

18 a 21 de novembro de 2014, Caldas Novas - Goiás

## Método das médias e amplitudes e análise de incerteza de medição dos ângulos de bits de HSS afiados com rebolo de $\text{Al}_2\text{O}_3$

Antonio Vitor de Mello, antoniovitor.82mecnica@gmail.com<sup>1</sup>

Rosemar Batista da Silva, rsilva@mecnica.ufu.br<sup>1</sup>

Rosenda Valdés Arencibia, arvaldes@mecnica.ufu.br<sup>1</sup>

Gabriel Henrique Silva, hs\_gabriel@hotmail.com<sup>1</sup>

Marcelo do Nascimento Souza, mnascimento28@yahoo.com.br<sup>1</sup>

Luciano Antônio Fernandes, luciano\_ufrj@yahoo.com.br<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica – Uberlândia – MG

<sup>2</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro – Departamento de Engenharia Mecânica – Uberaba – MG

**Resumo:** O processo de afiação de ferramentas é bastante empregado em oficinas, laboratórios e indústrias que trabalham com usinagem em geral, pois permite restaurar a aresta de corte das ferramentas desgastadas, representando economia em relação à aquisição de ferramentas novas. Entretanto, este processo de usinagem é, em muitos casos, realizado de forma manual em máquinas convencionais, sem grandes preocupações do operador com relação à exatidão dos valores dos ângulos obtidos e da qualidade da superfície da ferramenta, como também com a repetibilidade do processo. Neste contexto, este trabalho foi realizado para avaliar a repetibilidade e a reprodutibilidade (R&R) no processo de afiação de bits de HSS. Os ângulos da aresta cortante foram gerados em uma afiadora universal com um rebolo de alumina e na condição a seco. Eles foram em seguida medidos e os resultados passaram por tratameto estatístico - método das médias e amplitudes. Os resultados mostraram que o processo de afiação, nas condições deste trabalho, não forneceram valores com adequada repetibilidade e reprodutibilidade. Também foi determinado, através da análise de incerteza, que há um baixo risco de que os resultados obtidos pela medição dos ângulos afetem a validade da análise R&R. Durante a análise dos resultados um erro sistemático foi identificado no processo de afiação e possíveis correções são sugeridas. Os resultados também indicaram pouca influência da variação da profundidade de corte na repetibilidade e reprodutibilidade do processo, mas afetando, como esperado, na qualidade das peças (bit).

**Palavras-chave:** Usinagem, Afiação, Ângulos da ferramenta, Carta R&R, Método das médias e Amplitudes

### 1. INTRODUÇÃO

Tem se tornado cada vez mais comum o emprego de ferramentas estatísticas para auxiliar nas análises dos resultados obtidos em operações de usinagem. Podem ser citadas a ANOVA e análise R&R (também chamada de carta R&R).

A análise de repetibilidade e reprodutibilidade (R&R) dos processos de usinagem é importante pois visa garantir a operacionalidade de um equipamento e consequentemente a reprodução de resultados das formas e dimensões das peças usinadas conforme especificado em projeto. Segundo de Mello (2013), “tão importante quanto garantir a operacionalidade de um equipamento, é garantir a reprodução de um bom resultado gerado por este”.

A análise R&R é amplamente utilizada como uma ferramenta de controle de processo, requerendo monitoração do desenvolvimento do processo a fim de melhorá-lo ou mantê-lo em pleno funcionamento. Para tanto, são utilizadas as chamadas cartas de controle, que podem ser elaboradas segundo diferentes métodos, cada um com sua peculiaridade e aplicabilidade (de Mello, 2013). O método mais adequado pode ser escolhido de acordo com uma correta avaliação do sistema de medição. Em IQA (1997) pode ser encontrado um fluxograma que auxilia nessa escolha, o qual fornece, para esse trabalho, a indicação de uso do método das médias e amplitudes.

Neste trabalho, procura-se investigar, então, a repetibilidade e reprodutibilidade do processo de afiação de ferramentas utilizando máquina afiadora universal com operação manual. Os parâmetros de entrada empregados foram a profundidade de corte e o operador.

## 2. FUNDAMENÇÃO TEÓRICA

Para melhor entendimento dos procedimentos adotados para os ensaios de afiação e cálculos referentes aos parâmetros de repetibilidade e reprodutibilidade, a seguir é apresentada uma breve descrição do processo de afiação e dos ângulos da ferramenta de corte.

### 2.1. O Processo de Afiação de Ferramentas

A afiação de ferramentas é um processo de usinagem por abrasão que tem por finalidade conferir uma geometria ou restaurar a geometria de uma ferramenta desgastada. Como grande parte das peças fabricadas atualmente tem, em alguma etapa de sua obtenção, o processo de usinagem é importante garantir a boa qualidade das arestas das ferramentas. Se uma ferramenta não está com a aresta de corte adequada, ou desgastada além do limite permitido por normas, ocorrerão elevados esforços de corte e vibração do sistema o que irá comprometer a qualidade da superfície da peça usinada. A afiação é uma opção à compra de novas ferramentas, a fim de reduzir custos e aumentar o tempo útil da ferramenta. Considerando que uma ferramenta pode ser afiada em torno de 5 vezes e com custo de afiação em torno de 10% do valor de uma ferramenta nova, por exemplo uma broca de HSS de 10 mm de diâmetro, a economia poderá ser bastante significativa.

