

APLICAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE NA UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM USO DE REDUTOR DE ATRITO

APPLICATION OF CONTROL CHARTS IN THE UNIFORMITY OF DRIP IRRIGATION WITH THE USE OF FRICTION REDUCER

André Luiz Justi¹, Angélica Maria da Rocha²

¹Universidade Federal do Paraná, Professor Curso Engenharia Agrícola, aljusti@ufpr.br, <http://lattes.cnpq.br/6336985419738703>; Engenheira Agrícola,

²Universidade Federal do Paraná – Campus Jandaia do Sul, angelyka.mr@gmail.com.

DOI: <https://doi.org/10.37157/fimca.v12i1.1119>

RESUMO

O sistema de irrigação por gotejamento se destaca devido a sua economia de água, porém este sistema possui algumas desvantagens, sendo uma delas a perda de carga do sistema, que compromete a sua uniformidade, sendo possível reduzi-la adicionando-se a água uma pequena quantidade de redutor de atrito. O objetivo deste trabalho foi avaliar a uniformidade da irrigação através das Cartas de Controle de Qualidade (CQC) de ShewHart, e o efeito do redutor de atrito na uniformidade do sistema. O trabalho foi realizado na área experimental que pertence Universidade Federal do Paraná, Campus Avançado em Jandaia do Sul, localizado na estrada da amizade KM 02, no município de Jandaia do Sul-PR, onde foi montada a bancada na qual foram realizados 50 ensaios para cada condição. Para cada ensaio foi calculado os coeficientes de uniformidade, e construídas as cartas de controle de qualidade. Através da análise das cartas de controle foi investigado o que causava a variação na uniformidade da irrigação, e notar o efeito do redutor de atrito na variação da uniformidade e na sua elevação, sendo notável essa elevação através dos coeficientes de uniformidade CUC, CUD e CUE. Conclui-se que ao se utilizar o redutor atrito houve uma elevação significativa na uniformidade e uma diminuição em sua variação.

Palavras-chave: Uniformidade de irrigação, Sistemas de irrigação, Perda de carga, Gráficos de ShewHart, Poliacrilamida.

ABSTRACT

The drip irrigation system stands out due to its water saving, but this system has some disadvantages, one of them being the system pressure drop, which compromises its uniformity, being possible to reduce there by adding a small amount of water to the water, friction reducer. The objective of this work was to evaluate irrigation uniformity through ShewHart Quality Control Charts (CQC) and the effect of friction reducer on system uniformity. The work was carried out in the experimental area of the Federal University of Paraná, Advanced Campus in Jandaia do Sul, located on the Friendship Road KM 02, in the municipality of Jandaia do Sul-PR, where was set up the bench where 50 tests were performed each condition. For each test, the uniformity coefficients were calculated, and the quality control charts were constructed. Through the analysis of the control charts, it investigated what caused the variation in the irrigation uniformity, and also to note the effect of the friction reducer on the uniformity variation and its elevation CUC, CUD and CUE. It was concluded that when using the friction reducer there was a significant increase in uniformity and a decrease in its variation.

Keywords: Irrigation uniformity, Irrigation systems, Head loss, ShewHart Charts, Polyacrilamide.

INTRODUÇÃO

Dentre os diversos sistemas de irrigação existentes o sistema por gotejamento ganhou destaque devido a economia de água e energia e sua possibilidade de automação e fertirrigação. No entanto existem alguns problemas neste tipo de sistema, como o entupimento dos emissores que compromete a uniformidade da irrigação (SILVA *et al.*, 2012). Outro problema que atinge a vazão dos emissores da linha lateral é a perda de carga total do sistema e o desnível do próprio terreno, ou seja, a perda de carga é um problema que afeta vigorosamente a pressão dos gotejadores e decorrente disso afeta diretamente a vazão quando não são utilizados gotejadores autocompensantes (NETO *et al.*, 2009).

O atrito interno entre tubo e líquido é um dos principais aspectos que afetam um escoamento, que é causado pela rugosidade interna do tubo em que o fluido mantém contato, acarretando perda de carga, ou dissipação da energia de escoamento (JUSTI, 2012). Essa perda de carga pode, no entanto, ser reduzida utilizando agentes/produtos que atuam na redução do atrito da água com a parede do tubo.

