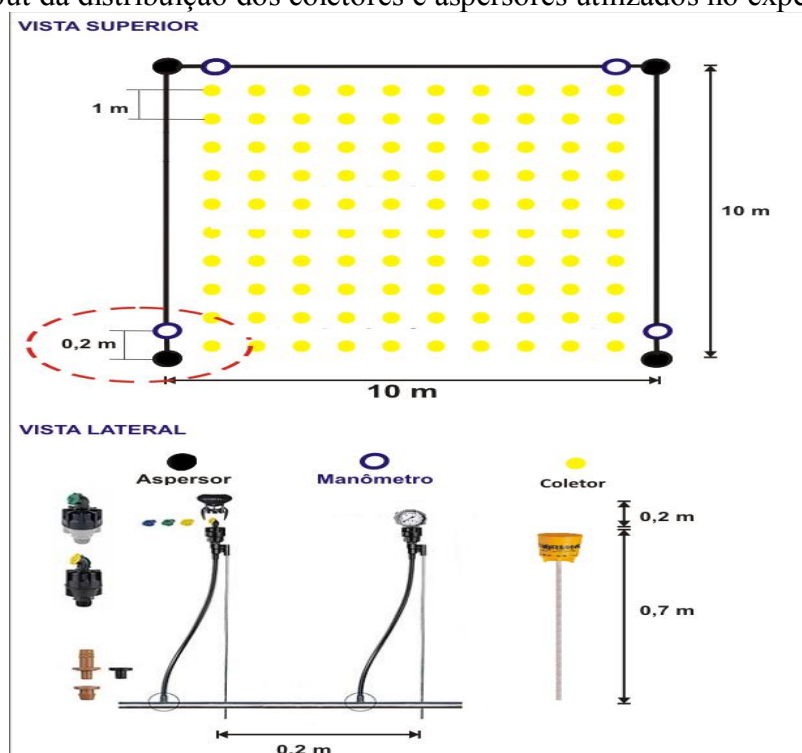


Para determinação da uniformidade do sistema de irrigação por aspersão, os 100 coletores foram distribuídos de forma equidistante numa grade de 1,0 x 1,0 m (Figura 3). As linhas de coletores cobriram uma distância superior ou igual ao alcance do jato dos emissores que funcionaram por 1 hora. A medição da distribuição superficial da água aplicada pelo

sistema de irrigação seguiu o que preconiza a norma NBR ISO 7749-2 - Equipamentos de irrigação agrícola - Aspersores rotativos e Parte 2: Uniformidade de distribuição e métodos de ensaio (ABNT, 2000).

As leituras da quantidade de água, em cada um dos 100 coletores, foi feita com uma proveta graduada, após 1 hora de irrigação, para se calcular os coeficientes de uniformidade de lâminas de água aplicadas, conforme Bernardo (1995). A média do volume de água, marcada no hidrômetro durante os experimentos realizados em datas diferentes, foi de $1,60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. O tempo ideal para cada teste deve ser igual ou maior do que a metade do tempo que o sistema funcionará por posição, durante as irrigações normais (BERNARDO, 1995).

Figura 3. Layout da distribuição dos coletores e aspersores utilizados no experimento



4.2 Coeficientes de uniformidade

A uniformidade do sistema está associada à variabilidade da lâmina de irrigação, ao longo da área molhada, expressa pelos diferentes índices e coeficientes, calculados após a coleta dos dados: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen - CUC, Coeficiente de Uniformidade de Distribuição - CUD e Coeficiente de Uniformidade Estatístico - CUE.

A uniformidade do sistema de irrigação é quantificada por meio de um coeficiente de uniformidade. Muitos são os coeficientes utilizados para expressar a distribuição da água na irrigação por aspersão (CHRISTIANSEN, 1942; DENICULI et al., 1980), desenvolvidos por diversos pesquisadores e que podem ser consultados em Frizzone et al. (2012). No Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), adota-se o desvio médio absoluto como medida de dispersão (CHRISTIANSEN, 1942), conforme Equação (1):

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

Em que: *CUC*: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%); X_i : lâmina coletada no ponto i (mm), para $i = 1, \dots, n$; \bar{X} : lâmina média (mm); n : número de coletores.

No Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (*CUD*), relaciona-se a lâmina média aplicada na quarta parte total, que recebe menos água, com a lâmina média aplicada na área total (CRIDDLE et al., 1956), conforme quantificada pela Equação (2):

$$CUD = 100 \left(\frac{\bar{X}_{0,25}}{\bar{X}} \right) \quad (2)$$

Em que: *CUD*: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%); $\bar{X}_{0,25}$: lâmina média de ¼ do total de pluviômetros com as menores lâminas (mm).

No Coeficiente de Uniformidade Estatístico, utiliza-se o desvio padrão (σ) como medida de dispersão (WILCOX; SWAILES, 1947), calculado conforme Equação (3):

$$CUE = 100 - CV \quad (3)$$

Em que: *CUE*: Coeficiente de Uniformidade Estatístico (%); *CV*: Coeficiente de Variação (%).

4.3 Análise estatística

Inicialmente, procedeu-se uma análise estatística exploratória das variáveis climáticas: velocidade do vento - V_v ($m s^{-1}$), temperatura média do ar - T ($^{\circ}C$) e umidade relativa do ar - UR (%), monitorados durante a execução dos ensaios nas parcelas S1 e S2 para as duas alturas testadas.

Em seguida, foi feita uma análise estatística dos coeficientes de uniformidade *CUC*, *CUD* e *CUE* da lâmina de água de irrigação obtida em cada uma das condições ensaiadas.

