

INFLUÊNCIA DO CICLO DE FURAÇÃO NA VIDA DE BROCAS HELICOIDAIS E NA QUALIDADE GEOMÉTRICA DOS FUROS

Hélio Antônio da Silva, helio@araxa.cefetmg.br¹

Eder Silva Costa eder@divinopolis.cefetmg.br²

Rosenda Valdés Arencibia, arvaldes@terra.com.br³

Rodrigo de Azambuja Montandon Ribeiro, rodrigoazambuja.net@hotmail.com⁴

Sergio Abrão Retes, sergio.retes@gmail.com⁵

Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br⁶

¹ CEFET, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais- Campus IV, Av Ministro Olavo Drummond, 25, B. São Geraldo, CEP: 38180084, Araxá-M.G., Brasil

^{2,3,4,5,6} Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2.121, Uberlândia – MG, 38.408-100, Brasil.

Resumo: O presente trabalho investiga a influência do ciclo de furação (contínuo e intermitente) na vida de brocas helicoidais de aço rápido, revestidas com multicamadas de TiN-TiAlN e diâmetro de 10 mm, durante a usinagem do ferro fundido cinzento GH-190. Para tanto, foi proposto um planejamento fatorial fracionário 2^{4-1} . Foram usinados furos cegos com profundidade de 40 mm. Para efeito de comparação foi realizada a furação direta e intermitente (com 3 paradas e recuo da broca de 1 mm). Os demais parâmetros de corte utilizados durante a furação foram: velocidades de corte de 45 e 65 m/min; avanços de 0,20 e 0,30 mm/rev; refrigeração a seco e com jorro. A vida da ferramenta foi quantificada em termos de número de furos usinados, sendo que os ensaios foram realizados até que ocorresse o colapso da ferramenta. Foi investigada, também, a qualidade geométrica dos furos através da medição da rugosidade superficial e dos desvios de circularidade e de cilindricidade de cinco furos para cada ensaio. Os resultados mostraram que a vida das brocas não tiveram influencia significativa das variáveis estudadas e o ciclo intermitente, em geral, produz desvios de circularidade e cilindricidade menores.

Palavras-chave: Ciclo de furação, vida da broca, acabamento superficial, desvios de circularidade e cilindricidade.

1. INTRODUÇÃO

Há 4000 anos os egípcios já utilizavam a furação para cortar blocos de pedra, através da abertura de furos paralelos muito próximos uns aos outros por meio de furadeiras manuais, chamadas de furadeiras de arco. Atualmente, a importância deste processo pode ser avaliada através do consumo mundial de brocas sendo de aproximadamente 250 milhões de unidades por ano (Amorim, 2003; e Viana, 2004).

Apesar da sua importância, o processo de furação ficou estagnado durante muitos anos devido à necessidade de alta rotação e rigidez das máquinas de furação. O surgimento de novos revestimentos (TiC, TiN, TiAlN, Al₂O₃, etc.), materiais (metal duro, cerâmica, nitreto de boro cúbico, diamante, etc.) e geometrias para ferramentas de corte foram absorvidos inicialmente pelos processos de torneamento e fresamento e não na furação. As dificuldades de utilizar estas novas tecnologias na furação se devem à falta de máquinas adequadas. Para exemplificar, uma broca de 10 mm para ser utilizada em um material ferroso convencional com velocidade compatível ao metal duro (± 200 m/min) demandaria uma rotação de 6400 rpm, o que é bastante alta para as furadeiras convencionais. Porém, nos últimos anos com a introdução de centros de usinagem CNC de alta rotação e rigidez, muitos desses revestimentos, materiais e geometrias têm sido incorporados ao processo de furação, o que trouxe significativos avanços para o mesmo. De qualquer forma, a broca helicoidal de aço-rápido, com ou sem cobertura ainda é a ferramenta mais utilizada no processo de furação atualmente no Brasil, tornando este lento (Diniz et al., 2006).

Os modernos centros de usinagem CNC possuem ciclos de furação capazes de usar furos com sucessivas penetrações, podendo a ferramenta recuar até um plano de referência para eliminar cavacos, ou recuar cerca de 1 mm para quebrar o cavaco (De Castro, 2001). Os ciclos de usinagem são utilizados para operações tais como furar, rosquear com macho, fresar rasgos para chaveta, cavidades retangulares e circulares. A Norma DIN 66025 (1988) define bem esses ciclos como seqüência de movimentos necessária para a operação de furação, rosqueamento, etc.