Nas empresas fabricantes de ferramentas esse processo é feito em máquinas modernas e automatizadas, mas em muitas oficinas e laboratórios de pesquisa ainda são utilizadas máquinas operadas manualmente que dependem, em grande parte, da habilidade e experiência do operador (de Mello, 2013).

### 2.2. Ângulos Gerados na Afiação

A geometria da ferramenta é definida por meio de sete ângulos resultantes do encontro de três superfícies: a principal de folga, a secundária de folga e a de saída. Na afiação, são geradas essas superfícies e definem os ângulos: posição principal ( $\chi_r$ ), posição secundário ( $\chi'_r$ ), de ponta ( $\epsilon_r$ ), de folga ( $\alpha_o$ ), de saída ( $\gamma_o$ ), de cunha ( $\beta_o$ ) e de inclinação ( $\lambda_s$ ), como mostrado na Fig. 1.

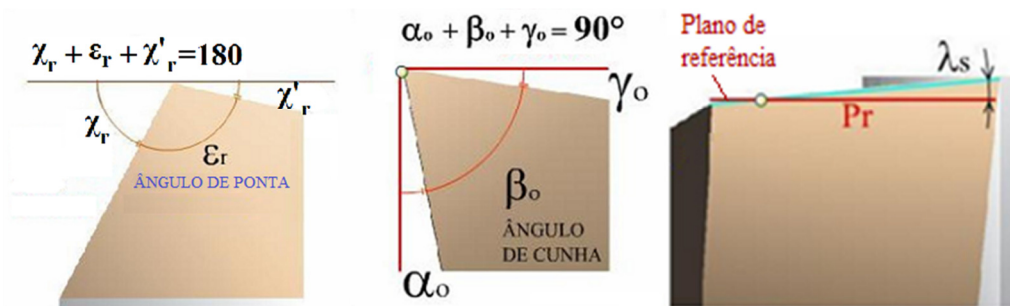


Figura 1. Ângulos da geometria de ferramenta monocortante (adaptado de CIMM, 1997-2012).

### 2.3. Metrologia Aplicada a Medição de Ângulos

De acordo com o INMETRO (2012a), um sistema de medição é definido como o “conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos acoplados para executar uma medição específica”. São vários os sistemas de medição que podem ser utilizados para medir os ângulos de ferramentas. Dentre eles: goniômetro, projetor de perfil e microscópio ferramenteiro.

Os transferidores consistiam, inicialmente em um equipamento composto por uma chapa na forma de uma circunferência e uma escala graduada na borda do mesmo. Mais tarde, observou-se que este instrumento, chamado de transferidor, poderia ser útil para a medição de ângulos em laboratórios de metrologia. Para tanto, o transferidor necessitou de uma série de adaptações para que pudesse desempenhar suas atividades com maior exatidão, resolução e facilidade. Dentre as melhorias promovidas pode-se citar a adição de réguas para uma correta demarcação dos ângulos e, principalmente, a incorporação de um nônio à escala do instrumento.

Os projetores de perfil e os microscópios ferramenteiros são de fabricação mais robusta. Ambos os equipamentos são constituídos por elementos óticos e mecânicos de precisão. Estes utilizam iluminação (diascópica ou episcópica) de alta intensidade que asseguram a obtenção de imagens ampliadas da peça, com boa nitidez. São sistemas próprios para medição angular ou linear de peças muito pequenas ou quando estas apresentam certo grau de complexidade.

Em relação à medição, há dois termos muito utilizados que descrevem a confiança de uma medida numérica: a exatidão e a precisão. A exatidão diz respeito ao grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro dum mensurando, enquanto que a precisão é o grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas (INMETRO, 2012a).

Como não é possível saber o valor exato da medida (valor verdadeiro), diz-se que toda medição é acompanhada de uma incerteza, que, segundo o INMETRO (2012a), é um parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas. O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio-padrão denominado incerteza padrão (ou um de seus múltiplos) ou a metade da amplitude de um intervalo tendo uma probabilidade de abrangência determinada. O cálculo dessa incerteza relacionada à medição é de grande importância em trabalhos de pesquisas, pois denota o nível de confiabilidade dos resultados.

### 2.3.1. Repetibilidade e Reprodutibilidade

Para evitar que alguma tendência ou mesmo que algum erro humano influencie nos resultados obtidos em qualquer que seja o experimento, de um trabalho ou pesquisa, tem-se como uma das muitas salvaguardas utilizadas pelo Método Científico, a exigência da validação destes resultados pela prova da “Repetibilidade e Reprodutibilidade”, conhecido no ambiente industrial como “R&R”.

