

## **USO DE FERRAMENTAS DE GRÁFICO DE CONTROLE NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

NAILA CRISTINA KEPP DE GOÉS\*<sup>1</sup>, MARCIO ANTONIO VILAS BOAS<sup>2</sup>, BRUNO BONEMBERGER<sup>3</sup>, THIAGO ZUCOLOTTO<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Naila Cristina Kepp de Goés, UNIOESTE, Cascavel-PR, naickepp@gmail.com

<sup>2</sup>Prof. Doutor, Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel-PR, marciovilasboas@unioeste.br

<sup>3</sup>Doutorando, Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel-PR, brunosilva.b@hotmail.com

<sup>4</sup>Mestrando, Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel-PR, thiagozucolotto@hotmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** A irrigação tem um papel fundamental no desenvolvimento da agricultura, suprimindo as necessidades de água e agregando qualidade e valor à produção. Tantos benefícios podem ser obtidos com alta eficiência de utilização e economia de água. Nesse aspecto a irrigação por gotejamento tem grande papel. O objetivo do trabalho foi avaliar a uniformidade de aplicação de água em um sistema de irrigação por gotejamento, o sistema foi instalado em bancada sendo realizado em laboratório, utilizando de duas metodologias de coleta de vazão. Foram confeccionados gráficos de controle de qualidade, CUSUM, Shewhart, e cálculo do índice de capacidade do processo (ICP) utilizando o software estatístico MINITAB 16. As especificações adotadas para Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, classificaram o sistema como “bom” apresentando média 83,44% para os 16 pontos e 82,22% para os 32 pontos, “regular” apresentando média 74,26% e 71,38%. As duas metodologias de coleta proposta por Keller e Karmeli (1975) e Denículi (1980), apresentaram pontos fora do limite de controle de qualidade, necessitando uma melhor avaliação do sistema. Os pontos discrepantes observados nos gráficos podem ser indícios de entupimento, transporte inadequado sistema acarretando problemas na distribuição de vazão.

**PALAVRAS CHAVE:** Uniformidade, índice de capacidade do processo, irrigação localizada.

### **CONTROL GRAPHIC TOOLS FOR USE IN IRRIGATION DRIP**

**ABSTRACT:** Irrigation has a great role in the development of agriculture, supplying the water needs and adding quality and value to the production. So many benefits can be obtained with high use efficiency and water savings. In this respect the irrigation drip has big role. The use of irrigation, several factors may decrease uniformity of application, especially in the drip causing waste of water, energy, fertilizer, besides providing a non-uniform productivity. The objective was to evaluate the uniformity of water application for a drip irrigation system, the system was installed on the bench being performed in the laboratory using two methodologies flow collection proposed by Keller and Karmeli (1975) and Denículi (1980). quality control charts were made, CUSUM, Shewhart, and calculation of process capability index (PCI) using the statistical software MINITAB 16. The specifications adopted for CUC and CUD, classified the system as "good" with a mean 83, 44% for 16 points and 82.22% for the 32 points, "regular" with an average 74.26% and 71.38%. The two collection methodologies proposed by Keller and Karmeli (1975) and Denículi (1980) presented points out the quality control limit, requiring a better evaluation system. Discrepant points observed in the graphs can be clogging of evidence, inadequate transportation system causing problems in the distribution flow.

**KEYWORDS:** Unifomity, process capability index, localized irrigation.

### **INTRODUÇÃO**

A irrigação localizada vem crescendo em todo o mundo, pois irriga com economia de água e alta eficiência, segundo Bernardo (1995) é caracterizado por aplicar água somente na zona radicular das

culturas, em pequenas intensidades, porém com alta frequência, com isso se tem preocupação com os materiais que estão sendo utilizados e os projetos implantados, muitas vezes sem nenhum acompanhamento técnico, afetando a eficiência e durabilidade do sistema.

