



REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO EM ENSAIOS DE GOTEJADORES¹

H. S. da Rocha², A. P. Camargo³, D. L. Reis⁴, E. Saretta⁵, P. A. A. Marques⁶; J. A. Frizzone⁷

RESUMO: Os ensaios laboratoriais para avaliação técnica ou estudo de material de irrigação envolvem a medição de diversas grandezas, bem como o monitoramento e controle das condições de ensaio. A presente pesquisa teve por objetivo avaliar resultados de ensaios de tubos gotejadores através de estudo de repetitividade e reprodutibilidade do sistema de medição de vazão. Foram elaborados gráficos de controle para média móvel exponencialmente ponderada, obtidos índices de capacidade para o processo de medição da pressão de ensaio e temperatura da água; e o estudo de repetitividade e reprodutibilidade (Gage RR) para medição de vazão, no qual foram utilizadas 10 repetições, sob três turnos de trabalho (manhã, tarde e noite), com 25 emissores. Tanto a pressão quanto a temperatura se mantiveram estáveis, com desempenho “excelente” para o ajuste da pressão via controlador proporcional integrativo-derivativo. A variabilidade entre emissores foi a componente de maior contribuição na variância total das medições de vazão, sendo 96,77% devida à variabilidade entre peças. Classificou-se o sistema de medição como “aceitável” ou “aprovado” mediante o estudo Gage RR; e não foram identificadas causas não aleatórias de variabilidade relevantes na rotina de ensaios.

PALAVRAS-CHAVE: vazão de gotejadores, controle estatístico de processos, análise de sistemas de medição

REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY OF FLOW MEASUREMENT SYSTEM IN DRIPPER TESTS

¹Extraído da tese de doutorado do primeiro autor

²Engº Agrícola, Prof. Adjunto da UFVJM, Campus Unaf – MG, Av. Vereador João Narciso, 1380, Cachoeira, Unaf – MG. CEP 38610-000. E-mail: hermes.rocha@ufvjm.edu.br

³Engº Agrônomo, Especialista em Laboratório – LEMI/ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11 – Piracicaba/SP – CEP 13418-900. E-mail: apcpires@usp.br

⁴Engº de Controle e Automação, Prof. do IFSC, Campus Criciúma – SC. Rodovia SC 443, 845, Vila Rica, Criciúma – SC. CEP 88813-600. E-mail: douglazreiz@gmail.com

⁵Engº Agrônomo, Prof. Adjunto da UFSM, Campus Cachoeira do Sul – RS. Rua Ernesto Barros, 1345, Santo Antônio, Cachoeira do Sul – RS, CEP 96506-322. E-mail: ezequielsaretta@gmail.com

⁶Engª Agrônoma, Profa. Doutora do Depto. Engenharia de Biossistemas/ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11 – Piracicaba/SP – CEP 13418-900. E-mail: paamarques@usp.br

⁷Engº Agrônomo, Prof. Titular do Depto. Engenharia de Biossistemas/ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11 – Piracicaba/SP – CEP 13418-900. E-mail: frizzone@usp.br

ABSTRACT: Laboratory tests for technical evaluation or irrigation material testing involve the measurement of various quantities, as well as monitoring and control of test conditions. This study aimed to evaluate results of dripper tests through study of repeatability and reproducibility of measurement system. Exponentially weighted moving average control charts were developed, and capability index for process of measurement of the test pressure and water temperature; and study of repeatability and reproducibility (Gage RR) of flow measurement system for which were used 10 repetitions in three work shifts (morning, afternoon and evening), with 25 emitters. Both the test pressure as the water temperature remained stable, with performance "excellent" for the pressure adjustment process by integrative-derivative proportional controller. The variability between emitters was the greater contribution component in the total variance of flow, with 96.77% of the total variance due to the variability between parts. The measurement system was classified as "acceptable" or "approved" by the study Gage RR; and have not been identified nonrandom causes of significant variability in routine tests.

KEYWORDS: dripper flow, process statistical control, measurement system analysis

INTRODUÇÃO

Os ensaios laboratoriais para avaliação técnica de material de irrigação envolvem a medição de diversas grandezas, bem como o monitoramento e controle das condições de ensaio. Qualquer sistema de medição apresenta instabilidades devido a causas como interferência do operador, imperfeições em dispositivos mecânicos ou eletrônicos, oscilações na fonte de energia, vibrações mecânicas e ruídos elétricos.