O processo de furação possui várias particularidades, que são fatores complicadores do processo, dentre as quais podemos citar (De Castro, 2001):

- O processo de geração do cavaco é interno (escondido) e existe um espaço limitado nos canais para a remoção dos cavacos. Com isso o transporte dos mesmos para fora da região de corte é dificultado;
- A velocidade de corte não é uniforme, variando desde zero, no centro do furo, até um máximo na periferia, sendo isto um grande problema;
- A lubrificação/refrigeração da região de corte é comprometida, pois o fluido de corte chega com dificuldade (ou não chega) à parte de trabalho da ferramenta;
- Há uma distribuição inadequada de calor na região de corte;
- Ocorrem atrito e desgaste pronunciado nas quinas com cantos vivos.

Os fatores citados anteriormente unidos às inexactidões das máquinas-ferramentas criam condições para o surgimento de desvios dimensionais e geométricos nos furos usinados. Estes desvios se não controlados podem comprometer o bom funcionamento dos componentes mecânicos. Dentre eles os de cilindridade, circularidade e rugosidade superficial apresentam maior importância nos processos de furação (Novaski, 1994).

A NBR 6409 (1997) define a tolerância da circularidade, na seção de medição, como sendo a distância entre dois círculos concêntricos afastados de uma distância “t”. Enquanto que o campo de tolerância para a cilindridade é limitado por dois cilindros coaxiais, afastados de uma distância “t”.

O desvio de cilindridade pode ocorrer na furação de furos profundos com brocas helicoidais, através da penetração da ferramenta, em consequência da diferença de comprimento das arestas cortantes ou da furação de superfícies inclinadas. Quando o sistema de fixação não está paralelo à direção de trabalho e as peças são muito longas, o diâmetro do furo pode variar ao longo de seu comprimento, resultando em uma forma cônica. O desvio de circularidade pode surgir devido principalmente à ocorrência de batimentos da broca. Por sua vez, a rugosidade superficial aparece como consequência das marcas de avanço da ferramenta na peça, sendo influenciada, também, por outros fatores, como: raio de ponta da ferramenta, rigidez do sistema, fluido de corte, velocidade de corte, etc.

Atualmente, todo resultado de medição deve estar acompanhado da incerteza de medição associada. Segundo o VIM (2008) a incerteza de medição é um parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas. Para estimar a incerteza deve ser utilizado o procedimento proposto pelo ISO GUM (2003).

O objetivo deste trabalho é investigar a influência do ciclo de furação (contínuo e intermitente) no desgaste das brocas e na qualidade dos furos usinados. A qualidade dos furos será avaliada através dos desvios de circularidade, cilindridade e da rugosidade superficial. Foram variadas, também, a velocidade de corte, o avanço e o sistema lubrificante utilizado. Existem na literatura muitas pesquisas que verificam a influência de parâmetros de corte ou técnicos (fluido de corte, material de ferramentas, revestimentos, material da peça, etc.) na furação, mas poucas são as pesquisas que consideram a estratégia (ou ciclo) de furação.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios de furação foram realizados em um Centro de Usinagem Vertical CNC Discovery - modelo 760, fabricado pelas Indústrias Romi S.A. em parceria com a Bridgeport Inc. Fig. (1). Esses ensaios foram executados com a broca em posição vertical, sentido descendente, sem pré-furo e sem furo de centro. Em cada placa de teste foram usinados 64 furos não passantes com profundidade de 40 mm conforme detalhe na Fig. (1). As ferramentas de corte utilizadas nos ensaios experimentais foram brocas helicoidais de aço rápido, maciças, com o corte no sentido horário, e com duas arestas cortantes, revestidas com multicamadas de TiN e TiAlN (EX-BDR-futura, da Oerlikon Balzers S.A.).



Figura 1. Centro de usinagem vertical CNC utilizado nos testes de furação e uma peça de ferro fundido furada, em detalhe.

Os parâmetros de corte utilizados se encontram ilustrados na Tab. (1). O número de paradas zero, indica que a furação foi direta ou contínua (sem paradas) e o número de paradas três indica que a broca avançou 13,33 mm antes de cada parada até atingir o comprimento total de furação (40 mm).

