

## **Aplicação das Cartas de Controle por Amplitude e Valor Individual para Garantia da Qualidade do Entalhe em V para amostras de Charpy**

**Agnes Ágata Fróes Martins<sup>1,2</sup>, Daniel Fabricio Kapper<sup>1,2</sup>, Matheus Lothar Schmidt<sup>1,2</sup>, Afonso Reguly<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Laboratório de Metalurgia Física; <sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul

E-mail: agnesfroes@gmail.com

**Resumo:** Laboratórios de ensaio que possuem um Sistema de Gestão da Qualidade implantado, conforme a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, devem atender a vários requisitos, visando a garantia da qualidade. De forma específica, buscou-se a implantação dos conceitos de Controle Estatístico ao processo de usinagem, verificando sua capacidade em atender às especificações da norma ASTM E23 para corpos de prova em Charpy do tipo A. Realizou-se a verificação das medidas obtidas através de Cartas de Controle, visando identificar o processo de usinagem com melhor controle estatístico e que atende de forma mais eficaz às exigências da norma. A partir da análise dos gráficos obtidos, verificou-se que o processo por eletroerosão a fio obtém medições mais próximas dos valores exigidos pela norma.

**Palavras-chave:** Garantia da qualidade, Cartas de controle, Charpy tipo A.

**Abstract:** Testing laboratories that have a Quality Management System implemented, in accord to ABNT NBR ISO/IEC 17025, must attend several requirements, aiming the quality assurance. Specifically, it was sought to implement Statistical Control concepts of the machining process, verifying its capacity of satisfying the specifications of the ASTM E23 standard for Charpy V-Notch test specimens. The verification of the measurements obtained were performed by Control Charts, aiming to identify the machining process that has the better statistical control and has more effective form of attending the requirements of the standard. From the analysis of the obtained graphs, it was verified that the electroplating process obtains closer measurements, if compared to the values required by the ASTM E23.

**Keywords:** Quality assurance, Control charts, Charpy V-Notch.

### **1. INTRODUÇÃO**

A qualidade é essencial para um laboratório, sendo a ferramenta capaz de garantir a satisfação do cliente. Os gráficos de controle representam uma das técnicas estatísticas que servem de apoio ao controle da qualidade de um processo, fornecendo evidências de suas variações tanto de caráter aleatório quanto de caráter determinável. Eles

permitem que se possa atuar no processo de forma preventiva, corrigindo possíveis desvios de qualidade. É importante destacar que um gráfico de controle não permite a identificação de quais são as causas especiais de variação que estão atuando em um processo fora de controle estatístico, mas ele processa e dispõe informações que podem ser utilizadas na identificação destas causas [1]. As cartas ou gráficos de controle

consistem em uma linha central, um par de limites de controle, um dos quais se localiza abaixo e o outro acima da linha central, e valores característicos marcados no gráfico, representando o estado de um processo. Se todos esses valores marcados estiverem dentro dos limites de controle, sem qualquer tendência particular e a disposição dos pontos dentro dos limites for aleatória, o processo é considerado sob controle. Entretanto, se os pontos incidirem fora dos limites de controle ou apresentarem uma disposição atípica, o processo é julgado fora de controle [2].

Em amostras para ensaios Charpy, o efeito do entalhe é criar uma região onde há um aumento de tensões na raiz do próprio entalhe, o que provoca um aumento de triaxialidade de tensões nos arredores do entalhe, levando a uma maior fragilidade do material nesta região. Por este motivo o entalhe deve ser usinado suavemente, uma vez que, variações nas suas dimensões afetarão seriamente os resultados dos testes [3].

Existem diferentes tipos de cartas de controle a serem aplicadas na garantia da qualidade e, dentre estes, podemos destacar as cartas de controle por amplitude (ou R-chart), que é utilizada quando se deseja controlar a precisão da análise. Para isso, a amplitude é calculada como a diferença entre o resultado maior e o resultado menor de múltiplas análises da amostra de controle [3]. O método consiste em calcular a amplitude (R), que é igual à diferença entre a maior média ( $X_{maior}$ ) e a menor média ( $X_{menor}$ ) e os limites de controle (LC), onde o limite de controle inferior (LCI) é calculado como  $LCI = R \cdot D_3$ , e o limite de controle superior (LCS) é calculado como  $LCS = R \cdot D_4$ , onde  $D_3$  e  $D_4$  são constantes tabeladas. Por fim, são construídas as cartas considerando a média das amplitudes como a linha central do gráfico e os limites calculados como as delimitações de controle [4] [5].