Na determinação da uniformidade de vazão e relação vazão-pressão de gotejadores e tubos gotejadores, definem-se pressões de ensaio para as quais se determina a vazão correspondente. Nota-se que na pressão de ensaio ocorrem flutuações nas indicações dos sensores de pressão e vazão. Sobretudo, a principal preocupação consiste em determinar se tais oscilações são aceitáveis; e ainda, quais são os limites de tolerância dessas variações a fim de assegurar a qualidade dos resultados.

A medida, monitoramento, controle e melhoria da qualidade constituem o conceito de controle estatístico de qualidade, cuja implementação é baseada em abordagens como: planejamento de experimentos, técnicas de controle estatístico de processos (CEP) e análise de sistemas de medição (MSA) (Montgomery, 2016). Portanto, a pesquisa envolve o estudo e

aprimoramento de sistemas de medição das variáveis do escoamento em gotejadores, através de ferramentas de controle estatístico de qualidade.

Sob a hipótese de que é possível contribuir para o aprimoramento da qualidade dos resultados de ensaios, e propor metodologias que auxiliem na avaliação e aprovação dos sistemas de controle e medição, desenvolveu-se a presente pesquisa com o objetivo de utilizar técnicas e ferramentas de controle estatístico de qualidade para avaliar o grau de adequação da estrutura de ensaio. Especificamente, buscou-se diagnosticar a contribuição dos fatores inerentes ao sistema de medição na variabilidade total das medidas de vazão, através da realização de estudo de repetitividade e reprodutibilidade do sistema de medição de vazão adotado em bancada de ensaio de gotejadores e tubos gotejadores.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Ensaio de Material de Irrigação (LEMI/INCT-EI/ESALQ/USP), em Piracicaba-SP. Algumas das chamadas “sete ferramentas” da qualidade, apresentadas e detalhadamente descritas por Montgomery (2016), foram implementadas e/ou aplicadas a uma bancada de ensaios de gotejadores e tubos gotejadores (Figura 1), na qual são executados ensaios segundo a NBR ISO 9261 (ABNT, 2006).

A medição de vazão na bancada é baseada no princípio de variações de nível em tubos coletores e emprega transdutor de pressão para medição da carga hidráulica, o qual opera na faixa de 0 a 100 mbar, com incerteza expandida de 0,02% em relação ao fundo de escala e resolução de 0,01 mbar. Adicionalmente, a bancada de ensaios possui um transmissor de pressão para monitoramento da pressão de ensaio e transdutor de temperatura para monitoramento da temperatura da água.

Na bancada foram instalados 25 emissores Naan TIF 25 16 mm, modelo fabricado pela NaanDanJain®, cuja relação vazão-pressão ($q = kH^x$), com q em $L h^{-1}$ e H em $kgf cm^{-2}$, apresentava coeficiente $k = 2,3235$ e expoente $x = 0,5064$, com amostras retiradas de forma aleatória de lote pertencente ao estoque de material do LEMI.

A pesquisa foi conduzida sob rotina de ensaios instaurados em três turnos de trabalho (manhã, tarde e noite), ajustando-se a pressão e monitorando as demais características da qualidade (temperatura da água e vazão dos emissores). Essa distribuição dos ensaios em três turnos de ensaio permitiu a elaboração do estudo de repetitividade e reprodutibilidade do sistema de medição da vazão dos tubos gotejadores, além da comparação do ajuste da pressão de ensaio em cada turno de trabalho a partir de gráficos de controle para média móvel

exponencialmente ponderada (MMEP). Os gráficos MMEP, elaborados conforme metodologia descrita por Montgomery (2016), foram utilizados para confrontar resultados dos três turnos de ensaio, sob a pressão de ensaio de $1,5 \text{ kgf cm}^{-2}$, com 10 repetições por turno.

Os dados foram utilizados para análise de estabilidade, capacidade e desempenho do processo de controle e medição da pressão de ensaio e para o monitoramento da temperatura da água. Com isto, checkou-se a hipótese de que um controlador proporcional integrativo-derivativo (PID) utilizado para o ajuste da pressão fosse capaz de manter estável o processo de medição, independentemente do horário de realização do ensaio.