Como sistemas de irrigação localizada, em específico os sistemas por gotejamento, que dada sua característica de funcionamento e tecnologia possuem elevada uniformidade, esse trabalho possibilita analisar qual o impacto de reduzir o atrito interno nos coeficientes de uniformidade, visto que a redução de custos pode ser um elemento impulsionador para sua aplicação em larga escala.

Dentro da tecnologia de irrigação, o sistema funciona em ciclos, ou seja, em períodos de irrigação e este é um parâmetro para a aplicação das Cartas de Controle de Qualidade de ShewHart, para verificar e analisar o comportamento temporal (cada ciclo de irrigação), possibilitando assim que sejam detectados pontos (irrigações) que estejam fora de controle.

Com base nisso o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade da irrigação, com e sem o uso de redutor atrito com base nos coeficientes de uniformidade e seu comportamento temporal por meio dos gráficos de Controle de ShewHart.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental que pertence a Universidade Federal do Paraná, Campus Avançado em Jandaia do Sul, localizado na estrada da amizade KM 02, no município de Jandaia do Sul-PR.

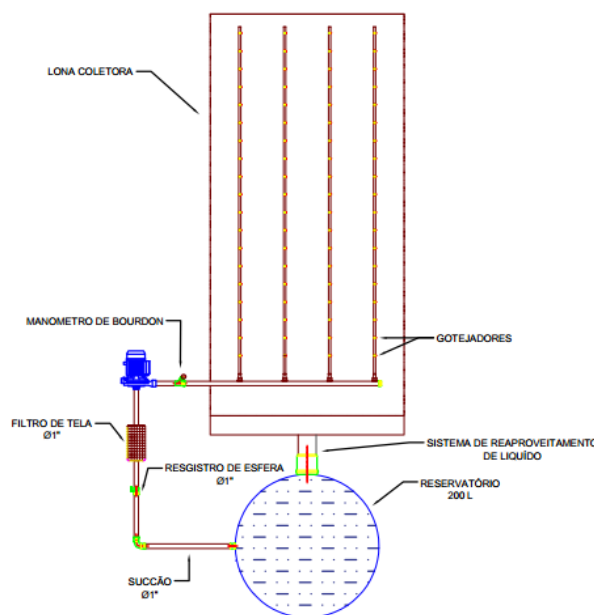


Figura 1. Layout do sistema de irrigação por gotejamento

Foi montada uma bancada experimental, com um sistema de irrigação por gotejamento, em madeira com dimensões 5,00m x 1,08m x 1,55m (comprimento x largura x altura), com uma lona adaptada para recirculação da água em um reservatório com capacidade para 0,2 m³. O sistema de tubulação foi composto por tubulação de PVC de 1 polegada acoplada em uma motobomba periférica da marca Gamma, bivolt com potência de 0,5 HP com uma vazão de máxima 0,0006 m³.h⁻¹, com pressão de saída de 313,6 KPa e altura manométrica de 32 m.c.a. A estrutura contou com tubos gotejadores da marca Petroisa, modelo Manari 16060 vazão nominal de 4,166⁻⁷ m³.h⁻¹, com espaçamento entre gotejadores de 0,1 metros e pressão de serviço de 98 KPa. A estrutura ainda conta um registro de esfera de uma polegada instalado após a saída do reservatório e um manômetro Bourdon sendo mantida a pressão constante de 98 KPa, os itens da estrutura podem e o layout do sistema pode ser observados nas figuras 1,2 e 3.



Figura 2: Bancada experimental e motobomba.



Figura 3. Manômetro e registro de esfera.

O polímero utilizado para o experimento foi a Poliacrilamida, cujo nome comercial é FLONEX 9051 SI, utilizado na concentração de 10 ppm. O material se apresenta na forma de pó claro, com uma cor indo de branco a levemente rosado, com massa específica aparente de 0,80 g.cm⁻³, viscosidade de 500 cP na concentração 5 g.l⁻¹, 200 cP na concentração 2,5 g.l⁻¹ e 80 cP na concentração 1,0 g.l⁻¹, pureza de 90%, permite armazenamento por até 12 meses, a solução apresenta estabilidade de 1 dia depois de preparada.

