

ESTUDO DE ANÁLISE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO: MELHORIA NO PROCESSO DE INSPEÇÃO DO ÂNGULO DE TERMINAIS PARA MONTAGEM EM MANGUEIRAS COM APLICAÇÃO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS.

T. C. Assis¹; A. L. Rodrigues¹; R. C. M. Sales¹.

1- Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos – “Prof. Jessen Vidal”
Avenida Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1350 – CEP: 12247-014 – São José dos Campos - SP
– Brasil
Telefone: (12) 3905-2423 – Fax: (12) 3905-4699 – Email: tabata.assis@outlook.com

RESUMO: Este artigo tem como objetivo aplicação do MSA (*Measure Analysis System*/Análise do Sistema de Medição) para avaliar o sistema de medição do ângulo de terminais metálicos em mangueiras agrícolas, analisando os parâmetros de repetitividade do operador, reprodutibilidade do instrumento e tolerância para detectar existência de anomalias quantitativas dentro do processo de fabricação destas peças. Os métodos de medição aplicados (transferidor de ângulo e projetor de perfil) foram comparados e observou-se que as medições com o projetor de ângulo foi o melhor método aplicado para a validação do processo, pois a sua variação total atente os parâmetros definidos de acordo com as recomendações das montadoras americanas AIAG, que estabelece que a variação total deve ser menor que 30% para ser considerado aceitável.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de sistema de medição; ângulo de montagem; MSA; inspeção de terminais; máquinas agrícolas.

ABSTRACT: This article aims to apply the MSA (*Measure Analysis System*) to evaluate the measurement system of the angle in metal terminals in agricultural hoses, analyzing the repeatability of parameters of the operator, instrument reproducibility and tolerance to detect the existence of quantitative abnormalities in the manufacturing process of these parts. The applied methods of measurement (protractors angle and profile projector) were compared and it was observed that the profile projector measures was the best method applied for process validation, as its total variation attend the set parameters according to the recommendations of the American automakers AIAG, who determines that the total variation shall be smaller than 30% to be considered acceptable.

KEYWORDS: Measure system analysis; mounting angle; MSA; couplings inspection; rural machines.

1. INTRODUÇÃO

As indústrias fornecedoras para o mercado agrícola e/ ou automotivo que detém a certificação ISO 9000 [1] e ISO/TS 16949 [2] necessitam demonstrar a capacidade de validação do produto através do sistema de medição para assegurar a qualidade do produto e atender os requisitos normativos adequadamente.

Almeida e Sehnem [3] citam que, “Os processos de medição confiáveis no chão de fábrica, com pequenas variações, têm papel fundamental e determinante na garantia da qualidade e competitividade de modo a satisfazerem às práticas internacionais e consequentemente participar das redes globais de fornecedores”.

De forma generalizada, esta competitividade é mensurada de tal modo que,

o fornecedor que têm maior controle do processo se torna o preferencial no momento de cotação de novos produtos e projetos, destacando-se dentre todos os outros.

As empresas agrícolas exigem um nível de qualidade quase tão rigoroso quanto às montadoras, quando se trata da padronização e validação do processo de produção.

Para que as indústrias acompanhem a crescente busca pela estabilidade e confiabilidade da qualidade do produto, a utilização de métodos de medição para validação do processo de aprovação da peça de produção (*PPAP – Production Part Approval Process*) se torna mandatória para comprovar a conformidade do produto com as tolerâncias estabelecidas.

Uma das etapas de validação da produção é a verificação do sistema de medição, através da realização de estudos periódicos de análise, onde os objetivos são comprovar que o processo possui propriedades estatísticas compatíveis com as especificações e tomar conhecimento das fontes de variação.

Sem uma análise do sistema de medição não há dados que comprovem a eficiência e efetividade do controle do processo de medição, tornando impossível a validação da quantificação dos parâmetros que contemplam a confecção do produto.