Os índices de capacidade e desempenho do processo foram obtidos a partir de 3.620 medidas da pressão de ensaio por turno, com total de 10.860 valores da indicação de pressão no conjunto geral de dados, perante as 10 repetições nos três turnos de realização dos ensaios (manhã, tarde e noite), considerando 362 indicações de pressão obtidas por repetição. Para tal, limites de especificação de $\pm 2\%$ e $\pm 1\%$ para variação máxima permitida em torno do valor de referência (alvo do processo) foram estabelecidos, baseados em requisitos para incerteza dos medidores de pressão, definidos pela NBR ISO 9261 (ABNT, 2006).

O estudo completo de repetitividade e reprodutibilidade (Gage RR) permite a distinção entre causas especiais de variação inerentes ao processo de controle e medição e causas associadas à variação de fabricação dos emissores propriamente dita, uma vez que quantifica as contribuições de cada fonte de variação na variância total da medida obtida. Tal ferramenta foi utilizada para avaliar o impacto do sistema de medição nas determinações de vazão para obtenção do coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação (CVFq), em ensaios de uniformidade de vazão de gotejadores. Assim, mediu-se a vazão de cada um dos 25 gotejadores, com 10 repetições em cada turno de trabalho, totalizando 750 observações.

O experimento foi planejado visando atender ao modelo da ANOVA para repetitividade e reprodutibilidade (Eq. 1), com $a = 3$, $b = 25$, $n = 10$ e μ a média geral dos dados, sendo estabelecido o turno de realização dos ensaios como variante do estudo. Tal fato se justifica pela ausência de influência do operador na medida resultante, uma vez que se tratava de sistema de controle da pressão de ensaio totalmente automatizado pela atuação do controlador PID e também do monitoramento automático das demais características da qualidade (temperatura da água e vazão), com sistema de aquisição de dados. Nesse sentido, a condição de medição que supostamente poderia causar interferências nas medidas foi a alteração de turno de trabalho.

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \begin{cases} i = 1, 2, 3, \dots, a \\ j = 1, 2, 3, \dots, b \\ k = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

Os parâmetros τ_i , β_j , $(\tau\beta)_{ij}$ e ε_{ijk} representam os efeitos do nível "i" do fator condição de medição (normalmente operador; ou turno de trabalho a exemplo da presente pesquisa); do nível "j" do fator peça (ou emissores no presente estudo); os possíveis efeitos de interação entre emissor e condição de medição (nível "ij"); e o erro aleatório, respectivamente. A variância total das observações $V(y_{ijk})$ é obtida pela soma das componentes parciais da variabilidade (Eq. 2), sendo o objetivo dessa ANOVA testar a hipótese de igualdade das médias ou dos efeitos dos fatores (componentes da variabilidade) e da interação serem iguais a zero (Pedott & Fogliatto, 2013).

$$V(y_{ijk}) = \sigma^2_{\text{Total}} = \sigma^2_{\beta} + \sigma^2_{\tau} + \sigma^2_{\tau\beta} + \sigma^2 \quad (2)$$

Em que:

σ^2_{β} – variabilidade do emissor;

$\sigma^2_{\tau} + \sigma^2_{\tau\beta}$ – variação relativa à reprodutibilidade ($\sigma^2_{\text{reprodutibilidade}}$), decorrente da variação associada ao fator condição de medição (σ^2_{τ}) e dos possíveis efeitos de interação ($\sigma^2_{\tau\beta}$); e,

σ^2 – componente de variação relativa à repetitividade ($\sigma^2_{\text{repetitividade}}$).

Normalmente espera-se que o sistema de medição apresente interferência mínima e que a maior parte das contribuições na variância total seja atribuída aos efeitos da variação entre peças (Pedott & Fogliatto, 2013; Pereira et al., 2016; Zanobini et al., 2016), sendo que é possível determinar o desvio padrão associado aos efeitos de repetitividade e reprodutibilidade

($\sigma_{\text{Gage RR}} = \sqrt{\sigma^2_{\text{repet.}} + \sigma^2_{\text{reprod.}} + \sigma^2_{\text{interação}}}$) e sua porcentagem de contribuição em relação à variabilidade total ($\% \sigma_{\text{RR}} = 100 \frac{\sigma_{\text{Gage RR}}}{\sigma_{\text{total}}}$).

