



Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental

Revista do PPGEA/FURG-RS

ISSN 1517-1256

Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental

Utilização de gráficos de controle estatístico na irrigação

Erivelto Mercante¹

Marcio Antonio Vilas Boas¹

Bruno Bonemberger da Silva²

Márcio Roberto Klein³

Resumo: A utilização de recursos hídricos para produção de alimentos é o maior dentre dos usos consuntivos da água. Com isso, o uso do controle de qualidade aplicado nos sistemas de irrigação permite visualização do processo de forma a diminuir desperdícios de insumos, como fertilizantes no caso da fertirrigação, energia e da água em si. De acordo com o exposto, o objetivo da pesquisa foi aplicar gráficos de controle e índices de capacidade de processo para os parâmetros de vazão dos gotejadores, pH e condutividade afim de se verificar a qualidade do processo de irrigação e fertirrigação. Foram realizadas 3 irrigações e 3 fertirrigações com pressões de entrada no sistema de 150, 200 e 250 kPa. As vazões foram amostradas seguindo a recomendação das metodologias de Keller e Karmeli (1975) e Denículi et al. (1980). O CV ficou fora dos padrões da ABNT para a condutividade na fertirrigação a 150 kPa. Os gráficos de controle permitem a conclusão que todos os parâmetros estão fora do controle estatístico, e os índices C_p e C_{pk} estão com os valores mínimos recomendados apenas para o processo de pH.

Palavras Chave: controle estatístico de processo, índice de capacidade de processo, gotejamento.

Abstract: The food production is the highest consumptive uses for water. Therefore, the use of quality control applied in irrigation systems allows visualization of the process in order to reduce waste fertilizers, energy and water itself. Therefore, the objective of this research was to use control charts and process capability indices for the parameters of the emitter discharge, pH and conductivity in order to check the quality of the process of irrigation and fertigation. Three irrigations and fertigation performed with three inlet pressures in the system 150, 200 and 250 kPa. Flow rates sampled following the recommendation of methodologies Karmeli Keller (1975) and Denículi et al. (1980).

¹Prof. Doutor, docente do Programa de Pós-Graduação PGEAGRI da UNIOESTE, Campus de Cascavel. Cascavel – PR. eriveltomercante@yahoo.com.br;

² Mestrando do Curso de Engenharia Agrícola PGEAGRI -UNIOESTE, Campus de Cascavel. Cascavel-PR. brunosilva_b@hotmail.com

³ Doutorando do Curso de Engenharia Agrícola Instituto Federal Baiano, Campus Senhor do Bonfim. Campina Grande – PB.

The CV is not according to ABNT standards for conductivity in fertigation at 150 kPa. Control charts allow the conclusions that all the parameters are not in statistical control, and indexes C_p and C_{pk} are with the recommended minimum values only for the pH process.

Keywords: statistical process control, process capability indices, drip irrigation.

INTRODUÇÃO

Apesar dos benefícios da irrigação, os impactos ambientais provindos pela atividade podem alterar características do meio na qual foi inserida como no solo, fauna e flora e saúde pública quando a água está poluída. Entretanto, o impacto mais problemático corresponde à alteração da disponibilidade dos recursos hídricos, afetando as múltiplas atividades, chegando ao ponto em algumas bacias ocasionar a falta de água para consumo humano e animal. (BERNARDO, 2008).

Segundo dados do informe da Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2012), a região hidrográfica do Paraná, na qual está inserida a bacia hidrográfica do rio Iguaçu, é a maior consumidora dos recursos hídricos no Brasil e se responsabiliza por 31% da vazão retirada total, com a irrigação contabilizando 44% desta demanda, equivalente a aproximadamente 324 m³/s.

Para Bernardo (2008), a grande problemática da irrigação praticada no país é a baixa eficiência no uso da água. Deste modo, torna-se fundamental a conscientização da sociedade quanto à importância da água e sua utilização de modo racional, pois as reduções em energia e água poderiam chegar a 30% e 20% respectivamente em irrigações eficientes. (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999).