Tabela 1. Parâmetros de corte utilizados nos ensaios de furação

Parâmetros	
Nº de paradas	0 e 3
Velocidade de corte (Vc)	45 e 65 (m/min)
Avanço (f)	0,20 e 0,30 (mm/rev)
Sistema lubri-refrigerante	Seco e Jorro

O experimento foi baseado em um planejamento fatorial fracionário 2^{4-1} , sendo os efeitos e níveis de significância das variáveis determinados pelo programa Statistica® 7.0 Com o emprego desse planejamento foi possível analisar a influência do ciclo de furação através de uma matriz de planejamento com oito ensaios. A Tab. (2) indica as variáveis empregadas para o planejamento.

Tabela 2. Matriz de planejamento

Ensaio nº	Nº de paradas	Vc (m/min.)	f(mm/rev.)	fluido
1	0	45	0,20	S
2	3	45	0,20	J
3	0	65	0,20	J
4	3	65	0,20	S
5	0	45	0,30	J
6	3	45	0,30	S
7	0	65	0,30	S
8	3	65	0,30	J

O material dos corpos de provas foi o ferro fundido cinzento GH-190 na forma de chapas com dimensões 500 x 200 x 45 mm. As superfícies de entrada dos furos foram fresadas com o objetivo de eliminar o acabamento bruto de fundição e de ajustar a espessura. A composição química e outras características do material estão mostradas na Tab. (3).

Tabela 3. Características do ferro fundido cinzento - GH 190 (fonte: Santos, 1999).

Composição química (%)					Características estruturais			Dureza (HV)
C	Si	Cr	S	P	Matriz	Grafita	Cementita e carbono livre	200
3,20 – 3,50	2,00 – 2,50	≤ 0,20	≤ 0,15	≤ 0,10	Perlita lamelar máxima 5% de ferrita	Tipos B e D	Máx. 1%	

A qualidade dos furos usinados foi avaliada através da medição dos desvios geométricos de cilindridade, de circularidade e do acabamento superficial, representado pelos parâmetros de rugosidades R_a e R_z . A estratégia adotada para medições destes parâmetros, uma vez que medir todos os furos é impraticável, foi considerar o segundo furo e os furos que representam 25, 50, 75 e 90% da vida das brocas, medindo-se também o furo anterior e posterior a estes.

Os desvios geométricos de circularidade e cilindridade foram medidos utilizando-se uma máquina para medições de desvios de forma modelo Talyrond 131 fabricado pela Taylor Hobson Fig. (2). Este instrumento apresenta resolução de 0,01 μm e capacidade de medição de até 370 e 225 mm para o diâmetro e a altura, respectivamente. O processo de medição foi controlado por um computador com um software dedicado, onde para tanto foi informado o número de planos de medição e o espaçamento entre eles. Além de movimentar a ponta de medição e de girar a peça, o programa armazena e processa os dados, apresentando os valores numéricos dos desvios e sua representação gráfica.

Com o objetivo de verificar a forma geométrica dos furos, a circularidade foi medida em cinco planos ao longo dos mesmos. As distâncias dos planos à borda de entrada do furo foram: 11,0 mm; 17,0 mm; 23,0 mm; 29,0 mm e 35,0 mm. Para obter o valor dos desvios de circularidade, o software traça o perfil real da parede do furo. Este perfil foi determinado pela trajetória da esfera de rubi da ponta de medição, que percorria toda a circunferência determinada pelo plano de medição. Sobre o perfil real foram traçadas duas circunferências, a maior inscrita e a menor circunscrita. A diferença radial entre estas duas circunferências foi o valor atribuído ao erro de circularidade.

Os desvios de cilindridade, por sua vez, foram medidos simultaneamente com os de circularidade, ou seja, utilizou-se o mesmo programa. Para calcular a cilindridade o software traça o perfil real do cilindro, gerado pelo deslocamento da ponta de medição ao longo dos furos, nos cinco planos pré-definidos. Sobre o cilindro real foram traçados dois cilindros, o maior inscrito e o menor circunscrito. A diferença radial entre estes dois cilindros foi considerada como sendo o erro de cilindridade.



Figura 2. Máquina de medir desvios de forma modelo Talyrond 131 (Taylor Hobson).