Com o intuito de comparar os resultados médios de cada coeficiente de uniformidade (*CUC*, *CUD*, *CUE*), em cada condição de ensaio de campo, ou seja, aspersores compensantes (*C*) e não compensantes (*NC*) a 1,0 e 1,5 m de altura, procedeu-se a aplicação do *Teste T* (DANCEY; REIDY, 2006; DEVORE, 2006) para amostras independentes, com nível de 5% significância. Assim, se $p\text{-valor} < 0,05$, então, existe diferença estatística significativa no coeficiente de uniformidade, entre as condições estudadas; caso contrário, a diferença não é significativa, a 5% de probabilidade. A aplicação deste teste estatístico mostrará se existe diferença nos coeficientes de uniformidade de irrigação estudados para os modelos de aspersores compensante e não compensante, nas alturas de 1,0 e 1,5 m.

Segundo Pimentel-Gomes (1985), para ensaios agrícolas o Coeficiente de Variação (*CV*) dos dados pode ser assim classificado: baixa dispersão quando $CV \leq 10\%$; média dispersão quando $10\% < CV \leq 20\%$; alta dispersão quando $20\% < CV \leq 30\%$ e dispersão muito alta quando $CV > 30\%$.

Como a aplicação do *Teste T* para amostras independentes exige que se estabeleça se as variâncias são estatisticamente iguais ou diferentes, procedeu-se, preliminarmente, a aplicação do *Teste F* – duas variâncias com o mesmo nível de significância, com a utilização do *software* Minitab (2012). Neste caso, se $p\text{-valor} < 0,05$ ($\alpha=5\%$), as condições estudadas têm variâncias estatisticamente diferentes; caso contrário, as variâncias são estatisticamente iguais, a 5% de probabilidade.

4.4 Cartas de controle

Werkema (1996) sugere uma sequência de passos para análise das cartas de controle que consiste em construir limites de controle experimentais após a coleta de dados, segundo o plano de amostragem e verificar se todos os pontos estão dentro dos limites de controle e nenhuma configuração aleatória está presente. Se essas duas condições forem satisfeitas, pode-se afirmar que o processo está sob controle estatístico, o próximo passo é avaliar a capacidade do processo. Caso haja pontos fora dos limites de controle e/ou alguma configuração não aleatória, pode-se concluir que o processo está fora do estado de controle estatístico.

Encontrar os pontos fora dos limites de controle é uma tarefa fácil, mas identificar configurações não aleatórias em uma carta de controle é uma tarefa que gera muitas dúvidas. Montgomery (2009) apresenta os padrões de referência relativos às configurações não aleatórias, tais como o padrão de sequência, de tendência e de aproximação da média.

4.5 Capacidade de processos

Um processo é estável quando as variações que nele ocorrem não são provocadas por fatores específicos, mas por fatores aleatórios. Um processo estável apresenta previsibilidade.

Para medir o quanto o processo é capaz de atender às especificações, utiliza-se o que se chama de índice de capacidade, que são dois: Capacidade do processo (C_p) e Desempenho do processo (C_{pk}).

Caso a variável de interesse tenha especificações bilaterais, o índice de capacidade de processo C_p (*Process capability ratios—PCR*) é definido de acordo com a Equação 4:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{LSC - LIC} \quad (4)$$

em que: LIE e LSE são os limites inferior e superior de especificações, respectivamente; LIC e LSC são os limites inferior e superior de confiança, respectivamente.

Observe-se que o índice C_p relaciona aquilo que se deseja produzir ($LSE - LIE$), que corresponde à variabilidade permitida ao processo, com a variabilidade natural do processo ($LIC - LSC$).

O índice C_{pk} permite avaliar se o processo está sendo capaz de atingir o valor nominal da especificação, pois considera o valor da média do processo. Logo, o índice C_{pk} pode ser interpretado como uma medida da capacidade real do processo. O índice C_{pk} é definido como $C_{pk} = \text{Min} \{C_{pu}, C_{pl}\}$, em que os estimadores de C_{pu} e C_{pl} são, respectivamente, definidos pelas Equações 5 e 6:

$$C_{pu} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{\sigma}} \quad (5)$$

$$C_{pl} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}} \quad (6)$$

Montgomery (2009) classifica a capacidade do processo considerando que, se o valor de $C_p \geq 1,33$, o processo é capaz ou adequado, segundo as especificações; se $1 \leq C_p < 1,33$, o

processo é aceitável; se $C_p < 1$, o processo é incapaz ou inadequado. Se o processo não estiver centrado, sua capacidade real será menor do que a indicada por C_p , portanto, é conveniente pensar em C_p como uma medida de capacidade potencial, isto é, a capacidade de um processo centrado no valor nominal.

O índice C_{pk} permite avaliar se o desempenho do processo está sendo capaz de atingir o valor nominal da especificação, pois considera o valor da média do processo. Logo, o índice C_{pk} pode ser interpretado como uma medida da capacidade real do processo. O desempenho é incapaz se $C_{pk} < 1$, é aceitável se $1 \leq C_{pk} \leq 1,33$ e é capaz se $C_{pk} \geq 1,33$. Se $C_{pk} < C_p$ o processo está fora do ponto de especificação.

Através do programa Minitab (2012) foram calculados o potencial do processo C_p e o desempenho do processo C_{pk} utilizando os limites bilaterais sugeridos por Mantovani, Bernardo e Palaretti (2007) que classificam uma uniformidade média com $75\% \leq CUC < 95\%$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados climáticos monitorados durante a execução do experimento (Tabela 1) indicam que a temperatura média do ar (T) variou entre 25,72 °C (C-1,0 m) e 31,14 °C (NC-1,5 m). Segundo a classificação Pimentel-Gomes (1985), houve baixa dispersão dos dados, expressa pelo coeficiente de variação (CV) de 4,12%, para os aspersores compensantes a um metro de altura (C-1,0 m) e média dispersão dos dados para as demais condições ensaiadas, com coeficientes de variação de 12,13% (NC-1,5 m), de 13,54% (C-1,5 m) e 16,82% (NC-1,0 m).