A repetibilidade (VE) é a precisão de medição sob um conjunto de condições de repetibilidade, as quais incluem o mesmo procedimento de medição, o mesmo operador, o mesmo sistema de medição, as mesmas condições de operação e o mesmo local, assim como medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares durante um curto período de tempo (INMETRO, 2012a). O melhor termo para designar a repetibilidade é a variação dentro do sistema, pois as condições de medição são fixas e definidas.

A reprodutibilidade (VO) é a precisão de medição conforme um conjunto de condições de reprodutibilidade, as quais incluem diferentes locais, diferentes operadores, diferentes sistemas de medição e medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares (INMETRO, 2012a).

Este método evita que resultados falseados sigam à frente na teorização de um procedimento científico. Assim, a análise “R&R” é uma estimativa da variação combinada da repetibilidade e da reprodutibilidade, que pode ser obtida por meio da Eq. (1):

$$R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2} \quad (1)$$

Para tratamento e interpretação de resultados utilizando o método R&R, utilizam-se cartas de controle que são elaboradas segundo três métodos: o primeiro é método das amplitudes, que apenas provê a aproximação, sem discriminar as fontes de variação, ou seja, não trata da relação entre VE e VO; o segundo método da Análise de Variância, mais conhecido como ANOVA, que requer maior amostragem e cuidados com o estudo e análise; e por último o método das Médias e Amplitudes (IQA, 1997).

O método das médias e amplitudes possui formulação relativamente simples e atua em cima do cálculo, como o próprio nome já descreve, é o método das médias e amplitudes de um grupo de medições de um mesmo mensurando, em uma série de peças (ou amostras), obtida por diferentes operadores. Para a elaboração da carta de controle para este método é necessário calcular inicialmente alguns parâmetros, como segue:  $\bar{\bar{X}}_i$ , média das médias obtidas para todas as peças, para o operador  $i$ ;  $\bar{R}_i$ , a média das amplitudes obtidas para todas as peças, para o operador  $i$ ;  $\bar{\bar{R}}$ , a média de todos os valores obtidos para  $\bar{R}_i$ ;  $\bar{\bar{X}}_p$ , a média dos valores obtidos para uma mesma peça, por todos os operadores;  $R_p$ , a amplitude entre os valores de  $\bar{X}_p$  encontrados, e  $\bar{X}_{DIF}$ , que é a diferença entre o maior e o menor valor de  $\bar{X}_i$  obtido. Com esses parâmetros, são estipulados dois valores de controle, que são os limites inferior e superior de controle para amplitude ( $LIC_R$  e  $LSC_R$ , respectivamente). Estes limites são calculados por meio das Equações (2) e (3), respectivamente.  $D_3$  e  $D_4$  são números adimensionais que podem ser extraídos da Tab. 1 (IQA, 1990) para um dado número de observações (medidas). Para este trabalho o número de observações empregado foi igual a cinco (5).

$$LIC_R = \bar{\bar{R}} \cdot D_3 \quad (2)$$

$$LSC_R = \bar{\bar{R}} \cdot D_4 \quad (3)$$

**Tabela 1. Constantes das Cartas de Controle (adaptado de IQA, 1990).**

Número de observações	$D_3$	$D_4$
4	0	2,282
5	0	2,115
6	0	2,004
7	0,076	1,924
8	0,136	1,864

Caso algum valor de amplitude (R) ultrapasse os limites de controle, as leituras que o produziram devem ser refeitas sob as mesmas condições inicialmente adotadas, ou descartadas, recalculando todos os parâmetros necessários. Em seguida, são calculados os parâmetros de interesse por meio das Equações (1) e (4) a (7) (IQA, 1997).

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

$$VO = \sqrt{(\bar{X}_{DIF} \cdot K_2)^2 - (VE^2/n \cdot r)} \quad (5)$$

$$VP = R_p \cdot K_3 \quad (6)$$

$$VT = \sqrt{R \& R^2 + VP^2} \quad (7)$$

Onde VP é um termo chamado Variação Peça a Peça; VT chamado de Variação Total;  $n$  é o número de peças;  $r$  é o número de medições; e  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_3$  são valores que dependem de  $d_2$ , retirado da Tab. 2 segundo um termo  $m$  e o produto entre número de amostras e número de operadores ( $g$ ). Para  $K_1$ ,  $m$  é o número de medições; para  $K_2$ , o número de operadores; para  $K_3$ , o número de peças, sendo que para os dois últimos se assume  $g$  igual a 1. Os valores  $K$  são todos calculados analogamente, através da expressão dada pela Eq. (8):

$$K = 5,15/d_2 \quad (8)$$

**Tabela 2. Valores da constante  $d_2$  em função de  $m$  e  $g$  (Junior e Souza, 2008).**

d <sub>2</sub>		m								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
g	1	1,41	1,91	2,24	2,48	2,67	2,83	2,96	3,08	3,18
	2	1,28	1,81	2,15	2,40	2,60	2,77	2,91	3,02	3,13
	3	1,23	1,77	2,12	2,38	2,58	2,75	2,89	3,01	3,11
	4	1,21	1,75	2,11	2,37	2,57	2,74	2,88	3,00	3,10
	5	1,19	1,74	2,10	2,36	2,56	2,73	2,87	2,99	3,10
	6	1,17	1,73	2,09	2,35	2,56	2,73	2,87	2,99	3,10
	7	1,17	1,73	2,09	2,35	2,55	2,72	2,87	2,99	3,10
	8	1,16	1,72	2,08	2,35	2,55	2,72	2,87	2,98	3,09
	9	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09
	10	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09
	11	1,15	1,71	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09
	12	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,72	2,85	2,98	3,09
	13	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,71	2,85	2,98	3,09
	14	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,85	2,98	3,08
	15	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,85	2,98	3,08
	>15	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078