Para a coleta da vazão do sistema foi utilizado um suporte de PVC, com 4 furos, para o encaixe de recipientes com capacidade para 200 ml. A vazão foi medida utilizando uma proveta graduada.

A coleta de dados seguiu a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975), onde foi coletada a vazão de 16 emissores sendo selecionados 4 gotejadores em cada linha: o primeiro emissor, o segundo que está situado a 1/3 do comprimento da linha, o segundo situado a 2/3 e o último gotejador. A vazão foi coletada após o sistema funcionar por 4 minutos para as duas condições água com e sem redutor de atrito. Foram realizados um total de 50 ensaios para água pura e 50 ensaios para água com redutor de atrito totalizando 1600 amostras.

Após a coleta dos dados, foi realizado o cálculo dos coeficientes de uniformidade de Christiansen, Coeficiente de Uniformidade Distribuição e o Coeficiente de Uniformidade Estatístico, conforme as equações 1, 2 e 3, respectivamente.

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

Em que:
CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;
Xi - volume obtido no coletor i, mm;
 $\bar{X}$ - média obtida nos coletores, mm;
n - número de coletores.

$$CUD = \left(\frac{X_{25}}{\bar{X}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Em que:
CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, mm;
 X_{25} - média dos 25 % menores valores coletados, mm;
 $\bar{X}$ - lâmina média aplicada, mm.

$$CUE = 1,25CUC - 25 \quad (3)$$

Em que:
CUC - Coeficiente de Uniformidade Estatístico, %.

Para critério de classificação dos coeficientes de uniformidade foi utilizado valores especificados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos coeficientes de uniformidade CUC, CUD e CUE.

CLASSIFICAÇÃO	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Excelente	>90	>84	>90
Bom	80-90	68-84	80-90
Razoável	70-80	52-68	70-80
Ruim	60-70	36-52	60-70
Inaceitável	<60	<36	<60

Fonte: Mantovani et al. (2009).

Foram determinados neste trabalho como padrão para os coeficientes 90 %, 85 % e 80 % para o CUC, CUD e CUE respectivamente e, os gráficos de Controle de Qualidade foram desenvolvidos utilizando o software Minitab, versão 16, que já calcula os limites de controle automaticamente, sendo que eles podem ser calculados pelas equações 4, 5 e 6 apresentadas a seguir.

$$LS = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

$$LI = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

$$LM = \mu \quad (6)$$

LS - limite superior, mm;

LI - limite inferior, mm;

LM - limite médio, mm;

μ - média dos ensaios, %;

σ - desvio padrão amostral;

n - número de ensaios.

Com a ajuda do software foi realizado a estatística descritiva dos dados, calculando média, desvio padrão, máximo e mínimo, coeficiente de variação, primeiro e terceiro quartil e mediana. E através do software Spyder foi desenvolvido algoritmo em linguagem Python para realizar a análise de variância (ANOVA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 2. Estatística descritiva dos coeficientes de uniformidade CUC, CUD e CUE sem redutor de atrito.

ANÁLISE	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Padrão para os coeficientes	90,00	85,00	80,00
Média	88,79	81,40	85,98
Desvio padrão	2,01	3,91	2,52
Máximo	93,75	86,50	92,18
Mínimo	83,53	70,71	79,24
Coef. De variação	2,27	4,81	2,93
Primeiro quartil	87,25	78,45	84,06
Terceiro quartil	90,58	84,68	88,23
Mediana	89,12	82,50	86,41

Tabela 3. Estatística descritiva dos coeficientes de uniformidade CUC, CUD e CUE com redutor de atrito

ANÁLISE	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Padrão para os coeficientes	90,00	85,00	80,00
Média	91,40	85,89	89,25
Desvio padrão	0,51	1,44	0,64
Máximo	92,43	88,88	92,18
Mínimo	90,27	82,89	87,78
Coef. De variação	0,56	1,68	0,72
Primeiro quartil	91,10	82,89	88,87
Terceiro quartil	91,77	88,88	89,72
Mediana	91,46	86,06	89,33

Tabela 4. Anova para os coeficientes de uniformidade CUC, CUD e CUE.