A umidade relativa (UR) variou entre 16,42% (C-1,5 m) e 47,24% (NC-1,0 m), com baixa dispersão durante o ensaio C-1,0 m (CV = 3,07%) e NC-1,5 m (CV = 3,25%); média dispersão para o ensaio C-1,5 m (CV = 12,05%) e alta dispersão dos dados (CV = 20,77%) na execução do ensaio NC-1,0 m.

A velocidade do vento (Vv), embora tenha variado entre 0 e 4,67 m s⁻¹, na média, foi de 2,18 m s⁻¹, com dispersão dos dados muito alta (47,59% < CV < 61,58%) no decorrer da execução do experimento.

Tabela 1. Análise exploratória dados climáticos velocidade do vento – Vv (m s⁻¹), temperatura média do ar – T (°C) e umidade relativa do ar – UR (%), obtidos durante o experimento com os 32 ensaios com aspersores compensantes (C) e não compensantes (NC) a 1,0 e 1,5 m de altura

Altura	1,0 m						1,5m					
	Vv (m s ⁻¹)		T (°C)		UR (%)		Vv (m s ⁻¹)		T (°C)		UR (%)	
Aspersores	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
N	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224
Mínimo	0,00	0,00	15,20	18,29	23,57	23,57	0,16	0,00	21,09	21,09	11,99	29,00
Q ₁	0,93	0,93	20,08	26,63	41,11	39,46	1,28	1,18	27,90	28,90	14,98	39,32
Média	2,24	2,03	25,72	29,71	47,22	47,24	2,22	2,23	30,62	31,14	16,42	46,48
Mediana	2,39	2,05	26,37	29,19	48,82	50,61	2,20	2,20	30,81	30,84	16,50	47,50
Q ₃	3,57	2,92	28,90	33,33	54,86	55,62	2,93	2,94	34,43	34,49	17,88	55,21
Máximo	4,19	4,61	39,94	39,94	57,14	57,29	4,67	4,67	38,71	38,71	20,63	57,86
DP	1,32	1,25	1,06	5,00	1,45	9,81	1,06	1,20	4,15	3,78	1,98	1,51
CV (%)	58,93	61,58	4,12	16,82	3,07	20,77	47,59	56,61	13,54	12,13	12,05	3,25

Notas: Vv: velocidade do vento; T: temperatura média do ar; UR: umidade relativa do ar; C: aspersor compensante; NC: aspersor não compensante; n: tamanho da amostra; Q₁: primeiro quartil; Q₃: terceiro quartil; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

Nas estatísticas descritivas, apresentadas na Tabela 2, os valores mínimos do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), nos 32 ensaios, variaram entre 75,77% (NC-1,0 m) e 94,10% (C-1,5 m); em média estiveram entre 84,56% (NC-1,0 m) e 87,51% (C-1,5 m) e com baixa dispersão dos dados ($2,48 < CV < 4,95$). O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) variou entre 68,24% (NC-1,5 m) e 88,27% (C-1,5 m); em média, manteve-se entre 75,36% (NC-1,0 m) e 81,66% (C-1,5 m) e também com baixa dispersão dos dados ($4,46 < CV < 7,81$), seguindo a mesma tendência do que ocorreu com o CUC. Finalmente, o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) variou de 68,12% (C-1,0 m) a 89,83% (C-1,5 m); em média, esteve entre 80,74% (NC-1,0 m) e 81,93% (C-1,5 m) e com baixa dispersão dos dados ($3,43 < CV < 6,50$).

O valor de CUD foi menor que os do CUC e CUE, igual ao encontrado por Rocha et al. (1999) e Carvalho et al. (2006).

Tabela 2. Análise exploratória dos coeficientes de uniformidade CUC, CUD, CUE da lâmina de água de irrigação, dos 32 ensaios com aspersores compensantes (C) e não compensantes (NC) a 1,0 e 1,5 m de altura

Altura	1,0 m						1,5m					
	CUC (%)		CUD (%)		CUE (%)		CUC (%)		CUD (%)		CUE (%)	
Aspersores	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Mínimo	78,83	75,77	68,24	63,86	68,12	70,82	82,61	78,54	73,30	68,24	77,86	68,12
Q ₁	82,18	81,72	73,14	71,49	77,48	77,62	86,02	82,46	79,33	73,14	81,77	77,48
Média	86,28	84,56	78,74	75,36	81,90	80,74	87,51	85,50	81,66	78,84	83,84	81,93
Mediana	86,43	84,87	79,20	74,53	83,04	81,15	87,48	86,31	81,51	79,20	83,57	83,04
Q ₃	90,41	88,28	84,37	81,02	85,82	85,26	89,20	88,06	85,15	84,37	86,04	85,82
Máximo	93,08	91,04	87,65	86,56	89,20	88,11	94,10	91,92	88,27	87,65	89,83	89,20
DP	4,27	4,16	6,15	5,82	5,33	4,81	2,48	3,97	3,64	6,08	2,88	5,31
Variância	18,24	17,28	37,84	33,88	28,37	23,14	6,15	15,76	13,24	36,96	8,29	28,18
CV (%)	4,95	4,92	7,81	7,72	6,50	5,96	2,83	4,64	4,46	7,71	3,43	6,48
Assimetria	0,00	-0,51	-0,20	-0,02	-0,60	-0,39	0,24	-0,26	-0,17	-0,23	-0,07	-0,61
Curtose	-1,27	-0,53	-1,27	-0,71	-0,21	-0,74	0,65	-0,76	-0,47	-1,21	-0,37	-0,17

Notas: C: aspersor compensante; NC: aspersor não compensante; n: tamanho da amostra; Q₁: primeiro quartil; Q₃: terceiro quartil; DP: desvio padrão; CV: Coeficiente de variação; CUC: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen; CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição; CUE: Coeficiente Estatístico de Uniformidade.