Dentro deste contexto, afim de melhor aproveitamento dos recursos hídricos empregados na irrigação de forma a promover o desenvolvimento sustentável causando o mínimo de impactos possível, a utilização de ferramentas do controle estatístico de qualidade como gráfico de controle e índices de capacidade de processo se configuram uma ferramenta útil no monitoramento dos sistemas de irrigação.

Desta forma, a utilização do gráfico de controle e dos índices de capacidade de processo permitem a visualização da qualidade da irrigação realizada, considerada como boa quando os parâmetros avaliados possuem baixa variabilidade. Uma das características desejáveis em um sistema de irrigação é a alta uniformidade de aplicação, ou seja, condições em que os emissores estão aplicando vazões semelhantes, desta forma a área está sendo irrigada de forma igualitária. Segundo Gil et. al (2008) quando algum dos emissores aplica a

água em excesso pode ocasionar desperdício devido ao escoamento superficial, evaporação, deriva e drenagem profunda, além da possibilidade de contaminação dos mananciais e águas subterrâneas. Por outro lado, o déficit culmina em reduções na produção final da cultura e aumenta riscos de salinização do solo, prejudicial para o crescimento vegetativo e podendo chegar ao ponto de tornar o solo improdutivo.

Embasado nessas informações, o trabalho teve como objetivo aplicar gráficos de controle e índices de capacidade de processo para os parâmetros de vazão dos gotejadores, pH e condutividade afim de se verificar a qualidade do processo de irrigação e fertirrigação.

Gráficos de Controle

Os gráficos de controle permitem a identificação das melhores condições para realização da irrigação com maior qualidade de maneira racional, pela análise da variabilidade dos parâmetros envolvidos. Frigo et al. (2013), analisaram o efeito do vento na distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão e a utilização o gráficos de controle possibilitou a conclusão que o período noturno se obtiveram maior homogeneidade aplicação de água reduzindo desperdícios do recurso.

Índices de capacidade de processo C_p e C_{pk}

O C_p foi o primeiro índice de capacidade do processo desenvolvido pelos japoneses. Projetado para dar uma medida indireta da habilidade do potencial do processo em satisfazer as exigências. Sendo definido como (Equação 1):

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

Onde:

LSE = Limite superior de especificação;

LIE = Limite inferior de especificação;

σ = Desvio padrão do processo.

O LSE e o LIE podem ser determinados estatisticamente, a partir da média e do desvio padrão das amostras, sendo função da variabilidade do processo, de acordo com Equações (2) e (3) abaixo:

$$LSE = \mu + K \sigma \quad (2)$$

$$LIE = \mu - K \sigma \quad (3)$$

Onde:

μ = média;

K = uma constante positiva; usa-se normalmente o valor 3

σ = Desvio padrão do processo.

O índice C_{pk} foi desenvolvido, também no Japão, para suprir algumas das lacunas deixadas pelo C_p , principalmente com relação ao fato de que o índice C_p mede a capacidade somente em termos da dispersão do processo e não leva o nível do processo em consideração, ou seja se o processo não estiver centrado, deve ser utilizado o índice C_{pk} , já que ele leva em consideração o valor da média do processo, apresentado pela Equação 4:

$$C_{pk} = \text{Min} \left| \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right| \quad (4)$$

Onde:

LSE = Limite superior de especificação;

LIE = Limite inferior de especificação;

σ = Desvio padrão do processo.

Para o processo de irrigação, a utilidade do índice de capacidade se mostra na possibilidade deste mostrar o quanto os parâmetros envolvidos atendem aos objetivos de uma irrigação racional, como por exemplo, a variação de vazão do sistema pode ser no máximo de 10% da vazão nominal. Juchen et al. (2013), utilizaram índice de capacidade para avaliar a qualidade do processo de gotejamento de alface e concluíram ser um método de avaliação de qualidade satisfatório para esse fim.

METODOLOGIA

O experimento proposto foi conduzido em uma pequena propriedade rural modelo do projeto de irrigação familiar, desenvolvido pela UNIOESTE, localizada no município de Salto do Lontra – PR, com coordenadas geográficas a longitude de 53°15'32,07" O, latitude 25°49'24,58" S, altitude de 579 metros. O layout da disposição do sistema está representado na Figura 1.