Anova para o coeficiente CUC com e sem redutor de atrito

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	170,95261	1	170,95261	78,7657512	3,33481E-14	3,93811108
Dentro dos grupos	212,698483	98	2,17039268			
Total	383,651093	99				

Anova para o coeficiente CUD com e sem redutor de atrito

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	504,243063	1	504,243063	57,9669142	1,67714E-11	3,93811108
Dentro dos grupos	852,483193	98	8,69880809			
Total	1356,72626	99				

Anova para o coeficiente CUE com e sem redutor de atrito

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	267,13797	1	267,13797	78,795013	3,30754E-14	3,93811108
Dentro dos grupos	332,248451	98	3,39029031			
Total	599,38642	99				

A estatística descritiva dos resultados é apresentada conforme Tabela 2. O CUC e CUD apresentaram valores de média abaixo do padrão estabelecido para a comparação, que classifica a uniformidade como excelente, embora ainda sejam valores elevados ainda, para irrigação por gotejamento espera-se valores maiores de uniformidade, Souza *et al.* (2008) ao estudar um sistema de irrigação por gotejamento em uma vila rural a mesma pressão de 98 KPa, com tempo de uso de um ano também, encontrou valores maiores de CUC e CUE isso pode ocorrer devia a problemas que ocorrem durante o experimento que pode resultar em uma menor eficiência da uniformidade. Os coeficientes de variação também se mostraram elevados apresentando valores de 2,27 %, 4,81 % 2,93 % para CUC, CUD e CUE, mostrando o quanto os valores estavam variando em relação à média, o CUD apresentou o maior coeficiente de variação, mostrando que seus valores podem estar vindo de uma distribuição não homogênea, um dos motivos que pode levar essa maior variabilidade dos dados é o fato do CUD considerar os 25% menores valores, assim, os valores de máximo e mínimo apresentaram grande amplitude entre eles, e todos eles se mantendo abaixo do estabelecido pelo padrão para os coeficientes.

Para os dados com redutor de atrito os valores encontram se dispostos na tabela 3. Os valores das médias se mantiveram acima do padrão que foi estabelecido dessa forma, em relação as médias apresentadas à uniformidade para o CUC e CUD se manteve como excelente, e boa para o CUE. Os coeficientes de variação apresentaram valores menores em relação a tabela anterior, sendo obtido 0,56 %, 1,68 % e 0,72 % para o CUC, CUD e CUE respectivamente, da mesma forma que para a outra tabela o CUD apresenta o maior coeficiente de variação, no entanto ainda é um valor baixo, também é possível observar que a diferença entre os valores máximos e mínimos foi muito pouca, e ainda para o CUC e o CUE os valores mínimos se ficaram acima do padrão estabelecido, no estudo realizado por Souza *et al.* (2008) seus valores de coeficiente de uniformidade, estão mais próximos aos valores de coeficiente de uniformidade com redutor de atrito, o que é o mais ideal para o sistema de irrigação por gotejamento.

A análise da variância é observada na tabela 4, onde se encontra a análise dos 3 coeficientes de uniformidade, realizando uma comparação entre os dados para cada coeficiente, com as diferentes condições com e sem redutor de atrito. O alfa utilizado para a análise foi de 5%, e através do valor de P que foi praticamente zero para os três coeficientes, e do F crítico é notável a influência do redutor de atrito nos coeficientes de uniformidade, comprovando que a adição de redutor de atrito na água afeta consideravelmente a uniformidade.

Para o estudo da qualidade da irrigação através do coeficiente de uniforme os dados passaram por uma análise de qualidade, onde foi analisado o comportamento da uniformidade durante os ensaios. Para as cartas sem redutor de atrito CUC e CUE, 2 pontos ficaram fora dos limites de controle o que segundo Montgomery (2017) é uma indicação de que o processo não está sobre controle, sendo assim é necessária uma análise e uma ação corretiva para descobrir e solucionar o problema. A carta de qualidade do coeficiente CUD apresentou os valores dentro dos limites de controle, mas seus dados não se comportam de uma forma aleatória, pois em 25 ensaios da parte final, apenas 2 valores se encontram acima da linha média. Para a verificação dos coeficientes de uniformidade do ponto de vista da irrigação foi utilizado como parâmetro os valores apresentados na tabela 1, sendo 90 % para o CUC, 85% para o CUD e 80% para o CUE. As cartas são apresentadas nas imagens 4, 5 e 6.