Todas as condições que envolveram o uso de aspersores compensantes a 1,5 m de altura (C-1,5 m), nos coeficientes de uniformidade (CUC, CUD, CUE) apresentados na Tabela 3, trazem diferenças significativas no *Teste F* da comparação das variâncias, a 5% de probabilidade ($p\text{-valor} < 0,05$), quando comparados às outras condições ensaiadas de aspersores compensantes a 1,0 m de altura e não compensantes a 1,0 e 1,5 m de altura (C-1,0 m; NC-1,0 m e NC-1,5 m). Assim, procedendo-se ao *Teste T* (Tabela 4) de comparação de médias (amostras independentes), para estes casos, considerou-se o teste com variâncias diferentes e, para os demais casos, como variâncias iguais.

A menor variância na distribuição de lâmina de água de irrigação, durante os 32 ensaios realizados (Tabela 2) levou a condição experimental “C-1,5 m” ser considerada com variância diferente (Tabela 3) das demais condições experimentais (C-1,0 m; NC-1,0 m; NC-1,5 m).

Tabela 3. Resultados dos níveis descritivos (p-valor) da aplicação do *Teste F* de comparação de variâncias entre as condições dos ensaios (aspersores compensantes e não compensantes (NC) a altura de 1,0 m e 1,5 m) para cada coeficiente de uniformidade (CUC, CUD, CUE) da lâmina de água de irrigação

Combinações de ensaios	C-1,0m			NC-1,0m			C-1,5m		
	CUC	CUD	CUE	CUC	CUD	CUE	CUC	CUD	CUE
NC-1,0m	0,880	0,760	0,574						
C-1,5m	0,003*	0,005*	0,001*	0,005*	0,011*	0,006*			
NC-1,5m	0,687	0,948	0,985	0,801	0,810	0,586	0,011*	0,005*	0,001*

Notas: Com asterisco e em negrito os p-valores < 0,05, que significam variâncias diferentes, a 5% de probabilidades.

Na Tabela 4, apresentam-se os resultados dos níveis descritivos (p-valores) da aplicação do *Teste T* de comparação de médias entre as condições dos ensaios aspersores compensantes (C) e não compensantes (NC) com alturas de 1,0 m e 1,5 m, para cada coeficiente de uniformidade (CUC, CUD, CUE) da lâmina de água de irrigação. Observa-se que ocorreram diferenças significativas, a 5% de probabilidades entre as condições C-1,5 m vs NC-1,0 m e C-1,5 m vs NC-1,5 m.

Tabela 4. Resultados dos níveis descritivos (p-valores) da aplicação do *Teste T* de comparação de médias (amostras independentes) entre as condições dos ensaios (aspersores compensantes (C) e não compensantes (NC) a altura de 1,0 m e 1,5 m) para cada coeficiente de uniformidade (CUC, CUD, CUE) da lâmina de água de irrigação

Combinações de ensaios	C-1,0 m			NC-1,0 m			C-1,5 m		
	CUC	CUD	CUE	CUC	CUD	CUE	CUC	CUD	CUE
NC-1,0m	0,108	0,028*	0,362						
C-1,5m	0,166	0,025*	0,078	0,001*	3,5E^{-0,6*}	0,003*			
NC-1,5m	0,453	0,947	0,985	0,359	0,023*	0,351	0,019*	0,029*	0,081

Notas: Com asterisco e em negrito os p-valores < 0,05, que significam médias estatisticamente diferentes, a 5% de probabilidades.

Mantovani, Bernardo e Palaretti (2007) classificam a uniformidade como alta quando o CUC > 95%, uniformidade média com 55% < CUC ≤ 95% e uniformidade baixa quando o CUC ≤ 55%.

Esses autores afirmam que a irrigação por aspersão apresenta valores de eficiência de uniformidade da ordem de 75% a 90%. Souza, Souza e Vilas Boas (2008), estudando o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão convencional em uma vila rural, obtiveram valores de uniformidade abaixo do mínimo aceitável, que é de 80%, em função de problemas com fatores climáticos obtendo um CUC médio de 77,9%. Justi, Vilas Boas e Sampaio (2010) observaram em seu estudo, na aplicação de água com a utilização de dois aspersores marca NaanDan, modelo Super 10, não compensante, bocal azul, que houve tendência do CUC diminuir com o aumento da velocidade do vento, obtendo CUC mínimo, médio e máximo de 72,25%, 79,72% e 89,45%, respectivamente. Portanto, observa-se que, segundo a proposição de Mantovani, Bernardo e Palaretti (2007) obteve-se, neste experimento, uma classificação média, porém, quando comparado aos resultados dos demais autores, o CUC deste experimento foi relativamente maior, indicando melhor distribuição de lâmina de água de irrigação.