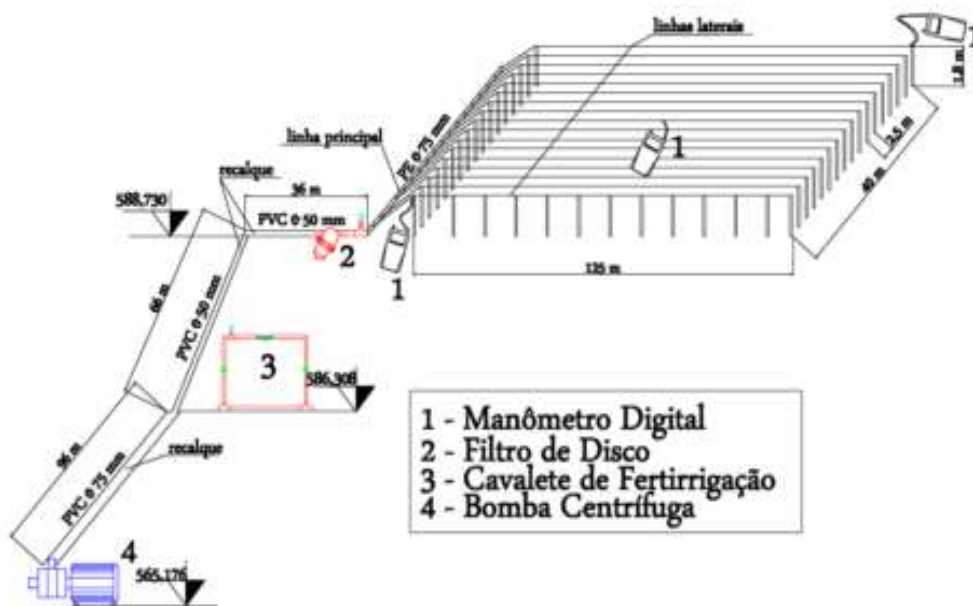


Figura 1: – Layout da disposição atual do sistema de irrigação.
 Fonte: O Autor.

No experimento para a coleta serão utilizados os dois métodos, propostos por Keller e Karmeli (1975) e Denículi et al. (1980), resultando em 40 valores de vazão dos emissores, sendo 10 em cada linha lateral. Conforme ilustrado na Figura 2.

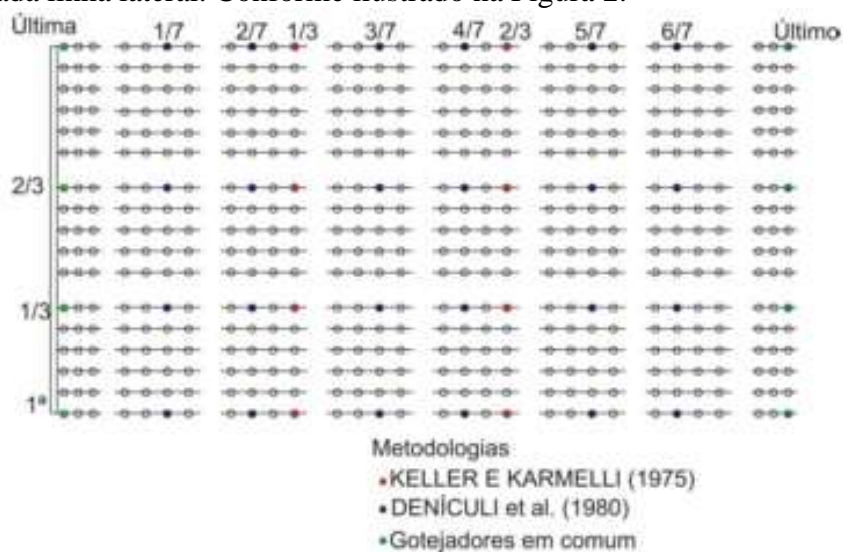


Figura 2: – Combinação dos Métodos de Keller e Karmelli (1975) e Denículi et al. (1980).
 Fonte: O Autor.