O acabamento superficial das paredes dos furos usinados foi avaliado através da medição dos parâmetros de rugosidades R_a e R_z . Para tanto foi utilizado um rugosímetro portátil Surtronic 3+ modelo 112/1590 fabricado pela Taylor Hobson Fig. (3). Este instrumento possui agulha de diamante com raio de ponta de 5 μm , resolução de 0,01 μm e trabalha com carga de 150 a 300 mg.



Figura 3. Rugosímetro utilizado na medição da rugosidade superficial.

A medição da rugosidade foi realizada nos mesmos furos selecionados para medição dos desvios geométricos. Inicialmente, através da medição do R_a , foi determinado o comprimento de amostragem (*cut-off*) adequado, sendo de 2,5 mm (NBR ISO 4288, 2008). A rugosidade dos furos analisados foi medida em três locais diferentes nas paredes dos furos, localizados a 15, 25 e 35 mm da borda do furo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para cada ensaio foram realizadas três corridas, ou seja; um teste e duas réplicas e a média de furos entre as corridas foi o valor considerado para a vida das brocas. A Tab. (4) ilustra os resultados de vida das brocas.

Tabela 4. Resultados da matriz do planejamento – Recuo: 1 mm.

Ensaio n°	N° de paradas	Vc (m/min.)	f (mm/rev.)	fluido	Teste	1° Rep.	2° Rep.	Média
1	0	45	0,20	S	41	29	28	32,70
2	3	45	0,20	J	62	110	305	159,00
3	0	65	0,20	J	5	5	5	5,00
4	3	65	0,20	S	3	3	3	3,00
5	0	45	0,30	J	94	291	293	226,00
6	3	45	0,30	S	45	34	34	37,67
7	0	65	0,30	S	3	3	2	2,70
8	3	65	0,30	J	4	6	6	5,30

Para proceder à análise estatística dos dados foi utilizado o programa Statistica® 7.0 que gerou o quadro de ANOVA (análise de variância). A Tab. (5) ilustra os resultados dos principais efeitos para a matriz do planejamento.

Tabela 5. Principais efeitos.

	Efeitos	p
Nº de parada: 0 →3	-15,36	0,76
Velocidade Corte: 45→65	-109,84	0,10
Avanço: 0,2→0,3	17,99	0,73
Refrigeração: Seco→Jorro	79,81	0,19

A Tab. (5) mostra os principais efeitos onde se destaca o peso da velocidade de corte na vida das ferramentas. Porém, como ficou comprovada pelo índice “p”, nenhuma variável foi significativa para uma confiabilidade de 95% devida á ocorrência de maior flutuação dos dados entre testes e réplicas. Esta circunstância pode ser creditada aos fatores complicadores do processo como já mencionados e fatores que provavelmente podem ter como origem a microestrutura do material que não chega a ser completamente homogênea devido a inclusões de carbonetos, possível ocorrência de vazios advindos do processo de fundição e a expulsão dos cavacos descontínuos de dentro dos furos. Entretanto, análises de tendências podem ser feitas para essas variáveis, como ilustrado na Fig. (4).