1.1. O processo fabril da montagem de conjuntos de mangueiras com aplicação em máquinas agrícolas

Os conjuntos montados são amplamente utilizados em diversas máquinas agrícolas, tanto em *kit's* de transmissão, ar condicionado, quanto em sistemas hidráulicos no geral.

Chama-se de conjunto toda mangueira que têm pelo menos em uma de suas extremidades um componente metálico.

O processo de fabricação de um conjunto montado consiste na união da mangueira pronta com um item metálico e, a primeira etapa para confecção de um conjunto que utiliza terminais é sua seleção. Para que isto ocorra sem erros, é de caráter

imprescindível um processo consistente onde, o inspetor tem de ser dotado de demasiada experiência para detecção visual e domínio dos instrumentos de medição necessários para este trabalho.

Quando existe qualidade no sistema de medição da inspeção, há o aumento da confiabilidade dos dados coletados, assegurando que estes não estão sendo gerados equivocadamente e, além disso, reduz os custos envolvidos, como a interrupção da produção e, as perdas de componentes não conformes devem ser superados pela garantia da qualidade final do produto acabado [5].

Portanto, o objetivo deste trabalho é determinar, utilizando o *MSA*, o melhor método para medição do ângulo de terminais assegurando que após a inspeção, o processo flua sem a existência de anomalias quantitativas nestes componentes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Detalhamento dos instrumentos de medição

Os estudos foram realizados com dois instrumentos, objetivando validar o processo com ao menos um destes. As primeiras análises foram realizadas com um transferidor de ângulo (Figura 1) cuja medição é em graus, a resolução do instrumento é de 1° e, possui certificado de calibração RBC, emitido em 10/09/2015 com periodicidade de 24 meses.

A segunda análise foi feita com projetor de perfil (Figura 2), cuja medição é em graus, a resolução do instrumento é de 0,01° e, possui certificado de calibração RBC, emitido em 25/02/2015 com periodicidade de 24 meses.



Figura 1. Transferidor de ângulo.



Figura 2. Projetor de perfil.

2.3. Preparação das amostras

As amostras foram selecionadas e identificadas seguindo o padrão apresentado na Figura 3, onde as etiquetas foram aderidas em locais que não influenciaram nas medições.



Figura 3. Amostras numeradas aguardando coleta de dados das medições.

Todas as medições foram realizadas com as mesmas amostras, sendo que, no estudo de repetitividade e reprodutibilidade utilizou-se 10 amostras e, o valor do ângulo nominal destas amostras é de 90,5°, sendo que a tolerância é de $\pm 2^\circ$, embasado na especificação do desenho do cliente.

2.7. Cálculo de variação do sistema de medição

A análise da variação da repetitividade e reprodutibilidade do sistema de medição é o método que avalia os instrumentos de medição para determinar a capacidade de produção de uma resposta precisa [6].

A variação do instrumento foi verificada através de 3 medições de 10 amostras de terminais por 2 operadores diferentes no mesmo dia, cujos cálculos foram adaptados embasando-se no Manual da IQA [4] para

cálculo das variações e em Ribeiro e Ten Caten [7] para cálculo das cartas de controle.

A partir da coleta dos dados, foi calculado o limite superior da carta das médias conforme Equação 1, onde $\bar{\bar{X}}$ é a média da medição de todas as amostras, $A_2=1,023$ para o tamanho de subgrupo=3 e \bar{R} é a média de todas as amplitudes diárias.

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} \quad (1)$$

O limite inferior da carta das médias foi calculado conforme Equação 2, onde $\bar{\bar{X}}$ é a média da medição de todas as amostras, $A_2=1,023$ para tamanho de subgrupo=3 e \bar{R} é a média de todas as amplitudes diárias.