Para monitorar a utilização dos materiais, dos projetos, e acompanhar sua durabilidade precisa-se fazer avaliações da distribuição de água pelo sistema. Para Silva e Silva (2005) é fundamental avaliar periodicamente, a fim de minimizar perdas de água, energia e fertilizantes

A avaliação da uniformidade da irrigação por gotejamento é feita a partir da amostragem das vazões em gotejadores ao longo do sistema, esses selecionados por metodologias já conceituadas, como a proposta por Keller e Karmelli (1975) que relaciona em 16 pontos, por Deniculi (1980) com 32 pontos. Para o processamento dos dados coletados nas amostragens, coeficientes estatísticos determinaram a porcentagem de uniformidade do sistema, os mais adotados são o coeficiente de distribuição (CUD), o coeficiente de Christiansen (CUC) e o de variação (CV).

De acordo com Tessaro (2012) o controle estatístico de processo é uma ferramenta utilizada em experimentos científicos, para avaliar a qualidade de um produto e apresentar suas variações negativas para que seja possível gerar informações que melhorem a qualidade do produto.

O gráfico de controle é uma das principais ferramentas utilizadas no controle estatístico da qualidade e o seu principal objetivo é diferenciar a ocorrência de causas especiais que provocam mudanças importantes no processo daquelas provocadas por causas comuns ou aleatórias. Identificadas as causas especiais, torna-se possível a atuação sobre elas, melhorando a qualidade do produto, por meio de variáveis monitoradas. Dessa maneira, melhora-se a qualidade intrínseca, a produtividade, a confiabilidade e o custo do que está sendo produzido Michel et al., (2002).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Núcleo Experimental em Engenharia Agrícola (NEEA) da UNIOESTE/CASCADEL, localizado na BR 467, no Km 17 Cascavel.

O sistema foi desenvolvido em laboratório sendo instalado uma bancada com o objetivo de monitorar a vazão dos gotejadores para a irrigação localizada. O sistema de irrigação instalado é modelo unidade de kit P1 220 m<sup>2</sup>, com vazão nominal de 2,10 bar, tubo gotejadores com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m, cabeçal de controle com registros de abertura primária e secundária e filtro de disco este com 120 mesh, sendo pressurizado pela ação da gravidade, o reservatório era de 100 L com carga nominal de 1,10 m.

Foram instaladas 4 linhas laterais, espaçadas em 0,20 m e com 6,00 m de comprimento, tendo espaçamento de 0,20 x 0,20 m entre gotejadores. Foram realizadas vinte e quatro avaliações. Utilizou-se dois métodos de amostragem com dezesseis pontos apresentada por Keller e Karmeli (1975) e com trinta e dois pontos apresentada por Deniculi (1980).

Antes do início de cada avaliação, o filtro de tela do sistema será devidamente limpo, com o sistema em funcionamento o final das linhas laterais vai ser aberto num intervalo de 5 min, para saída de impurezas e bolhas de ar, após isso, ira ser fechado, para estabilização da pressão. As vazões foram obtidas por processo direto, pela razão entre volume e tempo. Em ambas as metodologias com tempo de coleta estimado em 3 min, foram realizados 24 ensaios. O tempo foi observado com cronômetro digital e o volume medido com provetas graduadas em 100 ml.

Com os dados de vazão foi possível calcular o CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen), e o CUD (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição), de todas as avaliações para as respectivas metodologias. O gráfico Shewhart foi utilizado para monitorar a qualidade do processo de irrigação. O gráfico de soma acumulada (CUSUM) é um aprimoramento do gráfico de controle  $\bar{X}$  de Shewhart e é o mais apropriado para reconhecer o histórico dos dados, característica ausente em gráficos mais simples, e também para reconhecer pequenas alterações nos processos muito antes dos alarmes dos gráficos  $\bar{X}$  Samohyl (2009).

O índice Cpk foi desenvolvido para suprir algumas lacunas deixadas pelo Cp, principalmente com relação ao fato de que o índice Cp mede a capacidade somente em termos da dispersão do processo e não leva em consideração o nível de processo em relação ao deslocamento da média.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para gerar os gráficos de controle e uniformidade, foi realizado uma análise descritiva das vazões nos pontos de coleta determinados pelas metodologias.