Segundo o catálogo técnico da tabela de desempenho do fabricante dos aspersores Super 10, bocal azul, Naandan, no espaçamento de 10 x 10 m, a 3,5 bar de pressão, utilizados neste estudo, os aspersores compensantes apontam para CUC entre 89% e 92%, já os

aspersores não compensantes apontam para um CUC maior que 93%. Entretanto, neste estudo, os resultados encontrados foram menores, pois, em média, nos aspersores compensantes foi alcançado um CUC médio entre 86,28% (C-1,0 m) e 87,51% (C-1,5 m); nos aspersores não compensantes foi obtido um CUC médio entre 84,56% (NC-1,0 m) e 85,50% (NC-1,5 m). Porém, não houve diferença estatística significativa (Tabela 4) alterando-se a altura do aspersores, dentro de cada categoria de aspersor.

Apenas as condições C-1,0 m (78,84%) vs NC-1,5 m (79,27%) apresentam-se estatisticamente iguais, a 5% de significância para o CUD (Tabela 4).

O Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) na comparação de médias (Tabela 4) verificou-se que apenas as condições C-1,5 m (83,84%) vs NC-1,0 m (80,74%) apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade. Os valores encontrados neste experimento estão em conformidade com o que definem Bernardo, Soares e Mantovani (2006), que indicam valores eficientes de CUE >75% em sistemas de irrigação por aspersão.

De forma geral, pode-se inferir que o uso de aspersores compensantes a 1,5 m de altura (C-1,5 m) apresentou o maior CUC médio (87,51%) e a menor variabilidade (CV = 2,83%) nos 32 ensaios (Tabela 2). Foi o único que diferiu estatisticamente das demais condições ensaiadas e, conseqüentemente, o que apresentou a maior uniformidade média.

Dechmi et al. (2003) observaram, em seu estudo, que na aplicação de água por aspersão no milho, a uniformidade, em 48% dos ensaios, foi menor que o aceitável, justificando que isto ocorreu em função da alta velocidade do vento, mas no experimento realizado foram evitados os dias em que apresentavam valores acima de 3,0 m s⁻¹. Também Azevedo et al. (2000), estudando a influência de fatores climáticos em sistemas por aspersão de alta pressão, relataram que, quando a velocidade do vento aumentou de 1,0 para 7,0 m s⁻¹, o CUC caiu de 83% para 42%, ou seja, a uniformidade reduziu pela metade com este aumento de velocidade do vento. Playan et al. (2006), Oliveira; Colombo e Faria (2009), estudando a uniformidade de distribuição de água, usando modelos balísticos e utilizando três modelos de aspersores, verificaram que, em todos os casos, com o aumento da velocidade do vento a uniformidade foi afetada, porém Frigo et al. (2013) encontraram nesta variável uma intensidade menor no período da noite.

Nas Figuras 4 a 6, apresentam-se o comportamento dos índices CUC, CUD e CUE, para cada um dos 32 ensaios, para os aspersores compensantes (C) e não compensantes (NC) nas alturas de 1,0 e 1,5 m de altura.

Verificou-se que salvo os processos dos índices CUC-C1,5 m e CUC-NC1,5 m (Figuras 4 e 5), os demais processos estão sobre controle estatístico nas Cartas de controle para os índices CUC e CUD da irrigação por aspersão dos 32 ensaios, com aspersores compensantes e não compensantes a 1,0 m e 1,5 m de altura.

Ao estudar as cartas de controle do índice CUE da Figura 6, verifica-se que, salvo os processos que CUE-C1,0 m, CUE-C1,5 m e CUE-NC1,5 m, os demais processos dos índices CUE estão sobre controle estatístico na irrigação por aspersão dos 32 ensaios, com aspersores compensantes e não compensantes a 1,0 m e 1,5 m de altura.

Ao verificar os processos fora de controle estatístico, observa-se que o ensaio 5 do índice CUC-C1,5 m, o ensaio 17 do índice CUC-NC1,5 m, o ensaio 29 do índice CUE-C1,0 m, os ensaios 5 e 30 do índice CUE-C1,5 m e o ensaio 27 do índice CUE-NC1,5 m têm pontos fora do limite superior de controle estatístico, em razão da velocidade do vento no horário da coleta dos dados, mas também da direção, que não foi avaliada neste experimento.

Figura 4. Carta de controle para o CUC da irrigação por aspersão dos 32 ensaios, com aspersores compensantes e não compensantes a 1,0 m e 1,5 m de altura