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} \quad (2)$$

O limite superior das amplitudes foi calculado conforme Equação 3, onde \bar{R} é a média de todas as amplitudes diárias, e $D_4=2,575$ para tamanho de subgrupo=3.

$$UCL = \bar{R} * D_4 \quad (3)$$

A variação do equipamento em relação à unidade de medição foi calculada conforme Equação 4, onde $\bar{\bar{R}}$ é a média de todos as amplitudes medidas e $k_1=0,5867$ é uma constante para medições com três repetições.

$$VE = \bar{\bar{R}} * K_1 \quad (4)$$

A variação entre os avaliadores em relação à unidade de medição foi calculada conforme Equação 5, onde \bar{X}_{DIF} é a amplitude das médias por operador, $k_2=0,7071$ é uma constante relativa às medições com dois operadores, VE é o resultado da Equação 4 e nr é o número de medições por operador.

$$VA = \sqrt{(\bar{X}_{DIF} * K_2)^2 - \left(\frac{VE^2}{nr}\right)} \quad (5)$$

O número de categorias distintas foi calculado conforme Equação 6, onde R_p é a amplitude das médias por amostra, $K_3=0,31455$ é uma constante para a execução das medições com o número de 10 amostras, VE é o resultado da Equação 4 e, VA é o resultado da Equação 5.

$$ndc = 1,41 \left(\frac{R_p + K_3}{\sqrt{VE^2 + VA^2}} \right) \quad (6)$$

A repetitividade em relação à tolerância foi calculada conforme Equação 7, onde VE é o resultado da Equação 4, LS e LI são os limites superior e inferior, respectivamente.

$$\%VE = 100 \left[\frac{VE}{LS - LI} \right] * 6 \quad (7)$$

A reprodutibilidade em relação à tolerância foi calculada conforme Equação 8, onde VA é o resultado da Equação 5, LS é o limite superior e LI é o limites inferior.

$$\%VA = 100 \left[\frac{VA}{LS - LI} \right] * 6 \quad (8)$$

A variação por peça em relação à tolerância foi calculada conforme Equação 9, onde R_p é a amplitude das médias por amostra, $K_3=0,31455$ é uma constante para a execução das medições com o número de 10 amostras, LS e LI são os limites superior e inferior, respectivamente.

$$\%VP = 100 \left[\frac{R_p + K_3}{LS - LI} \right] * 6 \quad (9)$$

A variação total em relação à tolerância foi calculada conforme Equação 10, onde VE é o resultado da Equação 4, VA é o resultado da Equação 5, LS e LI são os limites superior e inferior, respectivamente.

$$\%R\&R = 100 \left[\frac{\sqrt{VE^2 + VA^2}}{LS - LI} \right] * 6 \quad (10)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.2. Avaliação da variação do sistema de medição

Analisando os resultados coletados para análise da variação do sistema com a utilização do transferidor de ângulo, observou-se em primeira instância que o resultado do número de categorias era igual à 2, considerado extremamente baixo. O número de categorias entre 1 e 2 significa que os valores quantitativos coletados seriam mais úteis se fosse utilizado o método atributivo ou seja, passa ou não na tolerância. Pode-se perceber, então, que o instrumento atual não é eficaz para controle de processo através de medição quantitativa [4].

Quando se observa o resultado de $VE=77\%$ demasiadamente maior que $VA=2,22$, já se pode concluir que o instrumento de medição deve ser aperfeiçoado, pois, quando o quociente de VE/VA for maior que 1,00, significa que o instrumento de medição não é adequado.

Os critérios estabelecidos pelo manual da IQA são que: um sistema com $R\&R$ menor ou igual a 10% indica que é capaz, entre 10% e 30% significa que o sistema de medição é condicionalmente capaz e, maior que 30% demonstra incapacidade no sistema de medição [4].

A variação total em relação à tolerância do estudo indicou a incapacidade do sistema de medição, pois, seu valor foi igual a 77,04%, totalmente incapaz.