Finalmente, calcula-se o valor percentual, referente a VT, do parâmetro R&R, obtendo um valor %R&R, o qual será analisado com base nas relações a seguir:

- 1) se %R&R < 10%, o processo de medição é aceitável;
- 2) se 10% < %R&R < 30%, o processo de medição pode ser aceitável, dependendo da importância da aplicação, custo do sistema de medição e dos custos para obter melhorias;
- 3) se %R&R > 30%, o processo de medição não é aceitável e precisa ser melhorado.

### 3. METODOLOGIA

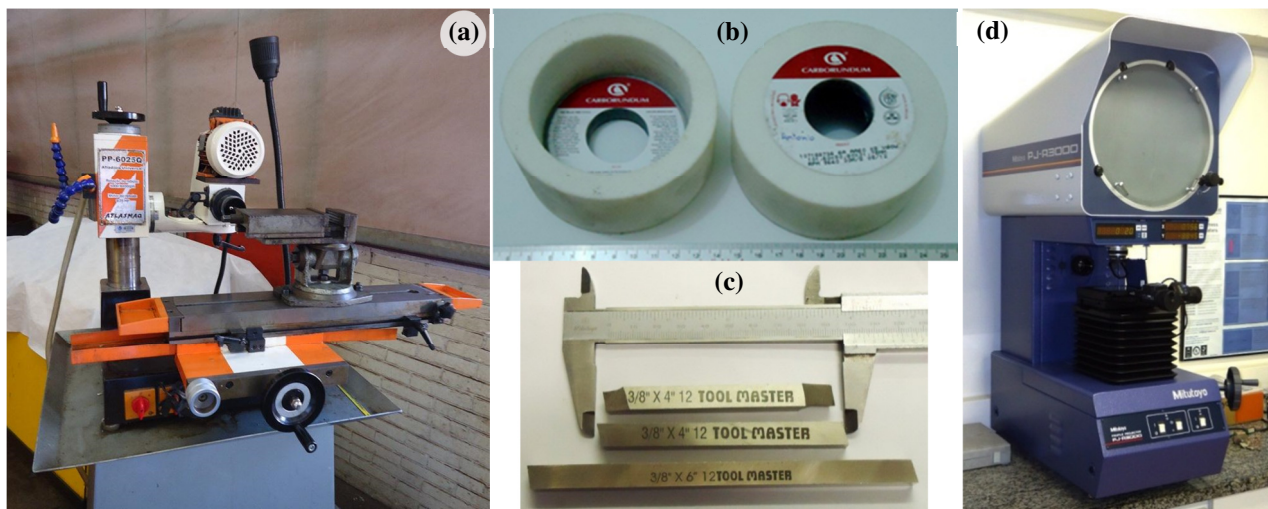
Os ensaios de afiação das ferramentas foram realizados em uma máquina afiadora universal AtlasMq, modelo PP-6025Q – 0,75 HP (Fig. 2a). O rebolo utilizado foi o de óxido de alumínio branco ( $Al_2O_3$ ) do tipo copo reto (Fig. 2b), designação 6A AA46 K8V40W e com dimensões: 101,6mm de diâmetro x 50,8mm de espessura x 31,75mm de diâmetro interno, do fabricante Carborundum.

Foram utilizados 4 bits de aço rápido (HSS - 12% Co) na forma de barra retangular com dimensões de 4" (101,600mm) de comprimento e 3/8" (9,525mm), e mais um bit de mesma seção transversal, mas com 6" (152,400mm) de comprimento (Fig. 2c). As barras seccionadas e resultaram em barras menores com 50mm de comprimento. Foram utilizadas as duas extremidades para a afiação, totalizando 20 amostras.

Os ângulos do bit previamente escolhidos foram:  $8^\circ$  para  $\chi_r$ ,  $16^\circ$  para  $\chi'_r$  e  $10^\circ$  para  $\alpha_o$ . O motivo pela seleção de ângulos menores foi a menor remoção de material.