É possível notar que os valores de CUD se mostraram menores que os de CUC, como havia sido citado anteriormente, como ele considera os 25 % dos menores valores, é possível perceber

que ele é mais afetado pelos entupimentos. O índice CUE apresentou praticamente todos seus valores, exceto um, acima do padrão estabelecido para o coeficiente, porém o limite para ele ainda foi definido bom, o CUC que é o índice largamente utilizado como referência para uniformidade de irrigação apresentou apenas 16 valores acima do considerado excelente para a uniformidade.

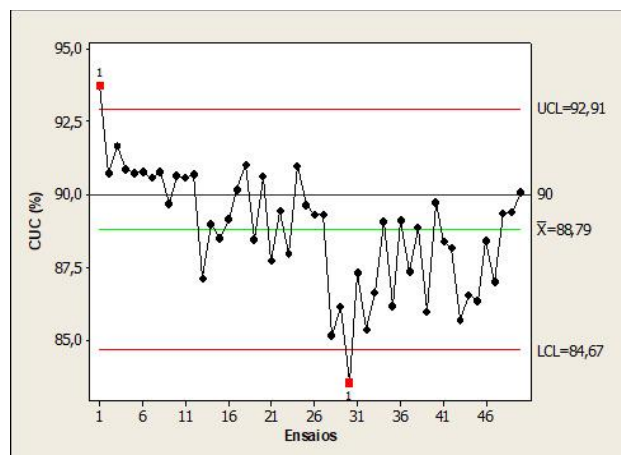


Figura 4. Carta de controle de qualidade para o CUC sem redutor de atrito.

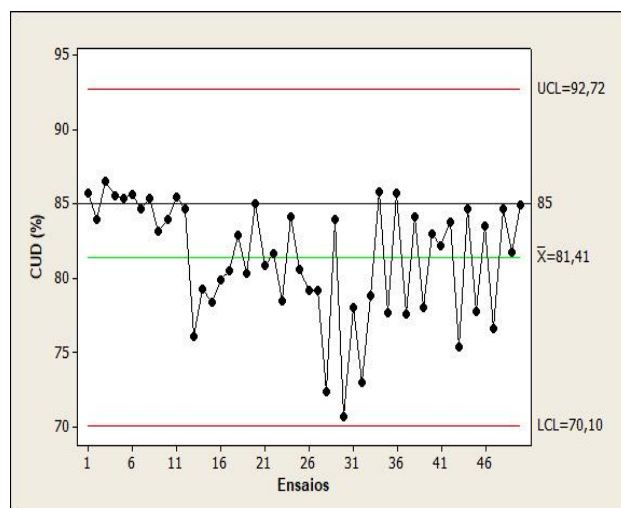


Figura 5. Carta de controle de qualidade para o CUD sem redutor de atrito.

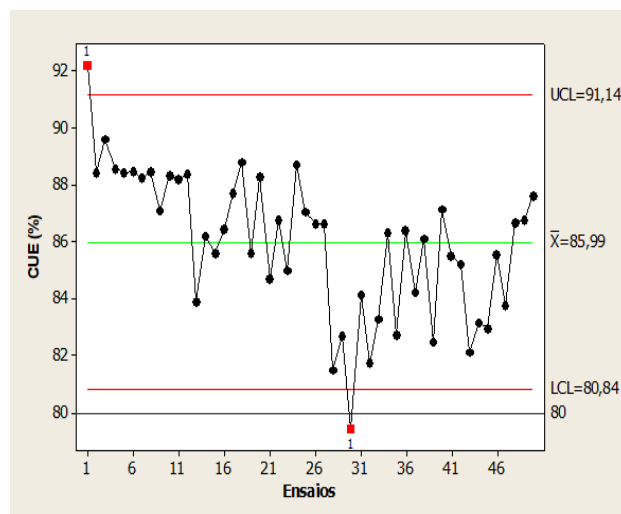


Figura 6. Carta de controle de qualidade para o CUE sem redutor de atrito.