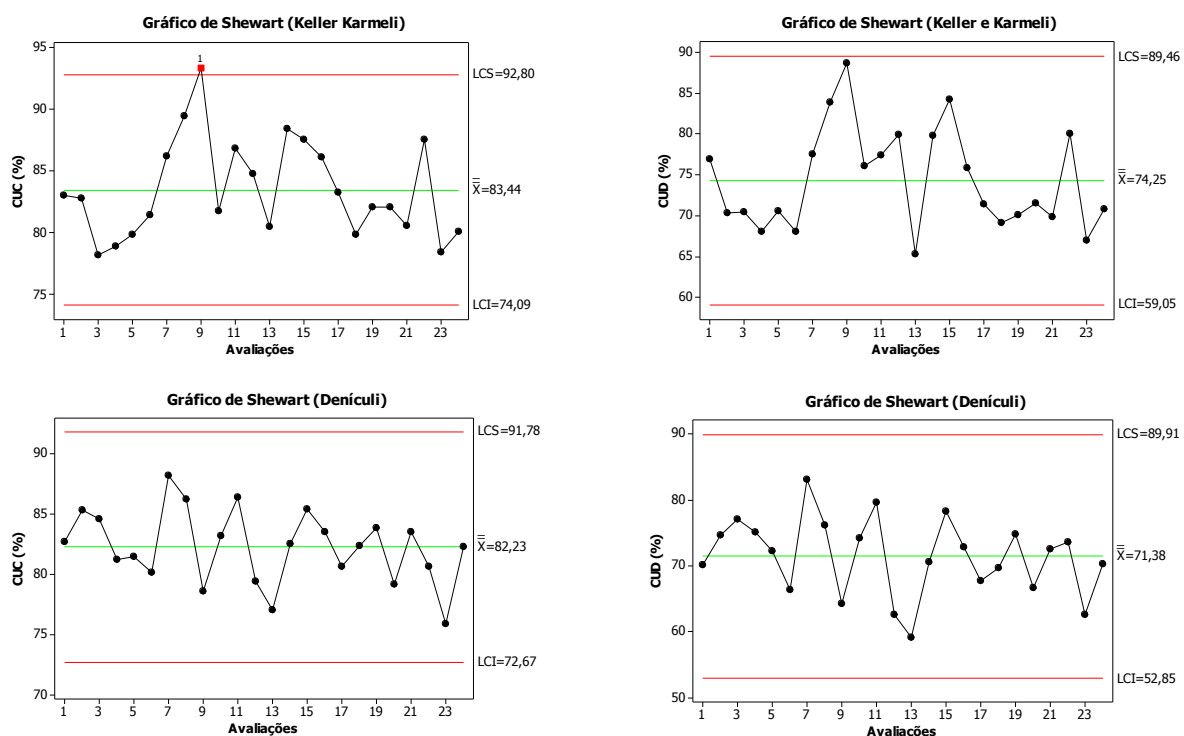
As vazões médias mostraram pouca variação, ficando entre 0,673 L.h<sup>-1</sup> e 0,657 L.h<sup>-1</sup>, o mesmo ocorre nas demais avaliações para as duas metodologias. Sendo os valores maiores para metodologia de Keller e Karmelli (1975), por apresentar menor número de pontos de coleta, a metodologia de Denículi (1980) maior número de pontos de coleta, exibindo uma análise mais rigorosa do sistema.

A vazão média de gotejadores é um bom parâmetro para avaliar alterações quanto ao funcionamento, seja devido a problemas de entupimento, seja a outros problemas Cararo et al., (2006), Melo (2007). Com as vazões são citados os coeficientes de uniformidade de cada avaliação a classificação do CUC segundo Bernardo et al. (2006), foi bom para as duas metodologias, apresentando média 83,44% para Keller e Karmelli e 82,22% para Denículi. Bernardo (1995) cita que o valor aceitável desse coeficiente para sistemas de irrigação localizada é de 80%, demonstrando que o sistema funcionava adequadamente.