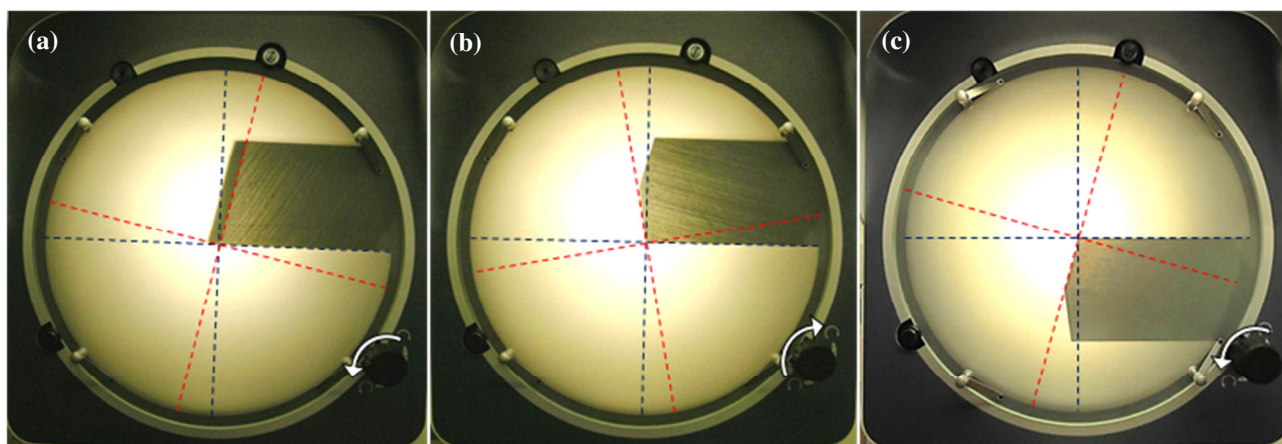
Para o processo de afiação, utilizou-se a rotação de 5000rpm da máquina, que resultou em velocidade de corte ( $V_s$ ) de 27m/s. O avanço da mesa foi manual, comandado pelo operador. Dois valores de profundidade de corte ( $a_p$ ), 0,06mm e 0,12mm, foram utilizados para verificar se este parâmetro exerce ou não influência nos resultados de R&R.

Para a medição dos ângulos após a usinagem foi utilizado um projetor de perfil marca MITUTOYO, modelo PJ A3000, resolução 1' (Fig. 2d). Este projetor possui certificado de calibração nº 12137/12, emitido pelo Laboratório de Metrologia da Mitutoyo Sul-Americana, cujos dados foram utilizados posteriormente para estimativa de incerteza de medição.



**Figura 2. (a) Afidadora Universal Atlasmaq utilizada; (b) Rebolos de  $Al_2O_3$ ; (c) Bits de HSS e; (d) Projetor de PJ A3000.**

Nas Figuras 3a, 3b e 3c são mostradas as imagens das peças (bits) na tela do projetor e já posicionadas para a medição dos ângulos. Por meio da movimentação da mesa de coordenadas e transferidor de ângulos do equipamento, e com auxílio das linhas tracejadas (azul e vermelho) é possível verificar os ângulos obtidos. A linha azul representa a posição inicial das linhas de referência da tela, enquanto que a cor vermelha indica a posição final dessas linhas quando adotado o sentido de rotação do botão de regulagem conforme indicado pela seta e sistema incremental.



**Figura 3. Imagem projetada na medição do ângulo (a) de folga; (b) de posição principal; (c) de posição secundário.**

O processo de afiação e medição foi realizado por dois operadores (A e B), onde os bits afiados pelo operador A tem nomenclatura AX, e os afiados por B, BX. Cada operador gerou 10 cunhas, identificando os bits de A1 a A10 para o operador A, e de B1 a B10 para o B, onde a relação de amostras afiadas por cada operador e com cada  $a_p$  diferente está descrito na Tab. 3. Os dois operadores procederam a medição de todas as 20 peças, realizando cinco leituras para cada um dos três ângulos de cada peça.



**Tabela 3. Relação entre amostras e parâmetros.**

Operador	ap (mm)	0,06	0,12
A		A1, A2, A3, A7, A8	A4, A5, A6, A9, A10
B		B1, B2, B3, B7, B8	B4, B5, B6, B9, B10

Após a obtenção de todas as leituras realizou-se o preenchimento das cartas de controle R&R, seguindo o procedimento descrito nas próprias cartas.

Em seguida foi realizada uma avaliação de incerteza sobre os valores de amplitude obtidos no processo de medição a fim de avaliar se eles estejam abaixo ou acima do valor limite,  $LSC_R$ .

Os cálculos para obtenção dos parâmetros de incerteza foram realizados conforme o ISO/TAG 4/WG 3 (2008)e INMETRO (2012b), utilizando o programa desenvolvido por Moraes (2011).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise R&R

Os resultados obtidos durante a medição dos ângulos no projetor de perfil são apresentados na Tab. 4, onde  $\bar{x}_A$  é a média de cinco leituras efetuadas pelo Operador A para cada amostra,  $\bar{x}_B$  os para o Operador B e  $\bar{x}$  a média das dez leituras de ângulo obtidas para uma mesma amostra.