Uma das razões para estes valores de uniformidade, se deve pelo tempo de uso do equipamento, Gonçalves *et al.* (2013) também apresentou valores mais baixos do índice CUC no segundo ano de uso, devido a chance de obstrução dos emissores. Outra possibilidade para a baixa uniformidade foi a obstrução dos emissores, possivelmente causada pelo pó resultante da fabricação de ração para peixe que estava sendo feita no mesmo local onde se encontra a bancada. Após a limpeza do filtro, houve um aumento da uniformidade novamente. O filtro após o entupimento pode ser visto na figura 7.



Figura 7. Filtro após a verificação do entupimento.

A obstrução citada anteriormente e apresentada na figura 9 pode ser percebida na tela do filtro, onde as manchas em tom amarelo são resíduos retidos. Fazendo com que vazão nos emissores seja reduzida, consequentemente afetando a uniformidade do sistema de gotejamento. Os Gráficos de Controle de Qualidade para os coeficientes de uniformidade avaliados com adição do redutor de atrito se apresentam nas figuras 8, 9 e 10.

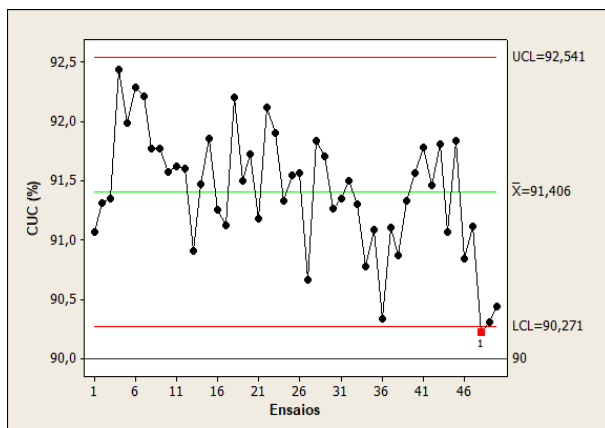


Figura 8. Carta de controle de qualidade para o CUC com redutor de atrito.

As cartas de CUC e CUE apresentaram pontos fora dos limites de controle assim como as cartas anteriores onde não ocorreu a adição de redutor de atrito, quede acordo com Montgomery (2017) é indicação de que o processo não se manteve sob controle e é necessária uma análise do sistema durante os ensaios e corrigi lá. Já a carta do CUD se manteve sob controle durante todo processo.

Em relação aos padrões propostos para a irrigação a carta do CUC e CUE, apresentaram todos os valores acima do que foi estabelecido de 90% e 80% respectivamente, e em nenhum ensaio os valores ficaram abaixo do padrão dos coeficientes indicando uma boa uniformidade do sistema, através da carta do

CUE também é possível perceber como a variabilidade dos dados diminui em relação à carta do CUE sem redutor de atrito.

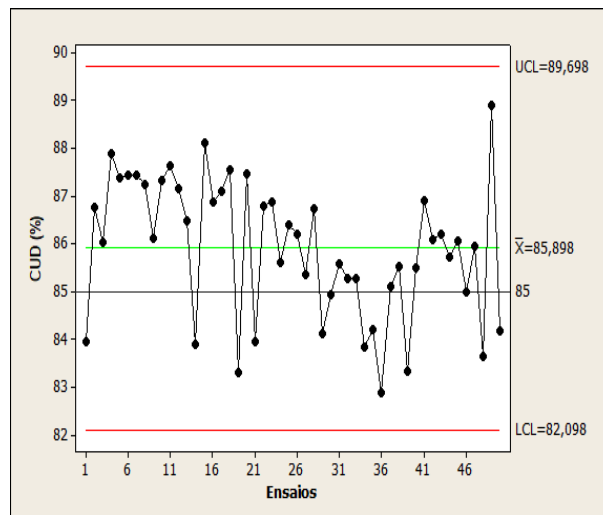


Figura 9. Carta de controle de qualidade para o CUD com redutor de atrito.