As vazões dos emissores foram amostradas em triplicata de acordo com a metodologia proposta por Keller e Karmeli e Denículi, em um intervalo de 4 minutos. Na fertirrigação o fertilizante utilizado foi o monoamônio de fosfato, diluído e aplicado via água de irrigação. Sendo que as avaliações de fertirrigação além das vazões dos emissores também foram analisados os dados de condutividade elétrica com auxílio de um condutivímetro fabricado

pela marca Tecnal, com precisão a 20° C de + 2%, e para dados de pH foi utilizado o pHmetro Phteck. Foram realizadas 3 irrigações nas pressões de entrada no sistema de 250, 200 e 150kPa. Enquanto para a fertirrigação foi realizada com pressões de entrada de 150 e 200 kPa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise descritiva dos ensaios de irrigação e fertirrigação

Na Tabela 1 é apresentado a estatística descritiva da vazão dos gotejadores do sistema para irrigação e fertirrigação nas três pressões avaliadas de 150, 200 e 250 kPa, Q_g (L.h-1), pH e condutividade nas alturas de 150 kPa (pH_{150} , Condutividade₁₅₀) e 200 kPa (pH_{200} , Condutividade₂₀₀).

Tabela 1: Estatística descritiva para os parâmetros de vazão média dos gotejadores no sistema Q_g (L.h-1), pH e condutividade ($\mu S.m^{-1}$) nas alturas de 150 e 200 kPa. Avaliando média, desvio padrão (S), variância (S²), coeficiente de variação (cv), mínimo e máximo.

Parâmetros avaliados	média	S	S ²	cv	Mín	Máx
Q_g (L.h ⁻¹)	1,73	0,08	0,006	0,04	1,54	2,23
pH_{150}	6,40	0,083	0,006949	0,013	6	6,4
pH_{200}	6,20	0,061	0,003686	0,010	6	6,2
Condutividade ₁₅₀ ($\mu S.m^{-1}$)	237,45	17,66	311,741	0,074	211	290
Condutividade ₂₀₀ ($\mu S.m^{-1}$)	894,5	52,77	2785,128	0,059	790	978

Os dados de vazão média dos gotejadores pouco variam no sistema de irrigação independentemente da altura, seja para a fertirrigação como na irrigação apresentando média de 1,73 (L.h-1) com o coeficiente de variação (cv) das vazões amostradas dentro do recomendado pela ABNT (2006) que é no máximo 0,07, o fato do emissor ser autocompensante contribuiu significativamente para a baixa variação dos dados, resultados semelhantes foram obtidos por Silva e Silva (2003) na determinação para o coeficiente de variação de fabricação (cv ou CVf) do microdifusor autocompensante dan jet 7200 sendo que os autores tiveram por conclusão que o coeficiente apresentou bons resultados de acordo com as recomendações brasileiras com as pressões variando dentro da especificação do fabricante.

Para o pH a média para as alturas de 150 e 200 kPa foram de 6,4 e 6,2 respectivamente, com coeficientes de variação de 0,013 na fertirrigação com 150 kPa de

pressão e 0,0011 na de 200 kPa. A condutividade apresentou valores de coeficiente de variação (cv) superiores quando comparados ao pH com 0,074 para 150 kPa e 0,059 para a altura de 200 kPa, apesar do último estar dentro das recomendações o primeiro retrata alta variabilidade dos dados. Os resultados de condutividade apresentaram variabilidade semelhante com os encontrados por Sousa et al. (2003), os quais observaram variação na condutividade de até 65% entre emissores de uma mesma linha e tiveram por conclusão que o cv apresentou valores mais significativos pela variabilidade espacial a temporal.

Gráficos de controle de Shewhart

Para utilizar os gráficos de controle de Shewhart, estes dados devem também ser normalmente distribuídos e estarem sob controle, por conta desta condição foi realizado o teste de normalidade por meio dos testes de Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov, e verificado a interdependência entre os dados por meio do estudo de autorrelação. A Figura 3 apresenta o gráfico de controle para as observações de vazão média dos emissores, em $L.h^{-1}$ para as irrigações de 150, 200 e 250 kPa.