Os gráficos de controle das médias e amplitudes, coletados a partir das medições com o transferidor de ângulo, foram plotados nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

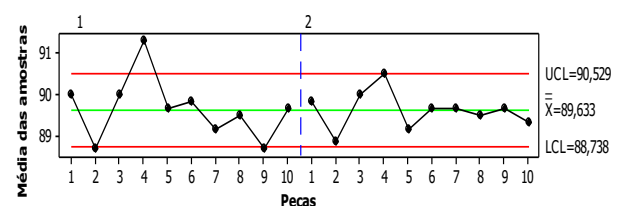


Figura 4. Carta das médias das medições com o transferidor de ângulo.

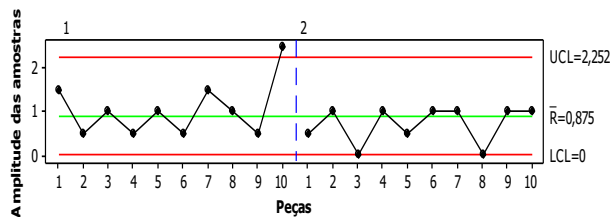


Figura 5. Carta das amplitudes das medições com o transferidor de ângulo.

Através da análise das Figuras 4 e 5, encontraram-se indícios que o processo está instável, tendo em vista que na análise das médias com o método de repetitividade e reprodutibilidade os pontos deveriam estar plotados de forma que demonstrasse uma boa alternância fora do limite de controle. A falta de alternância significa que o instrumento não é capaz de detectar variações.

Quanto à carta das amplitudes, os pontos deveriam estar plotados dentro dos limites de controle da carta. O ponto da amostra 10 encontra-se fora do limite superior, que aconteceu apenas com o operador 1, tornando muito provável que este tenha cometido um erro aleatório em alguma das medições.

A Figura 6 representa todos os valores encontrados por amostra e, foi possível perceber que o operador efetua as medições com cerca de meio grau de diferença em cada medição, pois, a resolução do instrumento não permite que os pontos sejam plotados mais próximos, que só seria possível quando fosse utilizada uma escala de maior resolução.

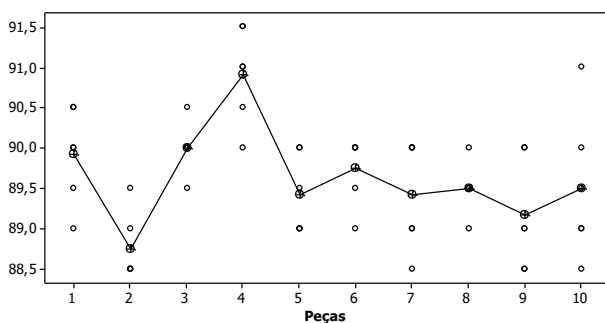


Figura 6. Medições por peça, realizadas com o transferidor de ângulo.

A Figura 7 representa as médias das medições por amostra, de cada um dos

operadores. Pode-se observar que apesar da média final de cada um dos operadores estarem muito próximas, houve algumas peças que muito possivelmente gerou dúvida e, por isto, houve influência na amplitude de algumas medições. Todavia, considerando a resolução do instrumento, a amplitude não é de fato tão alta, tendo em vista que os pontos mais altos divergem entre si no máximo 1 grau e meio.

O operador não dispõe de um instrumento que possua uma escala maior para que, este, possa classificar a peça para realizar a medição com mais precisão de modo a diminuir a amplitude da peça.

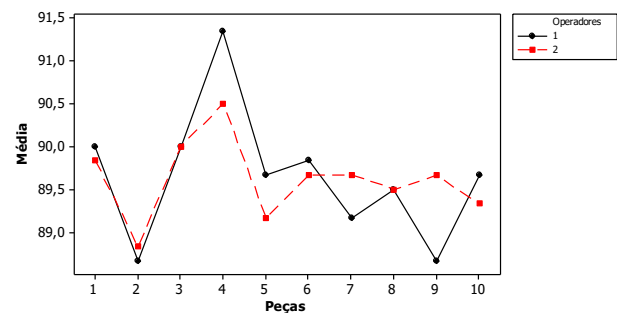


Figura 7. Medições com as médias das amostras por operador, realizadas com o transferidor de ângulo.