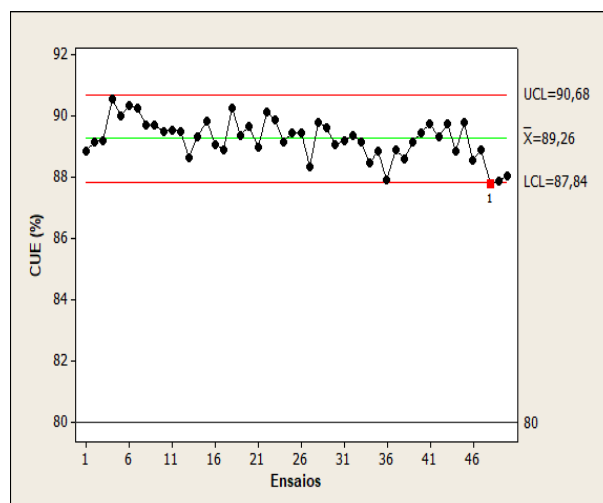


Figura 10. Carta de controle de qualidade para o CUE com redutor de atrito.

Nos dois ensaios foram utilizadas as mesmas condições, sendo adicionado apenas o redutor de atrito dessa forma é possível averiguar a ação do redutor de atrito em elevar a uniformidade do sistema de uma que a sua variação fosse pouca. Justi *et al.* (2012), estudando o efeito do redutor a influência do redutor de atrito na perda de carga em tubos de polietileno encontrou valores menores de perda de carga com água com redutor de atrito em relação a água sem redutor, o que se assemelha as resultados obtidos já que as condições de ensaios são as mesmas para os dois casos, dessa forma é possível observar que a adição do redutor contribui para as mudanças de resultados entre os dois testes fazendo que ocorresse uma diminuição na perda de carga dos tubos. Alguns problemas ocasionaram a redução da uniformidade neste sistema como o entupimento do sistema, dificuldade em manter a pressão constante e variação na rede elétrica. Os resultados encontrados também se alinham ao encontrado por Justi *et al.* (2010) em seu estudo de ferramentas de controle de qualidade e capacidade de processo, em que os autores afirmam que elas são capazes de monitorar processos para que os mesmos possam se manter dentro de padrões aceitáveis, além de identificar pontos/momentos que ocorrem alterações no sistema.

4. CONCLUSÕES

A análise do uso de redutor de atrito em irrigação por gotejamento é de grande importância no incremento da uniformidade de irrigação de pequenos sistemas sendo possível a melhoria do desempenho do sistema sem a sua troca constante, além da diminuição do gasto de água e aumento da produtividade. Assim, após a análise dos dados pode-se concluir que: os gráficos de controle se mostraram ferramentas eficientes na análise da uniformidade da irrigação ao longo de todo ensaio; os dados de uniformidade do sistema na maioria dos pontos não se mantiveram dentro do padrão que foi estabelecido para a comparação; os dados de uniformidade para ensaios com redutor de atrito se mostraram em sua maioria acima do padrão que foi utilizado para comparação, e mostraram pouca variação entre os dados. Em comparação aos dados com e sem redutor de atrito foi observado uma maior uniformidade com o uso e de redutor de atrito e uma menor variação dos dados, comprovando a eficácia do uso do redutor de atrito.

5. Referências Bibliográficas

- GONÇALVES, M. P.; HERMES, E.; BOAS, M. A. V.; BERGER, J. S.; LINS, M. A.; WULF, V. dos S. Uniformidade de aplicação de água e efluente de amidonaria em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Scientia Agraria Paranaensis**, Mar. Cândido Rondon, v.12, p. 391-399, 2013.
- JUSTI, A.L.; ZOCOLER, J. L.; SANTOS, L. C. Influência de poliácridamida na redução de perda de carga em tubulação de polietileno. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 20, n.5, p. 460-466, 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, v30, n2, p.264-270, 2010.
- KELLER, J. KARMEI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, p.133, 1975.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. Irrigação: princípios em métodos. 3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV. 2009. 355p.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**: 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- NETO, O. R.; FRIZZONE, J. A.; Miranda, J. H.; BROTEL, T. A. Perda de carga localizada em emissores não coaxiais integrados a tubos de polietileno. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p 20-39, 2009.
- SILVA, P. S.; SILVA, M. M.; CORREA, M. M.; SOUZA, F. C. D.; SILVA, E. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 480-486, 2012.
- SOUZA, E. A. M.; SOUZA, P. C.; BOAS, M. A. V. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional fixo e gotejamento em vila rural. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p 47-62, 2008.