Para a classificação do sistema segundo Bralts (1986), foi regular para as duas metodologias apresentando média 74,26 % para Keller e Karmelli e 71,38% para Denículi. Segundo Vieira e Mantovani (2003) tanto para o cálculo de CUD quanto de CUC, em situações onde o sistema de irrigação possui uma manutenção constante, é possível fazer as avaliações de apenas 16 gotejadores. Mas onde o sistema de irrigação está com problemas, como o entupimento dos gotejadores, é necessário que se faça uma amostragem maior, com 32 pontos.

Os gráficos de Controle para as amostras individuais de CUC e o CUD de todas as avaliações com as duas metodologias de coleta, obtidos através do software MINITAB 16.

Figura 1. Gráficos de Shewhart para avaliação de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição para metodologia de Keller e Karmelli (1975) e Denículi (1980).



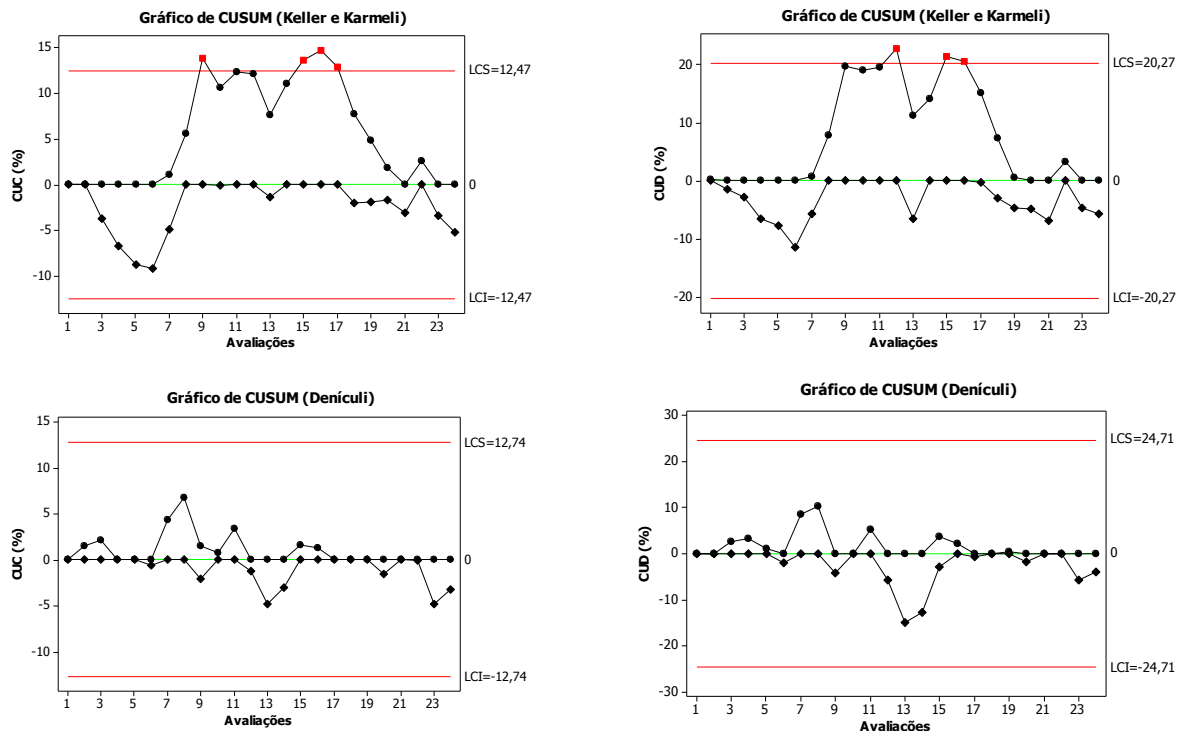
Na metodologia de Keller e Karmelli, o CUC apresentou valor acima do limite superior no ensaio 9, sendo considerado aceitável, já que os valores dos coeficientes são mais elevados, quanto mais próximo de 100 % caracterizado será o sistema. Frigo (2013), estudando um sistema de irrigação por aspersão convencional, utilizou o Gráfico de Shewhart para avaliar o desempenho de CUC.