**Tabela 4. Resultado das medições.**

Média das Medições		folga (ref.=10°)			pos. principal (ref.=8°)			pos. secundário (ref.=16°)		
		$\bar{x}_A$	$\bar{x}_B$	$\bar{x}$	$\bar{x}_A$	$\bar{x}_B$	$\bar{x}$	$\bar{x}_A$	$\bar{x}_B$	$\bar{x}$
Amostra	A1	12°10'	12°05'	<b>12°07'</b>	8°02'	8°14'	<b>8°08'</b>	16°07'	16°12'	<b>16°10'</b>
	A2	12°17'	12°30'	<b>12°24'</b>	7°47'	7°58'	<b>7°52'</b>	15°57'	15°55'	<b>15°56'</b>
	A3	12°17'	11°52'	<b>12°04'</b>	7°40'	7°45'	<b>7°43'</b>	15°46'	15°51'	<b>15°49'</b>
	A4	12°07'	12°03'	<b>12°05'</b>	7°46'	7°50'	<b>7°48'</b>	16°00'	16°11'	<b>16°05'</b>
	A5	12°19'	12°19'	<b>12°19'</b>	7°56'	7°58'	<b>7°57'</b>	16°15'	16°13'	<b>16°14'</b>
	A6	12°20'	12°10'	<b>12°15'</b>	7°36'	7°36'	<b>7°36'</b>	16°09'	16°16'	<b>16°12'</b>
	A7	13°39'	13°24'	<b>13°31'</b>	7°57'	7°57'	<b>7°57'</b>	16°08'	16°15'	<b>16°11'</b>
	A8	11°51'	11°44'	<b>11°47'</b>	7°57'	8°02'	<b>7°60'</b>	16°05'	16°22'	<b>16°14'</b>
	A9	12°36'	12°01'	<b>12°19'</b>	7°35'	7°54'	<b>7°45'</b>	16°13'	16°24'	<b>16°19'</b>
	A10	12°33'	12°15'	<b>12°24'</b>	7°53'	8°00'	<b>7°57'</b>	16°22'	16°04'	<b>16°13'</b>
	B1	12°51'	12°21'	<b>12°36'</b>	7°45'	7°41'	<b>7°43'</b>	15°54'	15°57'	<b>15°55'</b>
	B2	12°15'	12°11'	<b>12°13'</b>	7°39'	7°34'	<b>7°36'</b>	15°54'	16°08'	<b>16°01'</b>
	B3	12°09'	12°06'	<b>12°08'</b>	7°57'	7°55'	<b>7°56'</b>	16°06'	15°48'	<b>15°57'</b>
	B4	11°57'	11°41'	<b>11°49'</b>	7°43'	8°01'	<b>7°52'</b>	15°60'	16°09'	<b>16°04'</b>
	B5	12°46'	12°09'	<b>12°28'</b>	7°45'	7°55'	<b>7°50'</b>	16°03'	16°11'	<b>16°07'</b>
	B6	12°30'	12°20'	<b>12°25'</b>	7°60'	8°05'	<b>8°03'</b>	15°54'	16°13'	<b>16°03'</b>
	B7	12°18'	12°07'	<b>12°12'</b>	7°47'	7°56'	<b>7°52'</b>	16°09'	16°09'	<b>16°09'</b>
	B8	12°35'	12°23'	<b>12°29'</b>	8°01'	7°59'	<b>8°00'</b>	16°14'	16°17'	<b>16°16'</b>
	B9	12°25'	12°26'	<b>12°26'</b>	8°14'	8°17'	<b>8°16'</b>	15°57'	16°11'	<b>16°04'</b>
	B10	12°37'	11°34'	<b>12°06'</b>	8°04'	8°17'	<b>8°10'</b>	16°03'	16°32'	<b>16°18'</b>

Com os valores das medidas introduzidas nas cartas de controle, seguindo o procedimento citado anteriormente, obtém-se os valores da variação percentual dos parâmetros em questão, que são %VE, %VO e %R&R (obtidos em relação à variação total, VT), cujos valores podem ser vistos na Tab. 5.

**Tabela 5. Resultados dos cálculos dos parâmetros R&R.**

Ângulo	Repetibilidade (%VE)	Reprodutibilidade (%VO)	Repetibilidade e Reprodutibilidade (%R&R)
Folga ( $\alpha_o$ )	10%	30%	32%
Pos. Principal ( $\chi_r$ )	20%	28%	34%
Pos. Secundário ( $\chi'_r$ )	27%	39%	48%

Das tabelas 4 e 5 podem ser feitos os seguintes comentários.

Para o ângulo de folga, observa-se um R&R de 32%, que, mesmo não atendendo aos critérios, foi o melhor resultado dos três ângulos medidos, o que se deve ao fato de a escala para ajuste deste ângulo se apresentar mais íntegra, facilitando a visualização. O valor esperado era de 10° e, em média, foram obtidos ângulos de folga com 12°19', o que leva à identificação de um possível erro sistemático que causa a abertura de aproximadamente 2° a mais no ajuste deste ângulo. Este erro pode estar relacionado com alguns parâmetros que são inerentes ao processo, como a escala circular da articulação da máquina-ferramenta poderia estar mal posicionada na máquina, ou a morsa (utilizada para prender as amostras) poderia estar desalinhada com a mesa, pois possui uma articulação que também permite a rotação desta no sentido de abertura/fechamento do ângulo de folga.