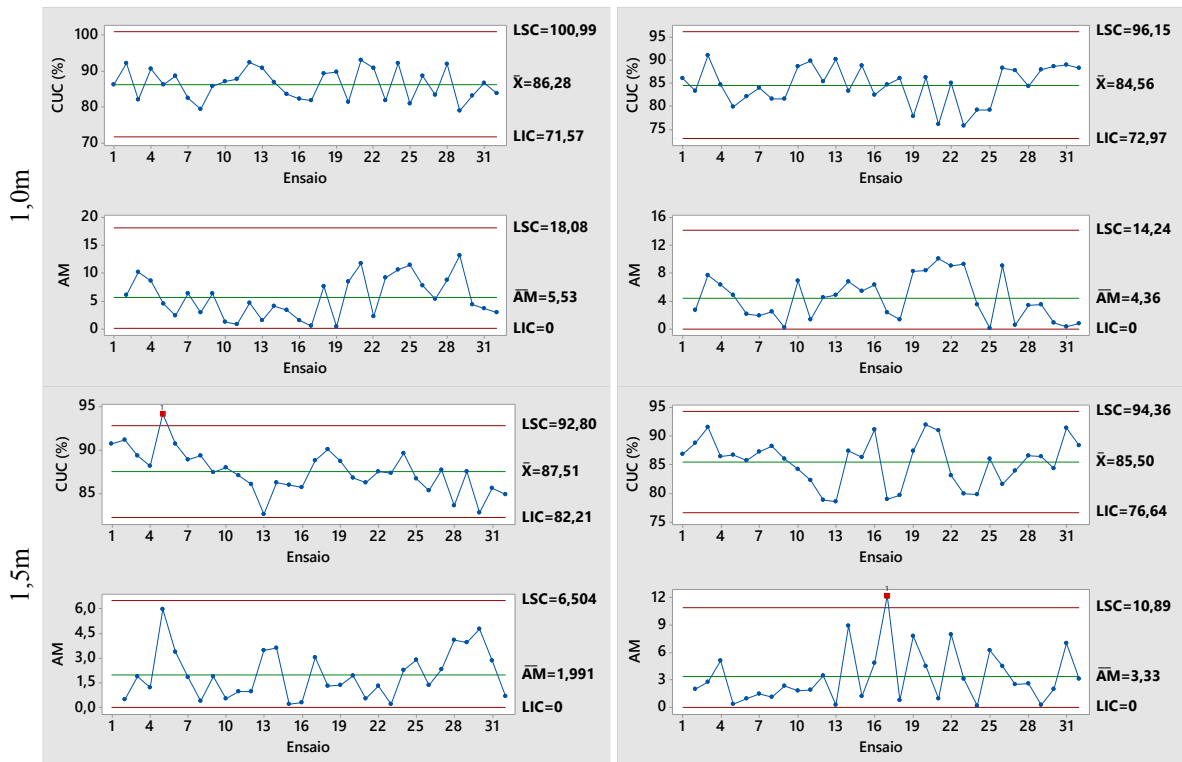


Figura 5. Carta de controle para o CUD da irrigação por aspersão dos 32 ensaios, com aspersores compensantes e não compensantes a 1,0 m e 1,5 m de altura

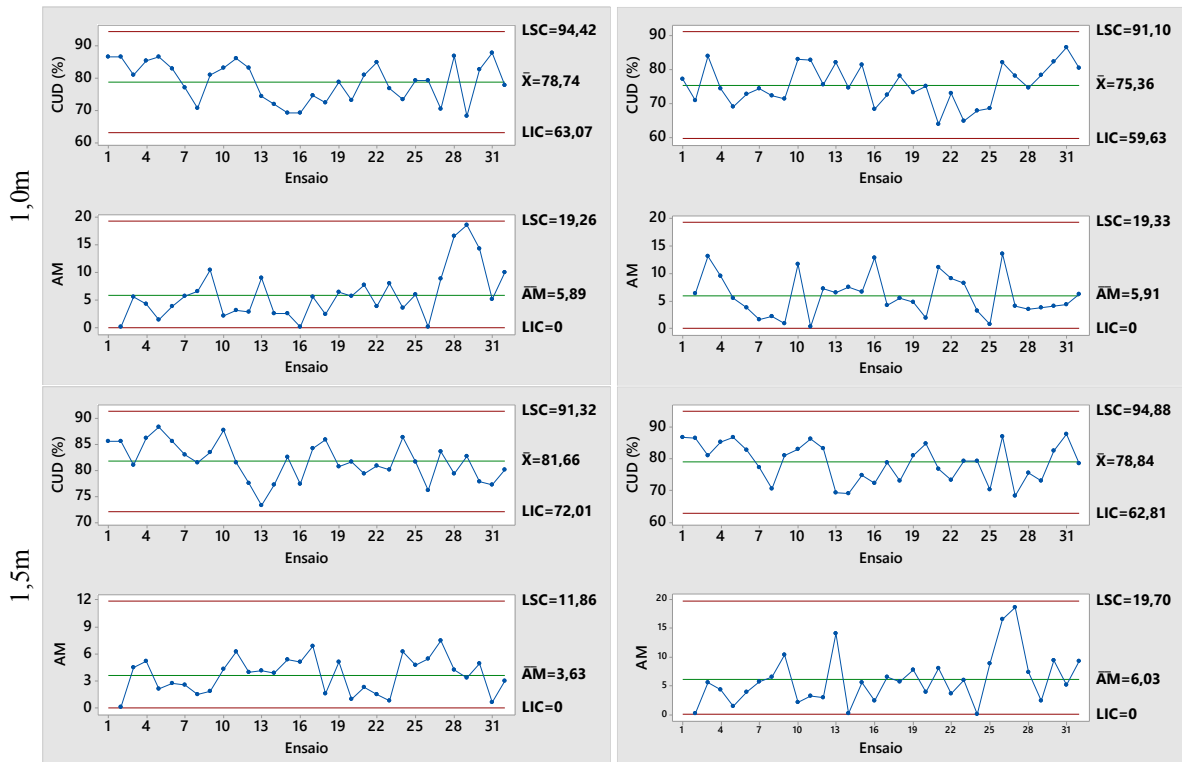
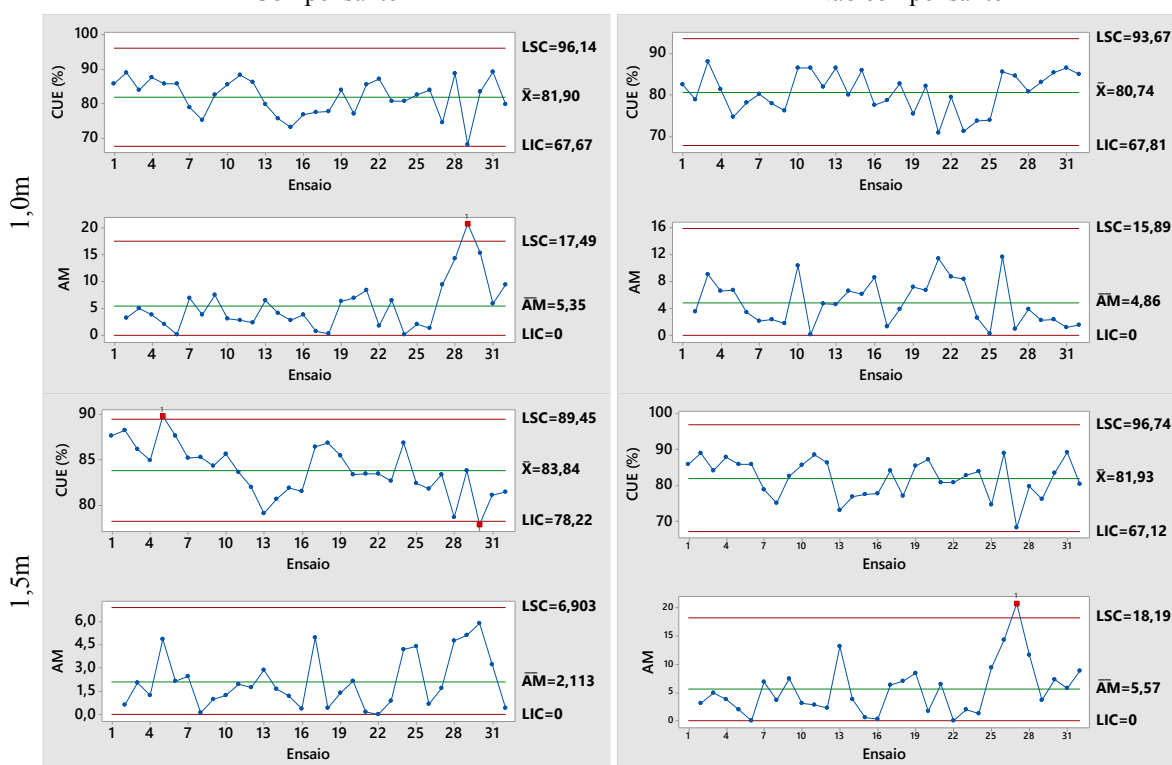