Cartas de controle para médias móveis são utilizadas quando se deseja detectar pequenas mudanças na média, sendo indicadas quando se deseja efetuar um controle automatizado. O uso simultâneo de cartas de médias móveis ( $M_t$ ) e médias simples (X) ou valores individuais (x) é recomendado. A média móvel é recalculada a cada

nova amostra, incorporando a amostra mais recente e descartando a amostra mais antiga. A média móvel de passo (w) é definida como: ( $M_t = X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-w+1} / W$ ). Assim, os limites de controle para a média móvel para períodos onde  $t \geq w$  serão: ( $LCS = X + A_2 R$  e  $LCI = X - A_2 R$ ), sendo  $A_2$  uma constante tabelada.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consiste na comparação das dimensões do entalhe utilizando cartas de controle para as medidas de 12 amostras de Charpy tipo A, realizadas pelo mesmo operador, evitando o efeito da variabilidade de medições com diferentes operadores. As amostras são compostas mesmo material, aço 1045, usinadas por 1 máquina que opera por brochamento e outras 12 amostras usinadas por 1 máquina que opera por processo de eletroerosão. A figura 1 mostra o corpo de prova padronizado conforme a norma ASTM E23 [7].

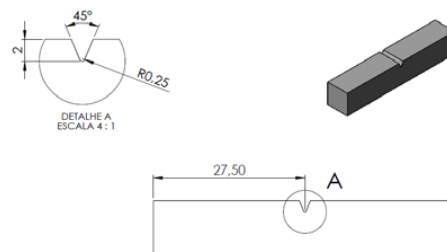


Figura 1. Corpo de prova com suas especificações.

As amostras foram medidas no Projetor de Perfil, fabricante INSIZE, modelo ISP-Z3015, com resolução de 0,0025mm. Foram determinadas as dimensões de ângulo, raio e profundidade dos entalhes, conforme a figura 2.

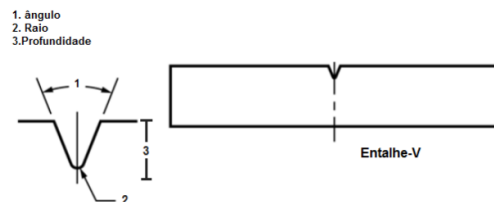


Figura 2. Especificação do entalhe do corpo de prova Charpy tipo A.

Na tabela 1 encontram-se as tolerâncias indicadas pela norma ASTM E23.

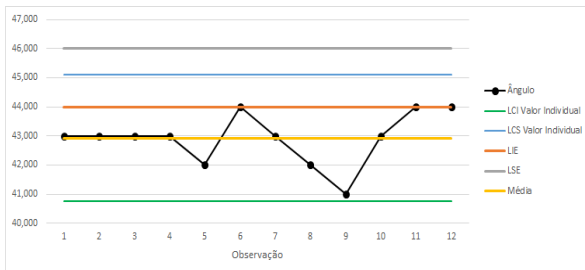
**Tabela 1.** Tolerâncias para medidas do entalhe de corpo de Charpy (Tipo V).

DESCRIÇÃO DO ENTALHE (TIPO A - CORTE V)	DIMENSÃO	TOLERÂNCIA
Raio	0,25 mm	0,025
Profundidade	2 mm	0,025
Ângulo	45°	1°

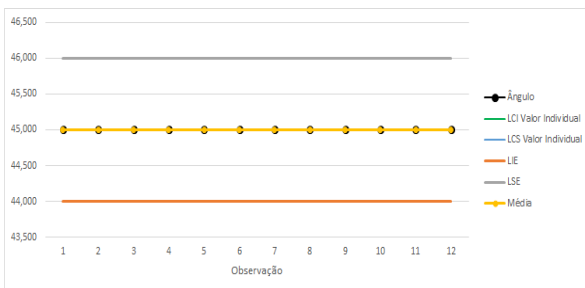
As cartas de controle foram construídas utilizando triplicatas de ensaios realizados ao longo de quatro meses, isto é, uma triplicata referente à usinagem com brochadeira e uma referente à eletroerosão por mês.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As figuras 3 e 4 exemplificam o comportamento encontrado para cartas de controle por valores individuais, apresentando a carta para o ângulo usinado na brochadeira e por eletroerosão, respectivamente. Apesar da usinagem por brochamento estar sob controle estatístico, 3 pontos encontraram-se fora dos pontos de especificação. Por outro lado, na usinagem por eletroerosão todos os pontos ficaram dentro dos limites de controle.