Foram realizadas as medições, também, com o medidor de perfil, cuja precisão, atende ao especificado pelo manual da IQA, resolução é maior que 10% da tolerância [4].

Através dos resultados é possível observar que o número de categorias=35 está muito mais alto que quando foi avaliado com o outro instrumento de medição.

Segundo o Manual de Referência da IQA, o número de categorias maior ou igual a 5 se encontram em condição favorável para realização do estudo de R&R quantitativo. [4]

Em outras palavras, pode-se dizer que as amostras selecionadas estavam sendo eficazes quanto sua variabilidade de parâmetros e o projetor foi capaz de detectar esta variação.

O resultado de VE (9,90%) continua maior que VA (1,68%), indicando que ainda é recomendável um instrumento de medição mais aperfeiçoado, porém, o valor não está tão

alto quanto às medições com o transferidor de ângulo.

Quanto à variação total, este, apresentou uma capacidade parcial, porém muito próximo da capacidade considerada ótima para um sistema de medição, pois, seu valor é igual a 10,04%,

As Figuras 8 e 9 apresentaram evidências que o processo se encontrava estável, tendo em vista que na análise das médias os pontos foram plotados de forma que demonstrasse uma boa alternância fora do limite de controle. Isto se deve ao fato de que os limites diminuíram por conta de sua relação com a média de todas as medições e média das amplitudes, considerando que os resultados das medições estavam mais precisos e coerentes.

A alternância das médias das plotadas é consequente do alto número de categorias, onde o instrumento demonstrou sua capacidade de detectar variações no processo.

Quanto à carta das amplitudes, todos os pontos estavam plotados dentro dos limites de controle da carta, que diminuiu por conta da diminuição da média das amplitudes. Todos os pontos plotados dentro dos limites de controle demonstrou que o processo está extremamente estável.

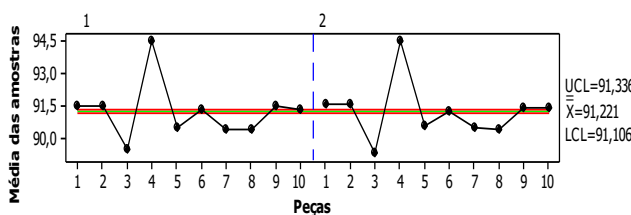


Figura 8. Carta das médias das medições com projetor de perfil.

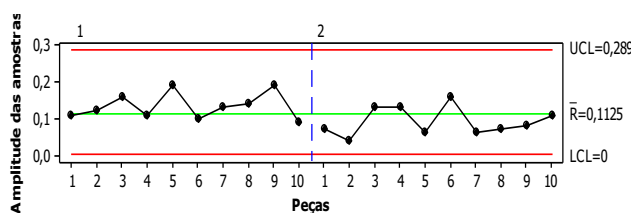


Figura 9. Carta das amplitudes das medições com projetor de perfil.

A Figura 10 representa todos os valores encontrados durante as medições, e as médias de cada amostra, para que seja analisada a distância dentre elas. Pode-se perceber que, as medições estavam muito próximas e, isto só foi possível através da utilização de um instrumento que proporcionasse ao operador realizar suas medições com maior precisão.

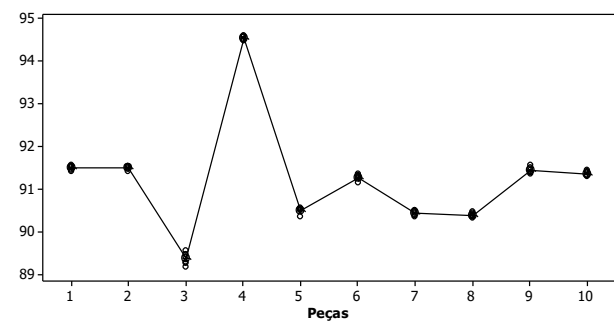


Figura 10. Medições por peça, realizadas com o projetor de perfil.