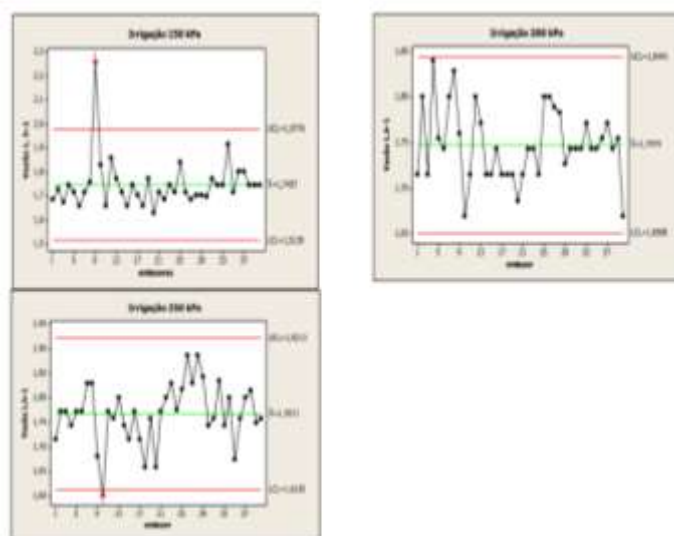


Figura 3: – Gráfico de controle estatístico de medidas individuais para vazão médias dos emissores, em $L.h^{-1}$ para irrigação com pressões de 150, 200 e 250 kPa.

Observa-se pela Figura 3 que todos os dados plotados de vazão para a pressão de 200kPa encontram-se entre os limites do gráfico de controle, para a de 150 kPa o emissor 9 da primeira linha apresentou vazão maior que o Limite Superior de Controle (LSC) = 1,98 $L.h^{-1}$ e na com 250 kPa o gotejador 10 da primeira linha também ultrapassou que o LSC = 1,9213 $L.h^{-1}$ classificando o processo como fora de controle estatístico de acordo com Souza et al. (2005). A maioria das observações na irrigação de 150 kPa e 200 kPa encontram-se abaixo da

média (1,7457 e 1,7474 L.h⁻¹ respectivamente), os pontos 14 a 24 em 200 kPa não ultrapassam a linha da média apresentando baixa variabilidade podendo indicar falta de controle estatístico de acordo com o critério apresentado por Werkema (1995), quando vários pontos consecutivos do gráfico de controle aparecem em apenas um dos lados da linha média indicando uma mudança no nível do processo relacionado a novos operadores, matérias-primas ou equipamentos.

Para a fertirrigações realizadas com pressão 150 e 200 kPa os gráficos de controle são apresentados na Figura 4.

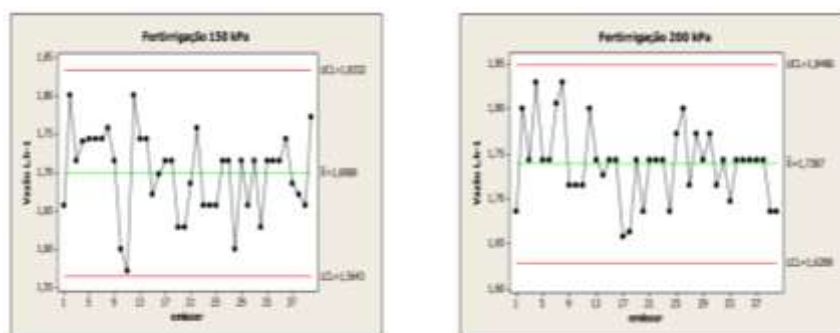


Figura 4: – Gráfico de controle estatístico de medidas individuais para vazão médias dos emissores, em L.h⁻¹ para fertirrigação com pressões de 150 e 200 kPa.

Pela Figura 11, tanto o processo de fertirrigação com pressão 200 kPa quanto 150 kPa contém todas as observações de vazão entre os limites do gráfico. Os gotejadores 2 a 9 da fertirrigação com 150 kPa da primeira linha mostraram configuração com comportamento do tipo sequência em que os dados não variam em torno da média e para com 200 kPa 34 a 38, localizados nos emissores 4 ao 8 da linha 4 apresentaram o mesmo comportamento, e que de acordo Werkema, (1995), caracteriza como fora de controle estatístico.