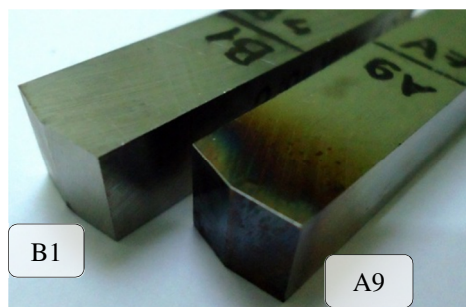
Para os ângulos de posição primário e secundário, os critérios de R&R de 34% e 48%, respectivamente, podem ser explicados pela má condição da escala presente na morsa e pelos ajustes feitos por operadores diferentes (erro aleatório). Esperava-se que os ângulos de posição primários fossem de 8°, assim como que os de posição secundários fossem de 16°, mas em média eles foram respectivamente de 7°54' e de 16°07', demonstrando que não existe um erro sistemático grave no sistema.

Em geral, dos resultados na tabela 5, foi possível observar que o processo de afiação de ferramentas (bits) nas condições investigadas não atende aos critérios de repetibilidade e reprodutibilidade, considerando que, para o processo de afiação, o limite de 30% seria aceitável devido ao baixo custo do bit (frente a ferramentas mais de geometria mais complexas e de maior custo que são normalmente utilizadas em usinagem) e por ser mais utilizado em operações de desbaste do que de acabamento. Esses resultados indicam, portanto, que o processo de afiação deve ser melhorado. Para isso, sugere-se utilizar uma morsa mais rígida para apoiar e prender as amostras. Este fator, provavelmente, foi aquele que mais influenciou negativamente nos resultados. Além disso, um melhor treinamento dos operadores, tanto para o processo de afiação quanto para o de medição, pode contribuir para o melhoramento dos resultados da análise de R&R do processo.

#### 4.2. Influência da profundidade de corte

Por uma análise visual simplista dos resultados obtidos para valores dos ângulos, observa-se pouca variação nos valores dos ângulos das diferentes ferramentas afiadas em função dos valores de profundidade de corte ( $a_p$ ).

Na Figura 4 são apresentadas com detalhe as cunhas de duas amostras a fim de demonstrar a diferença identificada entre o estado final da amostra afiada com o menor valor de  $a_p$  (B1), e daquela afiada o maior valor de  $a_p$  (A9).

**Figura 4. Amostras A9 e B1 após afiação.**

A maioria das amostras afiadas com  $a_p=0,06\text{mm}$  não desenvolveram franjas de calor. As franjas apareceram em todas as amostras afiadas utilizando  $a_p=0,12\text{mm}$  devido ao maior esforço desenvolvido na ferramenta e na peça.

#### 4.3. Análise da influência da incerteza

Como já comentado previamente, foram utilizadas planilhas desenvolvidas por Moraes (2011) para o cálculo de incerteza. Nelas foram inseridas os valores para as amplitudes obtidas neste trabalho, bem como as informações do

certificado de calibração do projetor de perfil. As planilhas fornecem uma série de dados, dentre os quais foi obtido o valor de incerteza expandida.

Por meio dos valores de amplitude, acrescidos do valor de incerteza expandida, observou-se que a dispersão desses fez com que o valor calculado para  $LSC_R$  fosse ultrapassado para algumas amostras, para as quais foi calculado o risco do valor assumir valores acima do limite. Com isso, apenas 20 pontos de estudo resultaram em risco diferente de zero, representando 16,7% do total de pontos analisados (120 pontos: 20 amplitudes por operador e por cada um dos 3 ângulos) e, dentre eles, 55% dos valores estão abaixo de 10% (considerado para este trabalho um risco muito baixo). Portanto, existe a evidência da presença de um baixo risco de as amostras estarem acima do  $LSC_R$  e, consequentemente, de influenciarem na validade dos resultados da análise R&R previamente calculados.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados e discussões apresentados, as seguintes conclusões podem ser retiradas deste trabalho:

- i. Foi identificado um erro sistemático de aproximadamente  $2^\circ$  na geração do ângulo de folga, que pode ser resolvido ao corrigir-se um possível erro de alinhamento da morsa com a mesa ou ao deslocar a escala circular da máquina-ferramenta de  $2^\circ$  para baixo;
- ii. Não foram observadas diferenças significativas entre os ângulos gerados nas peças usinadas com os valores de profundidade de corte de 0,06mm e 0,12mm, mas notou-se uma diferença relativa ao aspecto das peças, pois superfícies das amostras afiadas com  $a_p=0,12\text{mm}$  sofreram maior aquecimento, identificadas por franjas térmicas mais proeminentes nas cunhas geradas, o que pode ser resolvido com a utilização de fluido de corte no processo;
- iii. Foi observado que o ângulo de folga possui R&R de 32%, resultado esse que se deve provavelmente ao fato de a escala para ajuste deste ângulo se apresentar mais íntegra, facilitando a visualização, apesar do erro sistemático de aproximadamente  $2^\circ$ .
- iv. Os resultados das medições realizadas pelos dois operadores se mostraram bastante similares e com poucas variações;
- v. O processo pode ser melhorado através de um melhor treinamento dos operadores, tanto no processo de afiação quanto no de medição, e da utilização de uma morsa mais moderna;
- vi. Através da análise de incerteza, observou-se um baixo risco de que os resultados obtidos pela medição dos ângulos afetem a validade da análise R&R;
- vii. Embora o processo de afiação de bits de HSS na máquina afiadora universal não tenha atendido tecnicamente aos critérios de repetibilidade e reprodutibilidade adotados para este trabalho, esta máquina pode ser utilizada para a afiação de bits onde a exigência por tolerâncias mais apertadas dos ângulos não é priorizada.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES-PROEX e à FAPEMIG pelo apoio financeiro recebido via PPM-VII, Processo Nº: PPM-00265-13 e Projeto nº FAPEMIG2012-ENG024, bem como ao Laboratório de Ensino e Pesquisa de Usinagem e ao Laboratório de Metrologia Dimensional da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- CIMM, Centro de Informação Metal Mecânica. 1997-2012. *Ângulos da Ferramenta*. Disponível em <[http://www.cimm.com.br/portal/noticia/material\\_didatico/3569#.UCvnot1IT9w](http://www.cimm.com.br/portal/noticia/material_didatico/3569#.UCvnot1IT9w)> Acesso em 30 de julho de 2012.
- de Mello, A. V.; Silva, G. H. 2013. *Estudo da repetibilidade e da reprodutibilidade do processo de afiação de bits de HSS*. 99p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.
- INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. 2012b, *Qualidade e Tecnologia, Avaliação de dados de medição: guia para expressão de incerteza de medição (GUM 2008)*. Duque de Caxias, RJ. 1ª edição brasileira.
- INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. 2012a, *Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia (VIM 2012)*. Portaria nº 232 de 08 de maio de 2012 / INMETRO. Duque de Caxias, RJ. 1ª edição luso-brasileira.
- IQA, Instituto da Qualidade Automotiva. 1990, *Análise dos Sistemas de Medição (MSA)*. Manual de Referência; Primeira Edição Americana Publicada em Outubro de 1990.
- IQA, Instituto da Qualidade Automotiva. 1997, *Fundamentos de Controle Estatístico do Processo, CEP*. Primeira Edição Brasileira Publicada em Junho de 1997.
- Junior, A. A. G.; Sousa, A.R. 2008; *Fundamentos da Metrologia científica e Industrial*. Editora Manole.
- Moraes, M. A. F. 2011. *Desenvolvimento de Planilhas Eletrônicas para Calcular Incerteza de Medição*. 101p. Monografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

## RESPONSABILIDADE AUTORAL



Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

## **Average and range method and measure uncertainty analysis of lathe tools sharpened with $\text{Al}_2\text{O}_3$ grinding wheel**

**Antonio Vitor de Mello, antoniovitor.82mecnica@gmail.com<sup>1</sup>**

**Rosemar Batista da Silva, rsilva@mecnica.ufu.br<sup>1</sup>**

**Rosenda Valdés Arencibia, arvaldes@mecnica.ufu.br<sup>1</sup>**

**Gabriel Henrique Silva, hs\_gabriel@hotmail.com<sup>1</sup>**

**Marcelo do Nascimento Souza, mnascimento28@yahoo.com.br<sup>1</sup>**

**Luciano Antônio Fernandes, luciano\_uvu@yahoo.com.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Federal University of Uberlândia – School of Mechanical Engineering – Uberlândia – MG

<sup>2</sup> Federal University of Triângulo Mineiro – Department of Mechanical Engineering – Uberaba – MG

**Abstract:** *The tool sharpening process is a specific type of grinding process that is largely used in factories, laboratories and industries that work with machining processes, because it allows to restore the cutting edge of worn tools, thus representing savings over the purchase of new tools. However, in many cases, this machining process is performed in machines that operated manually without any major concerns of the operator with the accuracy or even the quality of the angles generated. In this context, this study was carried out to measure the repeatability and reproducibility (R&R) in the sharpening process of steel lathe tool bits. The angles of the tool cutting edge were machined in a universal cutter grinder machine with a alumina abrasive wheel under dry condition. They were measured and results treated by statistical analysis using the average and range method. The results showed that there were no repeatability and reproducibility of the process. By the uncertainty analysis it was observed a low risk that the results obtained by measuring the angles affect the validity of the analysis R&R. During the analysis of the results a systematic error was identified in the grinding process and suggestions for correct it are presented. The results also indicated negligible influence of varying the depth of cut on the repeatability and reproducibility of the process, but, as expected, it adversely affected the quality of the lathe tool bits.*

**Keywords:** *Machining, Sharpening, Tool angles, R&R Cards, Average and range method.*