O número de categorias distintas ($\text{NDC} = \sqrt{2} \frac{\sigma_{\text{Peça (Emissor)}}}{\sigma_{\text{Gage RR}}}$) permite identificar a habilidade de um sistema de medição em detectar uma diferença na característica medida (García & Rio, 2013), ou seja, basicamente quantifica indiretamente a resolução do sistema de medição. Critérios de aceitação baseados em $\% \sigma_{\text{Gage RR}}$ e NDC, definidos em AIAG (2010), tem sido bastante utilizados e relatados por diversos pesquisadores para definir se o sistema de medição pode ser aprovado ou não (Al-Refai & Bata, 2010; Pedott & Fogliatto, 2013; Peruchi et al., 2014; Pereira et al., 2016; Zanobini et al., 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Oscilações diárias da temperatura ambiente implicaram em variações na temperatura média da água durante os ensaios (Figura 2a), lembrando que a temperatura da água deve permanecer entre 20 e 26 °C (ABNT, 2006), limites estes que foram adequadamente atendidos. Entretanto, mais importante que analisar as oscilações de temperatura da água entre ensaios, é sua estabilidade durante um único ensaio (Figura 2b), pois nesta escala de observação não devem ocorrer variações na temperatura ao ponto de afetar significativamente as medições da vazão dos gotejadores. Nesse sentido, não foram identificados pontos além dos limites $\pm 3\sigma$ no gráfico de controle MMEP durante um ensaio (exemplo da repetição 05, no turno da manhã).

Dois pontos praticamente coincidentes com o LSC = 3σ no gráfico de controle MMEP foram identificados na quarta e quinta repetição, respectivamente, para ensaios realizados pela manhã (Figura 2c). Porém, assumiu-se que tal constatação não deve ser considerada como sinal de instabilidade ou ausência de controle do processo de medição da pressão de ensaio, devido à faixa de controle (LIC – LSC) ser bastante restrita, ou seja, a faixa de variação do processo permaneceu dentro de limites de variabilidade adequados.

Todos os dados permaneceram entre os limites inferior e superior de especificação (LIE e LSE), tanto para $\pm 2\%$ (LIE = 1,47 kgf cm⁻² e LSE = 1,53 kgf cm⁻²) (Figura 3a), quanto para $\pm 1\%$ (LIE = 1,485 kgf cm⁻² e LSE = 1,515 kgf cm⁻²) de variação máxima permitida em torno do alvo (Figura 3b), não sendo esperado também nenhum valor fora da faixa de especificação ($\% < \text{LIE} = 0$ e $\% > \text{LSE} = 0$). Considerando tolerância de $\pm 1\%$ (Figura 3b), obteve-se os valores de 2,61; 2,56 e 2,52 para os índices C_p , P_p e C_{pm} , respectivamente. Os índices C_p (C_p , C_{pl} , C_{pu} , e C_{pk}) representam o nível potencial ao qual o processo poderia chegar se todas as causas especiais fossem eliminadas, sendo calculados utilizando a variação dentro de subgrupos (σ_{dentro}); já os índices P_p (P_p , P_{pl} , P_{pu} , e P_{pk}) são indicadores da capacidade real do processo, ou seja, refletem o real desempenho do processo em relação aos limites de especificação, e são calculados a partir do desvio padrão global (σ_{global}); o índice C_{pm} indica o nível de centralização em relação à média do processo e ao alvo desejado (Montgomery, 2016).

A centralização do processo de controle e medição da pressão de ensaio em relação aos limites de especificação ficou evidente devido aos valores dos índices C_{pk} e C_{pm} serem quase idênticos aos índices C_p e P_p (Pan & Li, 2014). Além disso, classificou-se o processo de ajuste da pressão e sua medição como “excelente” (Tsai & Chen, 2006; Kaya & Kahraman, 2010; 2011), e concluiu-se que, assumindo a faixa de especificação estabelecida, que se refere ao limite para incerteza dos medidores de pressão, provinda da norma para ensaios de gotejadores e tubos gotejadores (ABNT, 2006), o processo de medição atende aos requisitos normativos.