Figura 6. Carta de controle para o CUE da irrigação por aspersão dos 32 ensaios, com aspersores compensantes e não compensantes a 1,0 m e 1,5 m de altura



5.1 Valores dos índices de capacidade o processo C_p e C_{pk}

Com a utilização do Minitab (2012) e os limites bilaterais, foram calculados os valores dos índices de capacidade do processo de C_p e C_{pk} , para as variáveis independentemente de estarem ou não sob controle estatístico. Mantovani, Bernardo e Palaretti (2007) classificam uniformidade média entre 55% e 95% e baixa menor que 55%.

Conforme dados da Tabela 5, verificou-se que os coeficientes CUC, CUD e CUE, para todos os aspersores compensantes e não compensantes, atingem valores eficientes, segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006). Verificou-se, também, que todos eles têm índice de Capacidade do processo (C_p) capaz de atingir o valor nominal da especificação, de acordo com o proposto por Montgomery (2009) e Mantovani, Bernardo e Palaretti (2007), que consideram que, em valores médios em sistemas de irrigação, a uniformidade deve atingir um valor de CUC entre 55% a 95%.

Em todas as variáveis estudadas, segundo Montgomery (2009), tem-se que $C_{pk} < C_p$, o que indica que os processos estão fora do ponto de especificação. A distribuição está centrada, mas há uma variação maior que a faixa dos limites de especificação.

Tabela 5. Valores calculados de índices de capacidade de processo (C_p) e índices de desempenho de processo (C_{pk}), para os 32 ensaios dos aspersores compensantes e não compensantes a 1,0 e 1,5 m de altura

Tipos de Coeficiente		Médias dos Ensaios	Índice C_p	Capacidade do Processo	Índice C_{pk}	Desempenho Processo
CUC	C-1,0 m	86,28%	1,53	Capaz	0,93	Pfpe – Incapaz
	C-1,5 m	87,51%	4,25	Capaz	2,36	Pfpe – Capaz
	NC-1,0 m	84,56%	1,94	Capaz	1,33	Pfpe – Aceitável
	NC-1,5 m	85,50%	2,54	Capaz	1,64	Pfpe – Capaz
CUD	C-1,0 m	78,84%	1,44	Capaz	1,36	Pfpe – Capaz
	C-1,5m	81,66%	2,33	Capaz	1,90	Pfpe – Capaz
	NC-1,0 m	75,36%	1,43	Capaz	1,29	Pfpe – Aceitável
	NC-1,5 m	79,27%	1,40	Capaz	1,32	Pfpe – Aceitável
CUE	C-1,0 m	81,90%	1,58	Capaz	1,27	Pfpe – Aceitável
	C-1,5 m	83,84%	4,00	Capaz	2,88	Pfpe - Capaz
	NC-1,0 m	80,74%	1,74	Capaz	1,49	Pfpe - Capaz
	NC-1,5 m	81,93%	1,52	Capaz	1,22	Pfpe – Aceitável

Notas: C_p : Capacidade do processo; C_{pk} : Desempenho do processo; C: aspersor compensante; NC: aspersor não compensante; CUC: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen; CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição; CUE: Coeficiente Estatístico de Uniformidade; Pfpe: processo fora do ponto de especificação.

6 CONCLUSÕES

O maior Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) médio e a menor variabilidade (estatisticamente diferente das demais condições), durante os 32 ensaios, foram encontrados quando se usou aspersores compensantes a 1,5 m de altura (C-1,5 m), que diferiram estatisticamente das demais condições ensaiadas.