No que diz respeito aos processos de condutividade e pH os gráficos de controle são apresentados na Figura 5.

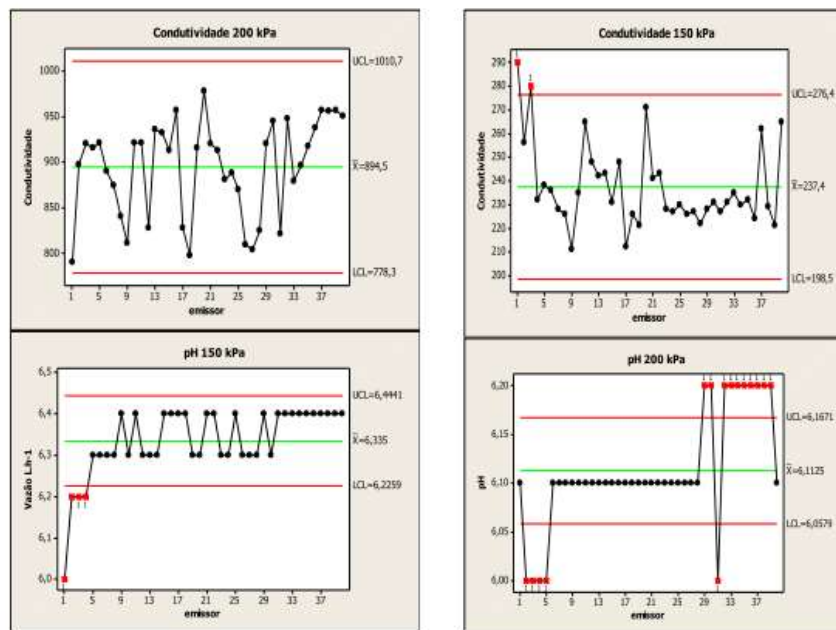


Figura 5: – Gráfico de controle estatístico de medidas individuais para os parâmetros de pH e condutividade com pressões de 150 e 200 kPa.

Os processos, com exceção da condutividade a 200 kPa, estão todos fora de controle pois contém pontos de observações fora dos limites de gráfico. Para pH, em 150 kPa apenas os valores 6,3 e 6,4 estão dentro do controle estatístico e em a 200 kPa os pontos dentro dos limites se restringiram as observações de 6,1 de acordo com a Figura 12. Reis et al. (2011) utilizando cartas para o controle do processo pH da água de reservatório em 40 propriedades, constataram apenas 2 pontos fora dos limites do controle para o parâmetro avaliado. Segundo a Ayers e Westcot (1999), a faixa ideal de pH da água para irrigação é de 6,5 a 8,4. Além dos problemas econômicos pelas incrustações das tubulações com pH irregular, existe a questão ambiental devido determinadas condições de pH na água contribuírem para precipitação de metais pesados, além de influenciar em ecossistemas aquáticos sobre a fisiologia de algumas espécies. (ANTAS e MORAIS, 2011).

Com relação a alterações no solo, o aumento da acidez afeta diretamente diminuindo a densidade de bactérias do solo, estas que junto com fungos e actinomicetos compõe boa parte de população microbiana essenciais para manutenção do funcionamento ecológico do solo, decompondo e transformando nutrientes. (FIERER e JACKSON, 2006)

Índices de capacidade de processo (C_p e C_{pk})

A Tabela 3 contém os resultados dos índices de capacidade de processo C_p , o qual verifica a qualidade do processo em termos de dispersão, e o C_{pk} que considera o nível do

processo, verificando se o possui capilaridade o suficiente para suprir as necessidades estabelecidas para parâmetros de vazão do sistema da irrigação, fertirrigação e condutividade.

Tabela 3 - Índices de capacidade de processo C_p e C_{pk} para os parâmetros de vazão do sistema para irrigação e fertirrigação, pH e condutividade.