Na ausência de efeitos de interação entre peças e turnos, foi desconsiderada tal componente no estudo de repetitividade e reprodutibilidade para medição de vazão, conforme recomendado por Pedott & Fogliatto (2013). Nesse estudo, os efeitos de variação da vazão entre emissores predominaram, e os de turnos foram irrelevantes ($p - \text{valor} = 0,102$), considerando o nível $\alpha = 0,05$ para significância dos efeitos. Assim, tem-se o desdobramento da ANOVA e quantificação da contribuição de cada componente na variabilidade total apresentados na Tabela 1, com os intervalos de confiança, considerando 95% de probabilidade para os respectivos valores obtidos; e o desvio padrão associado a cada fonte de variação. Apenas 3,23% da variância total de vazão foi devida a efeitos associados às incertezas de repetitividade e reprodutibilidade (Gage RR), ou seja, a erros de mensuração inerentes ao sistema de medição. Assim, 96,77% da variância total de vazão é devida à variabilidade entre emissores, o que permite afirmar que o sistema de medição de vazão utilizado opera adequadamente e exerce pouca influência nos resultados de CVFq dos emissores.

Nesse estudo de repetitividade e reprodutibilidade do sistema de medição, o desvio padrão total foi de 0,0858, sendo 17,96% pertinente ao Gage RR e 98,37% associado aos emissores. Em termos de desvio padrão, a soma das porcentagens de contribuição do sistema de medição (Gage RR) e das peças não resulta 100%, como ocorre para a variância. Isso decorre da formulação proposta no modelo da ANOVA, com o desvio padrão total associado às medidas y_{ijk} expresso como a raiz quadrada da soma das componentes parciais de variabilidade, ou seja,

$$\sigma_{\text{total}} = \sqrt{V(y_{ijk})} = \sqrt{\sigma^2_{\tau} + \sigma^2_{\beta} + \sigma^2_{\tau\beta} + \sigma^2} \text{ (White \& Borror, 2011; Montgomery, 2016).}$$

Normalmente, para $2,0 \leq \text{NDC} \leq 5,0$ e $10,0\% \leq \% \sigma_{\text{RR}} \leq 30,0\%$ o sistema de medição já pode ser considerado “aceitável”; sendo que quanto maior NDC e menor $\% \sigma_{\text{RR}}$, melhor é o grau de adequação e confiabilidade do sistema (AIAG, 2010). O sistema de medição utilizado na bancada foi capaz de identificar sete categorias ou classes de gotejadores com vazões distintas, conforme representa o índice $\text{NDC} = 7$, sendo que valores de NDC acima de 5,0 são considerados “adequados” (Pedott & Fogliatto, 2013).

As determinações do coeficiente de variação dos tubos gotejadores apontaram CVFq variando de 2,9 a 3,1%, com média geral de 3,0%. Logo, pode-se afirmar que os sistemas de controle e medição foram capazes de mensurar as variáveis necessárias para obter o CVFq de forma adequada, independentemente do momento em que os ensaios sejam realizados.

CONCLUSÕES

O ajuste de pressão via controlador PID permitiu manter estável essa variável, independentemente do turno de realização dos ensaios.

O processo de controle e medição da pressão foi classificado como “excelente”, considerando a faixa de variação máxima de $\pm 2\%$ em relação ao alvo desejado, mantendo ainda o nível de excelência ao se restringir os limites de especificação a $\pm 1\%$.

Não existe influência do turno de realização dos ensaios na qualidade das medições de vazão dos gotejadores.

A repetitividade e reprodutibilidade do sistema de medição de vazão foi “aceitável” para a bancada de ensaio e o efeito de variabilidade entre emissores correspondeu a 96,77% da variância total das medições de vazão.

Não foram detectadas causas relevantes de variabilidade na rotina de ensaios praticada no âmbito do Laboratório de Ensaio de Material de Irrigação (LEMI/INCT-EI/ESALQ/USP).

AGRADECIMENTOS

Ao MCT, CNPq e FAPESP pelo apoio financeiro à realização desta pesquisa, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCT-EI).

À FAPEMIG, pelo subsídio e viabilização da publicação dos resultados da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 9261: Equipamentos de irrigação agrícolas – Emissores e tubos emissores – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 17p.

AIAG – Automotive Industries Action Group. Measurement system analysis – reference manual, 4ed. Southfield, MI, EUA, Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, Essex, 2010. 232p

Al-Refaie, A.; Bata, N. Evaluating measurement and process capabilities by GR&R with four quality measures. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, v.43, p.842–851. 2010.