A metodologia de Denículi, o CUC exibe valores próximos a média apresentando variação maior nas linhas 7, 9, 13 e 23 o mesmo ocorre no CUD.

Os gráficos de controle de soma acumulativa (CUSUM) são alternativas viáveis aos gráficos de controle de Shewhart. Estes gráficos guardam informações acumuladas das amostras de um processo ponderando-as de forma equivalente, fazendo com que as amostras tenham o mesmo peso. Por esse

motivo, esses gráficos se tornam sensíveis para detectar pequenas mudanças na média de um processo LU (2001). Representados os gráficos para a metodologia de avaliação de Keller e Karmeli (1975) e Denículi (1980), para CUC e CUD.

Figura 2. Gráfico de CUSUM para avaliações de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição para metodologia de Keller e Karmeli (1975) e Denículi (1980).



Observa-se que o CUC para (Keller e Karmeli) exibiram uma mudança súbita de valores nos pontos 9, 15, 16 e 17, comparando com o gráfico de Shewhart que apresentou apenas o ponto 9 fora do limite de controle, isso ocorre, pois, a carta de CUSUM apresenta uma análise mais rigorosa dos dados, identifica pequenas e contínuas mudanças do processo, o mesmo ocorre para avaliação de CUD que também apresenta dados fora do limite de controle, sendo eles 12, 15 e 16.

Nota-se valores próximo da linha zero para CUC e CUD na metodologia de (Denículi), apresentando pequena variação de dados, mostrando que o sistema está sob controle porque não ultrapassou o limite de controle. Os gráficos apresentam índice de capacidade de processo determinados para o CUD, valores abaixo de 1,0 para as duas metodologias de avaliação, segundo Ramos e Lopes (2003) a capacidade do processo é inadequada à especificação exigida. Processo considerado vermelho, neste caso, será necessário diminuir a variabilidade do processo.

Os melhores resultados foram alcançados para o CUC para a metodologia (Keller e Karmeli) apresentando 1,44 e (Denículi) 1,69 valores com índice de  $C_p > 1,33$ . Segundo Lopes et al. (2009) a capacidade do processo é adequada à tolerância exigida; se a capacidade do processo é menor que metade da tolerância, não é preciso tomar maiores cuidados com o processo. Pode-se dizer que o processo é excelente ou altamente confiável.

O índice de processo bilateral ( $C_{pk}$ ) é existente apenas para CUC apresentando 1,29 em ambas metodologias, segundo Ramos (2003) para o processo ser considerado capaz, o  $C_{pk}$  deve ser igual ou superior a 1,0. Observando a definição do  $C_{pk}$ , nota-se que este índice quantifica a capacidade em função da pior situação possível dos dados do processo. Isto é, o índice de  $C_{pk}$ , além de avaliar a variabilidade natural do processo em relação à variabilidade permitida, verifica também a posição do processo em relação aos limites (superior e inferior) de especificação. Ou seja, o índice de  $C_{pk}$  relaciona a distância entre a média do processo e o limite de especificação mais próximo.

É possível que a medição em apenas dezesseis pontos seja suficiente para a determinação da uniformidade de aplicação de água pelo sistema, mas quando o sistema apresenta algum tipo de

problema como entupimento dos emissores é necessário a avaliação seja com uma amostragem maior, com 32 pontos Vieira et al. (2004), este último, porém mais demorado e trabalhoso Silva e Silva (2005).

## CONCLUSÃO

Para metodologia com dezesseis pontos de coleta o índice de capacidade de processo foi satisfatório apenas para o coeficiente de uniformidade de Christiansen.