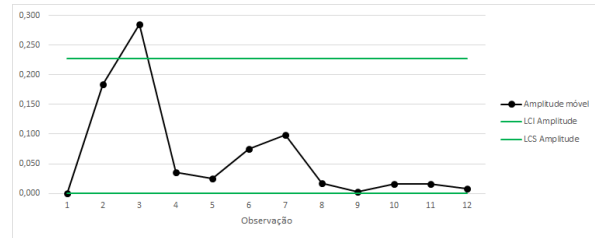
**Figura 3.** Carta de controle para valores individuais do ângulo – usinagem por brochamento.



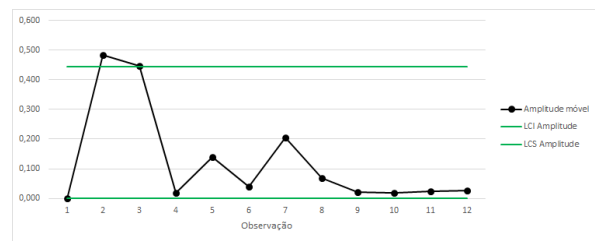
**Figura 4.** Carta de controle para valores individuais do ângulo – usinagem por eletroerosão.

As figuras 5 e 6 exemplificam o comportamento encontrado para cartas de controle por valores de amplitude, apresentando a carta para a profundidade. Corpos de prova usinados

por brochamento obtiveram 1 ponto fora do LC e corpos de prova usinados por eletroerosão obtiveram 2 pontos fora do LC.



**Figura 5.** Carta de controle para valores por amplitude da profundidade – Usinagem por brochamento.



**Figura 6.** Carta de controle para valores amplitude da profundidade – Usinagem por eletroerosão.

Na tabela 2 estão ilustrados os resultados obtidos através das cartas de controle para cada tipo de usinagem. Nota-se que a usinagem por eletroerosão apresentou um melhor controle estatístico e possui uma melhor capacidade de atender aos requisitos da ASTM E23, apesar da dificuldade em se encontrar um bom controle estatístico para as medições de profundidade para ambos os tipos de usinagem.

**Tabela 2.** Resultados obtidos através das cartas de controle.

Especificação		Média Limite de Especificação (pontos fora)	Média Limite de Controle (pontos fora)	Amplitude Limite de Controle (pontos fora)
Brochadeira Usinagem	Profundidade	3	1	1
		5	1	2
Brochadeira Usinagem	Raio	Todos dentro	Todos dentro	Todos dentro
		Todos dentro	Todos dentro	Todos dentro
Brochadeira Usinagem	Ângulo	9	Todos dentro	Todos dentro
		Todos dentro	Todos dentro	Todos dentro

Os resultados obtidos com as cartas de controle por amplitude e individual possibilitaram verificar que a usinagem por eletroerosão a fio teve um comportamento melhor, se comparados com as medidas obtidas pelo processo de usinagem por brochadeira, principalmente as medidas do ângulo, tanto no âmbito de controle

estatístico quanto no atendimento às especificações da norma ASTM E23. O efeito do operador nestas medições não é relevante, pois foram feitas por um único operador, habilitado e capacitado para tal atividade. Já no processo de usinagem treinamento, carga de trabalho e capacitação de operadores devem ser levados em questão, devido à variação entre os resultados obtidos, principalmente nas medições de profundidade. Outro fator preponderante ao processo é a possível utilização de equipamentos de usinagem com desgaste. Um plano de ação para o controle dos aspectos voltados a obtenção de amostras que atendam aos requisitos dimensionais da norma foi elaborado, visando reduzir os efeitos dos principais elementos causadores de falhas em ambos os processos.

#### **4. CONCLUSÃO**

As cartas de controle para valores individuais e valores por amplitude possibilitaram uma compreensão de qual processo de usinagem recebe um melhor acabamento no requisito entalhe. Através dessas cartas realizamos o monitoramento das amostras garantindo assim quais estão de acordo com as tolerâncias dimensionais exigidas pela ASTM E23. Por fim, o processo que obteve melhor medida foi o processo de usinagem por eletroerosão.

#### **REFERÊNCIAS**

- [1] Werkema MCC. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG; 1995.
- [2] Kume H. Métodos estatísticos para a melhoria da qualidade. São Paulo: Ed. Gente; 1993.
- [3] American Society for Testing and Materials (ASTM International) “ASTM E23 – 16b: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials”.
- [4] F.M. Albano, M.T. Raya –Rodriguez. “Validação e garantia da qualidade de ensaios laboratoriais”. Rede Metrológica RS. Porto Alegre. 2009.
- [5] D.C. Montgomery. “Introduction to statistical quality control”. 5a Ed. John Wiley & Sons. 2005.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. “ABNT NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaios e calibrações” Rio de Janeiro, 2005.
- [7] American Society for Testing and Materials (ASTM International) “ASTM E23 – 16b: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials”.