Verificou-se pelas cartas de controle dos 32 ensaios realizados no sistema de irrigação por aspersão, que os processos do Coeficiente de Uniformidade Christiansen (CUC) com o uso de aspersores compensantes e não compensantes a altura de 1,5 m (C-1,5 m e NC-1,5 m); e o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) com aspersores compensantes a 1,0 m e 1,5 m (C-1,0 m e C-1,5 m) e não compensantes a 1,5 m (NC-1,5 m) não estão sob controle estatístico. Para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), as cartas de controle mostram que todos os processos estão sob controle estatístico. Isto é, nos processos que estão sobre controle estatístico não existe efeito de fatores específicos no estudo e as variabilidades dos dados são devidas a fatores meteorológicos.

Como $C_{pk} < C_p$ em todas as variáveis calculadas, os resultados indicam que os processos estão fora do ponto de especificação.

7 REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7749-2**. Equipamentos de irrigação agrícola - Aspersores rotativos. Parte 2: Uniformidade de distribuição e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, jan. 6 p., 2000.

- 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**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 152-158, 2000.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. ver. e ampl. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2006. 625 p.
- BILIBIO, C.; CARVALHO, J. A.; MARTINS, M. A.; REZENDE, F. C.; FREITAS, E. A.; GOMES, L. A. A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010.
- BRENNAN, M. S.; NARASIMHA, M.; HOLTHAM, P. N.; Multiphase modelling of hydrocyclones. Prediction of cut-size. **Minerals Engineering**, Porto, Portugal, v. 20, p. 395-406, 2007.
- CARVALHO, C. M.; ELOI, W. M.; LIMA, S. C. R. V.; PEREIRA, J. M. G. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura de goiaba. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**. Botucatu - SP, v. 11, n. 1, p. 36-46, 2006.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station. Bulletin 670, 1942. 128 p.
- CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHOCKLEY, D. G. **Methods for evaluating irrigation systems**. Washington DC: Soil Conservation Service - USDA, 1956. 24 p. Agricultural Handbook, 82
- DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows**. Tradução Lori Viali. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- DECHMI, F.; PLAYÁN, E.; CAVERO, J.; FACI, J. M.; MARTINEZ-COB, A. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (*Zea mays*). **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 22, n. 2, p. 67-77, 2003.
- DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres, Viçosa**, v. 27, n. 150, p. 155-162, 1980.
- DERMITAS, C.; AYAS, S. Deficit irrigation effects on pepper (*Capsicum annuum* L. Demre) yield in unheated greenhouse condition. **Journal of Food, Agricultural and Environment**. Helsinki, v. 7, n. 3-4, p. 989-1003, 2009.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística**: para engenharia e ciências. Tradução de Joaquim Pinheiro Nunes da Silva. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

FAGANELLO, C. R. F.; FOLEGATTI, M. V.; GONÇALVES, R. A. B.; LUCAS, A. A. T. Uso da água de irrigação do Ribeirão do Marins no município de Piracicaba/SP. **Irriga**, Botucatu - SP, v. 12, n. 4, p. 456-470. 2007.

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**, Campina Grande - PB, v.7, n.3, p. 437-444, 2003.

FRIGO, J. P.; VILAS BOAS, M. A.; FRIGO, E. P.; HERMES, E.; TESSARO, E. Irrigação diurna e noturna em um sistema de aspersão convencional em Palotina - PR. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 318-327, 2013.

FRIZZONE, J. A.; LOURENÇO, P. S.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação**: gotejamento e microaspersão. Maringá: Eduem, 2012. 356 p.

FRIZZONE, J. A.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L. **Irrigação por aspersão**. 1. ed. Maringá: Eduem, 2011. v. 1. 271 p.

HICKEL, E.; CALEGARRIO, F. F.; MELO, G. W. B.; KUHN, G. B.; NACHTIGAL, J. C.; MAIA, J. D. G.; PROTAS, J. F. S.; MELLO, L. M. R.; GARRIDO, L. R.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; BOTTON, M.; SÔNEGO, O. R.; NAVES, R. L.; SORIA, S. J.; FOJARDO, T. V. M.; CAMARGO, U. A. **Uvas sem sementes cultivares BRS morena, BRS clara e BRS linda**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Uva e Vinho, n. 8, 2005. Disponível em: <http://www.cnpqv.embrapa.br/publica/sprod/UvasSemSementes/expediente.htm>. Acesso em: 25 maio 2012.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Classificação climática**. Cartas climáticas. Disponível em: http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas_Climáticas. Acessado em 20 de janeiro de 2012.

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

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

MINITAB. **User'Guide Release 16 for Windows**. State College, Pennsylvania, United States, 2012.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Tradução de Vera Regina Lima de Farias e Flores e Ana Maria Lima de Faria. 4. ed. Rio de Janeiro - RJ: LTC, 2009. 513 p.

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, v. 13, p. 818-824, 2009.

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**, Fortaleza - CE, v. 3, n. 2, p. 48-54, 2009.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 12. Ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467 p.

PLAYAN, 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**, Amsterdam, v. 84, p. 89-100, 2006.

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

ROCHA, E. M. M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. S.; CASTRO, P. T. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 3, n. 2, p.154-160, 1999.

SHIKLOMANOV, I. A. **World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century**. Paris: UNESCO, 1998. 76 p.

SOUZA, E. A; SOUZA, P. C; VILAS BOAS, M. A. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional fixo e gotejamento em vila rural. **Irriga**, Botucatu - SP, v. 13, n. 1, p. 47-63, jan./mar. 2008.

WERKEMA, M. C. C. **Avaliação da qualidade de medidas**. 1. ed. Belo Horizonte - MG: FCO, 1996. 86 p.

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, Ottawa, Canadian, v. 27, n. 11, p. 565-583, 1947.