As especificações adotadas para CUC, e CUD, classificaram o sistema como “bom” apresentando média 83,44% para os 16 pontos e 82,22% para os 32 pontos, “regular” apresentando média 74,26% e 71,38%.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Requisitos Mínimos Para Elaboração de Projeto De Sistema De Irrigação Localizada. São Paulo, ABNT, 1986, 8p. PNBR 12:02.08 – 022.
- American Society Of Agricultural Engineers – Asae. Field Evaluation Of Micro Irrigation Systems. St. Joseph, 4 P. 1994.
- Bernardo, S. Manual De Irrigação. 6ª Ed. Rev. E Ampl. Viçosa: Ufv, Imprensa Universitária, 1995, 657
- Bralts, V.F.; Edward, D.M.; Wu, I.P. Drip Irrigation Design And Evaluation Based On Statistical Uniformity Concept. In: Hillel, D. (Ed). Advances In Irrigation. Orlando: Academic Press, 1986. V.4, P.67-117.
- Cararo, D. C.; Botrel, T. A.; Hills, D. J.; Leverenz, H. L. Analysis Of Clogging In Drip Emitters During Wastewater Irrigation. Applied Engineering In Agriculture, St. Joseph, V. 22, N. 2, P. 251-257, 2006.
- Denículi, W.; Bernardo, S.; Thiébaud, J.T.L.; Sedyama, G.C. Uniformidade De Distribuição de água, em condições de Campo num sistema de Irrigação por Gotejamento. Revista Ceres, Viçosa-Mg, V. 27, N. 150, P 155-162, 1980.
- Friço, J. P.; Vilas Boas, M. A.; Friço, E. P.; Hermes, E.; Tessaro, E. Irrigação diurna Ee noturna em um Sistema de Irrigação por Aspersão Convencional Em Palotina – Pr. Irriga Cotucatu/Sp, V. 18, N. 2, P. 318-327, Abr./Jun. 2013.
- Keller, J.; Karmeli, D. Trickle Irrigation Design. S.1: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 P.
- Lu, C. W.; Jr, M. R. R. Cusum Charts For Monitoring An Autocorrelated Process. Journal Of Quality Technology, April, V. 33, N.3,P. 1–22, 2001.
- Mantovani, E. C.; Bernardo, S.; Palaretti, L. F. Irrigação Princípios E Métodos. 2. Ed. Viçosa, Mg: Ufv, P.225-227, 2007.
- Michel, R.; Fogliatto, F. S. Projeto Econômico De Cartas Adaptadas Para Monitoramento De Processos. Revista Gestão e Produção, São Paulo, V. 9, N. 1, P. 17-31, 2002.
- Montgomery, D. C. Introdução Ao Controle Estatístico Da Qualidade. Ltc, Rio De Janeiro 2004.
- Samohyl, R. W. Controle Estatístico Da Qualidade. Rio De Janeiro: Campus, 2009.
- Shewhart, W. Economic Control Of Quality Of Manufactured Product. New York: D. Van Nostrand Company, 1931. 501 P.
- Silva, C. A.; Silva, J. A. Avaliação De Uniformidade Em Sistemas De Irrigação Localizada. Revista Científica Eletrônica De Agronomia. Faef, Dez. 2005, N. 8.
- Teixeira, M. B.; Melo, R. F. De; Coelho, R. D.; Rettore Neto, O.; Ribeiro, P. A. De A. Tratamento Para Desentupimento De Gotejadores Convencionais. Irriga, Botucatu, V. 13, N. 2, P. 235-248, 2008.
- Tessaro, E. Efeito da Carga Hidráulica na Uniformidade da Irrigação e Fertirrigação em Sistema de Gotejamento. Cascavel: Unioeste. 2012. 80p. Dissertação De Mestrado.
- Vieira, G. H. S.; Mantovani, E. C. Estudo Comparativo da avaliação de Sistemas de Irrigação por Gotejamento Com Medição Da Vazão De 16 E 32 Gotejadores. In: Xiv Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2004, Porto Alegre. Anais Xiv Conird. Viçosa : Contexto,2004.