Índice	C_p			C_{pk}		
	150	200	250	150	200	250
Irrigação	0,494	0,419	0,436	0,485	0,350	0,356
Fertirrigação	0,477	0,557		0,289	0,520	
pH	2,977	5,746		2,977	5,746	
Condutividade	0,625*	0,790*		0,625	0,790	

***Parâmetro condutividade admite amplitude de 20% e demais parâmetros de dados de vazão e pH admitem amplitude de 10%.**

Observa-se pela tabela que os índices C_p determinados para as vazões na fertirrigação e na irrigação que todos os valores apresentaram menores que 1 e segundo Werkema (1995) a capacidade do processo é inadequada à especificação exigida considerando uma variação de vazão no sistema de 10%, os melhores resultados foram alcançados com a fertirrigação a 200kPa de pressão de entrada, entretanto o resultado indica a necessidade de intervenção no processo afim de que as vazões reduzam sua variabilidade entre si, para então aumentar a qualidade do processo. O parâmetro de condutividade apesar admitir uma variação maior entre os limites, não possui capacidade satisfatória para ambas as alturas avaliadas. Já o pH apresentou índice $C_p > 1,33$ sendo capacidade do processo é adequada à especificação exigida. O C_{pk} apresentou valores maiores que o recomendado apenas para pH, mostrando que todos os outros processos avaliados não são considerados capazes estão com os dados descentrados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os parâmetros avaliados estão fora de controle estatístico de acordo com os dados plotados nos gráficos de controle, e os índices C_p e C_{pk} estão com os valores mínimos recomendados apenas para o processo de pH. Os resultados indicam necessidade de verificação principalmente do processo da distribuição de fertilizantes do sistema de irrigação, a fim de se evitar o excesso de aplicação de insumos, afetando minimamente o ambiente por conta da contaminação proveniente da técnica da fertirrigação

REFERÊNCIAS

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.

ANTAS, F. P. S. e MORAIS, E. R. C. **Monitoramento da qualidade química da água para fins de irrigação no rio Açú-RN**. *Holos*, v. 4, p. 23–28, 2011.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem).

BERNARDO, S. **Impacto Ambiental da irrigação no Brasil**. Viçosa, Brasil. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/imagens/winotec_2008/winotec2008_palestras/Impacto_ambiental_da_irigacao_no_Brasil_Salassier_Bernardo_winotec2008.pdf>. Acesso em: 2 dezembro 2008.

BRASIL. **Agência Nacional de Águas**. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2012

CHRISTOFIDIS, D. **Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil**. Brasília – DF, Fevereiro, 2006.

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-MG, v. 27, n. 150, p 155-162, 1980.

FIERER, N. e JACKSON, R. B. The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 103, n. 3, p. 626–631, doi:10.1073/pnas.0507535103, 2006.

FRIGO, J. P.; VILAS, 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.

GIL, M.; RODRIGUES-SINOBAS, L. JUANA, L.; SANCHEZ, R.; LOSADA, A. **Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water- application uniformity**. *Irrigation Science*. Madrid, v. 26, n. 6, p. 451-458. 2008.

JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L. e VILAS BOAS, M. A. **Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuárias agroindustriais**. *Irriga*, v. 18, n. 1, p. 243–256, 2013.

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

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil: O estado das águas no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy>>. Acesso em: 04 agosto, 2013.

REIS, C. F. dos; VILAS BOAS M. A.; MERCANTE E.; HERMES E.; REISDORFER M. **Avaliação da qualidade da água para irrigação em Salto do Lontra – pr**. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 8, n. 1, p. 069-078, jan./mar. 2011

SOUSA, Valdemício F. de et al . **Distribuição de fertilizantes em um sistema de fertirrigação por gotejamento**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 7, n. 1, Apr. 2003

SOUZA, A. M.; RIGAO, M. H. **Identificação de variáveis fora de controle em processos produtivos multivariados**. *Prod.*, São Paulo, v. 15, n. 1, Apr. 2005 .

WERKEMA, M. C. C. **As Ferramentas da Qualidade Gerenciamento de Processos**. 2. ed. Belo Horizonte:Fundação Christiano Ottoni, 1995, 128 p.