García, A.; Ríó, A. Number of distinct data categories and gage repeatability and reproducibility. A double (but single) requirement. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, v.46, p.2514–2518, 2013.

Kaya, İ.; Kahraman, C. Fuzzy process capability analyses with fuzzy normal distribution. *Expert Systems with Applications*, v.37, p.5390–5403, 2010.

Kaya, İ.; Kahraman, C. Fuzzy process capability indices with asymmetric tolerances. *Expert Systems with Applications*, v.38, p.14882–14890, 2011.

Montgomery, D. C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 528p.

Pan, J. N.; Li, C.I. New capability indices for measuring the performance of a multidimensional machining process. *Expert Systems with Applications*, v.41, p.2409–2414, 2014.

Pedott, A. H., Fogliatto, F. S. Estudo de repetitividade e reprodutibilidade para dados funcionais. *Produção*, v.23, p.548-560, 2013.

Pereira, R. B. D.; Peruchi, R. S.; de Paiva, A. P.; da Costa, S. C.; Ferreira, J. R. Combining Scott-Knott and GR&R methods to identify special causes of variation. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, v.82, p.135–144, 2016.

Peruchi, R. S.; Paiva, A. P.; Balestrassi, P. P.; Ferreira, J. R.; Sawhney, R. Weighted approach for multivariate analysis of variance in measurement system analysis. *Precision Engineering*, v.38, p.651–658, 2014.

Tsai, C. C.; Chen, C. C. Making decision to evaluate process capability index C_p with fuzzy numbers. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v.30, p.334–339, 2006.

White, T. K.; Borrór, C. M. Two-dimensional guidelines for measurement system indices. *Quality and Reliability Engineering International*, v.27, p.479–487. 2011.

Zanobini, A.; Sereni, B.; Catelani, M.; Ciani, L. Repeatability and Reproducibility techniques for the analysis of measurement systems. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, v.86, p.125–132, 2016.

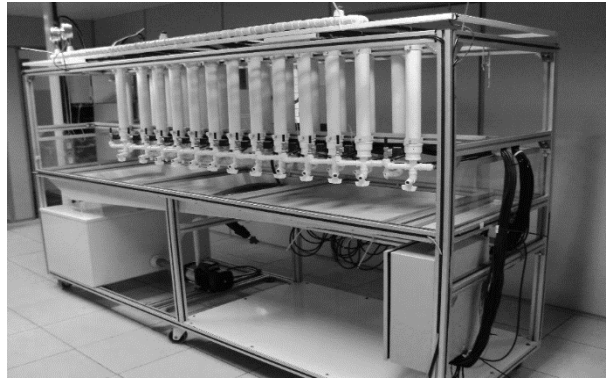


Figura 1. Bancada de ensaios para determinação da curva vazão-pressão e uniformidade de vazão de gotejadores