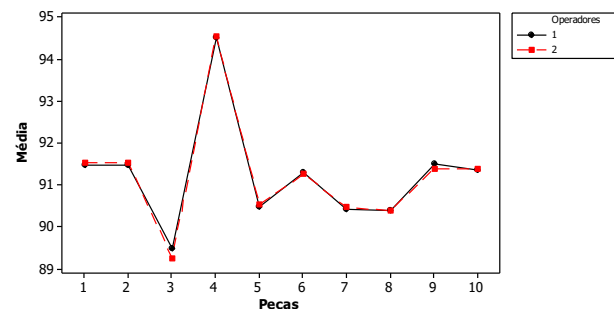


Figura 11. Medições com as médias das amostras por operador, realizadas com o projetor de perfil.

Já o gráfico da Figura 11, representa as médias das medições por amostra por cada um dos operadores. Foi possível observar os dados do gráfico apresentaram-se muito próximos e, quase nem se vê a amplitude entre elas. Isto só foi possível através da sintonia entre as medições dos operadores e, também, através do aumento da precisão do instrumento, que possibilitou que as medidas fossem mais claras e que apresentassem maior confiabilidade.

5. CONCLUSÃO

O uso do MSA contribui demasiadamente para análise do sistema de

medição, possibilitando a validação do processo de modo lógico e não aleatório.

O uso da ferramenta possibilitou que fosse observada a variação atual do processo, que não estava conforme e, propôs-se um melhor método para adaptação para execução da mesma função de um modo a apresentar maior confiabilidade no sistema de medição.

Durante a execução dos estudos foi averiguado que o transferidor de perfil não atende aos requisitos especificados no desenho do cliente e, por isto foi proposto que todas as medições a partir da data de finalização dos estudos fossem feitas através do projetor de perfil que, apesar de consumir mais tempo para inspecionar o ângulo dos terminais, apresenta uma certeza muito maior de medição do que o primeiro método e, tendo em vista que as peças não são inspecionadas 100%, pois é utilizado a metodologia do *skip-lot*, o tempo para inspeção não seria tão impactante para o processo de produção.

Utilizando o estudo de análise de sistema de medição foi possível concluir que o melhor método para validação do processo de inspeção do ângulo de terminais metálicos é através da utilização do projetor de perfil, logo, a utilização dos transferidores de ângulo para este fim, deve ser permanentemente banida do processo de recebimento de terminais.

6. REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001/2000: Sistemas de Gestão da Qualidade**. Rio de Janeiro, 2001.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/TS 16949/2004: Sistemas de Gestão da Qualidade - Requisitos particulares para aplicação da ABNT NBR ISO 9001:2000 para organizações de produção automotiva e peças de reposição pertinentes**. Rio de Janeiro, 2004.
- [3] ALMEIDA, D.; SEHNEM, F. **Construção e validação para o processo produtivo**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia da Qualidade com ênfase em Black Belts) – Faculdade de Engenharia de Minas Gerais – FEAMIG, Minas Gerais, [s. d.]. p. 2. Disponível em: <<http://www.cimm.com.br/portal/publicacao/329-construcao-e-validacao-de-um-sistema-de-medicao-para-o-processo-produtivo>> Acesso em : 15 agosto 2016.
- [4] INSTITUTO DE QUALIDADE AUTOMOTIVA – IQA. **Análises de sistemas de medição – MSA, Manual de referência**. 4ª. Ed. São Paulo, 2010. pp. 5-124.
- [5] DA FONSECA, MARIANA PAES. **A Análise do Sistema de Medição (MSA) como ferramenta no controle de processos em uma indústria de dispositivos médicos descartáveis**. Monografia - Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia de Produção. Minas Gerais, 2008. p. 2
- [6] LAU MENDEZ, H. **Measure System Analysis for Process Control at Company XYZ**. Menomoneie, 2006.
- [7] RIBEIRO J.L.D.; TEN CATEN C.S. **Controle Estatístico de Processo - Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição**. Série Monográfica Qualidade. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2012.