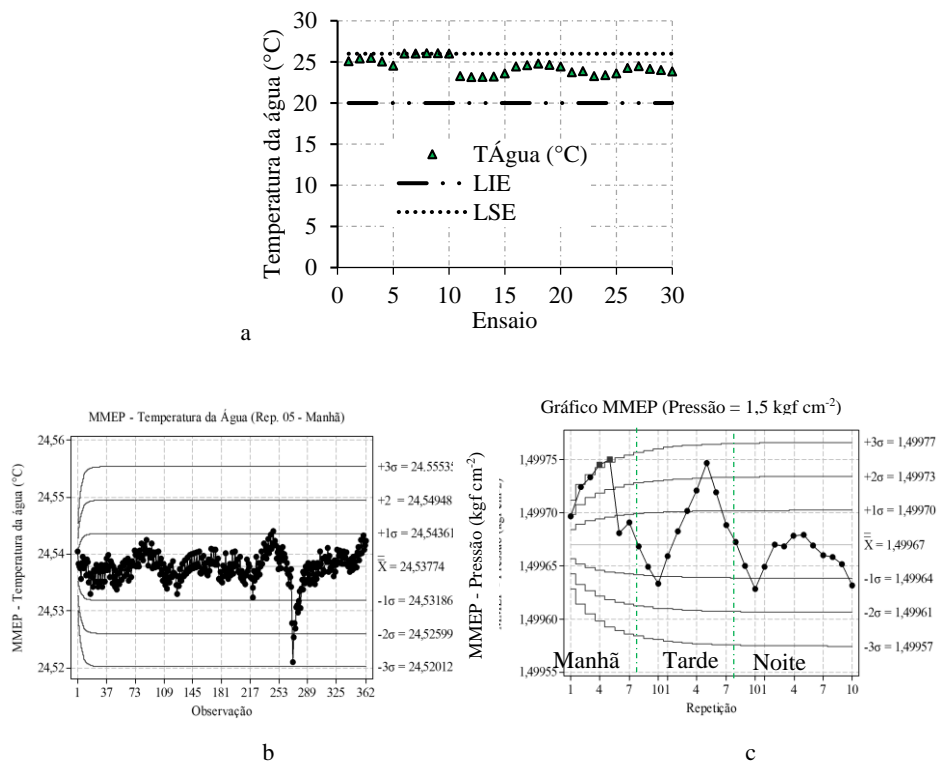
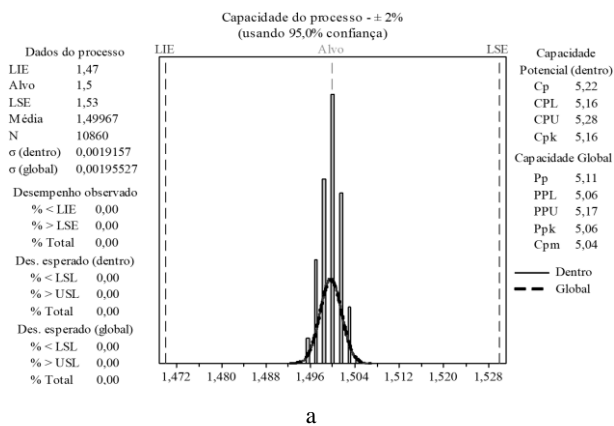
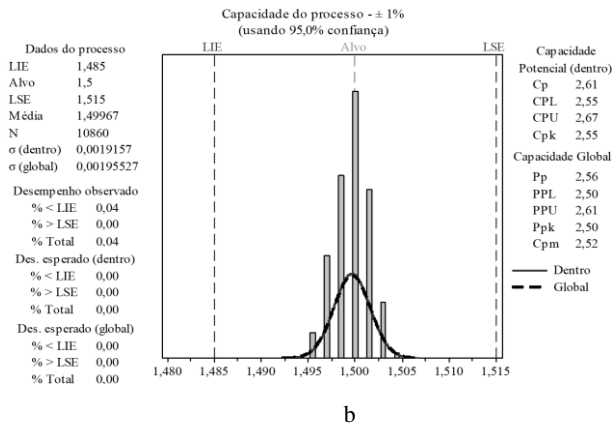


Figura 2. Temperatura média da água ao longo dos ensaios (a), gráfico de controle MMEP para todas as observações de temperatura da água feitas durante único ensaio (b) e para pressão média em cada ensaio, sob diferentes turnos (c)



a



b

Figura 3. Análise de capacidade para processo de controle e medição da pressão de ensaio: faixa de especificação de ±2% (a) e ±1% (b), em relação ao valor de referência

Tabela 1. Discriminação da variância, desvio padrão e porcentagens de contribuição de cada componente de variação na variabilidade total das medições de vazão na bancada de ensaios de gotejadores e tubos gotejadores

Fonte de variação	σ^2	Contribuição de σ^2_{total} (%)	σ	Percentual de σ_{total} (%)	*IC para σ		**NDC do estudo
					Inferior	Superior	
Gage RR	0,0002375	3,23	0,015413	17,96	0,015	0,018	7
Repetitividade	0,0002363	3,21	0,015373	17,92	0,015	0,016	
Reprodutibilidade	0,0000012	0,02	0,001103	1,29	0,000	0,009	
Turno	0,0000012	0,02	0,001103	1,29	0,000	0,009	
Peça (Emissor)	0,0071233	96,77	0,084399	98,37	0,066	0,117	
Total	0,0073608	100,00	0,085795	100,00	0,068	0,118	

*Intervalo de confiança, a 95% de probabilidade; ** NDC = $\sqrt{2} \frac{\sigma_{Emissor}}{\sigma_{Gage RR}}$ = Número de categorias distintas