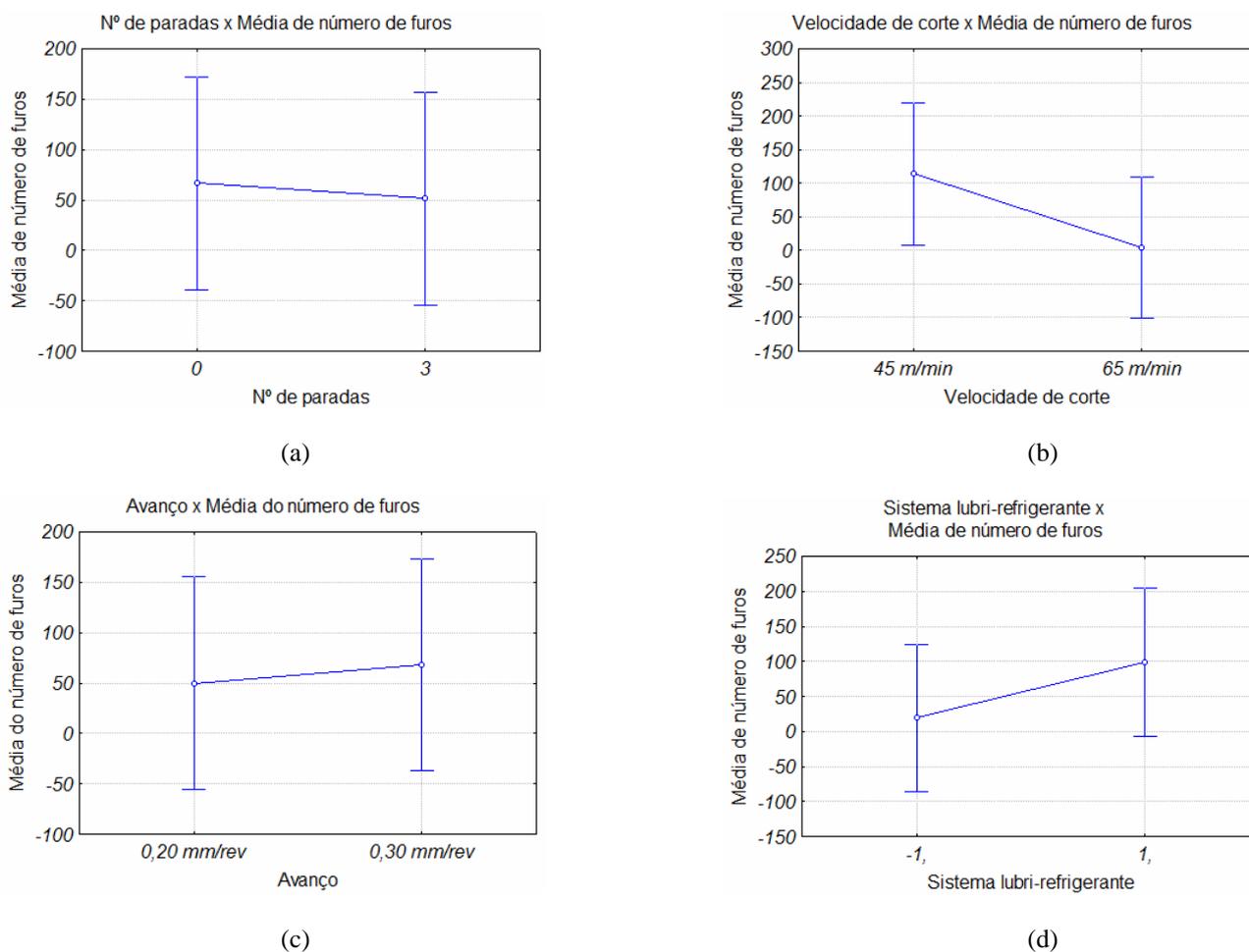


Figura 4. Gráficos de tendências das vidas das brocas: (a) nº de paradas; (b) velocidade de corte; (c) avanço; (d) refrigeração.

Quando aumenta o número de parada durante a furação de 0 (direta) para 3 Fig. (4a), o número de furos em média tende a diminuir discretamente. Este comportamento não parece ser o mais comum para essa situação, pois como previsto, a parada tem como função a quebra do cavaco e assim, ocorre um tempo maior para a penetração do jorro, resfriamento da ferramenta e saída do cavaco, melhorando as condições de usinagem. Observa-se, entretanto, que um valor alto de “p” indica uma baixa influência da variável em análise.

Quando a velocidade de corte passa de 45 m/min para 65 m/min em média o número de furos tende a diminuir de forma mais acentuada. Com o aumento da velocidade de corte, ocorre também o aumento da temperatura, gerando maior calor e atrito, implicando em maior desgaste da ferramenta, piorando as condições de usinagem Fig. (4b). Nesta condição, pode-se observar pela Tab. (5) que “p” assume o menor valor entre as variáveis de entrada (0,10).

O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev tende a aumentar em média o número de furos Fig. (4c). Se por um lado, o aumento do avanço implica no aumento da área de contato cavaco-ferramenta e, conseqüentemente, nas forças de usinagem e na maior geração de calor, podendo aumentar a temperatura de corte e o desgaste da ferramenta, por outro lado o aumento do avanço diminui o tempo de corte, o que pode favorecer para a redução do desgaste da broca. Os resultados indicam que prevalece esta última hipótese.

Com o uso de jorro, ao invés do corte a seco, em média o número de furos tende a aumentar Fig. (4d). Este fato pode ser atribuído à diminuição da temperatura e à remoção dos cavacos das imediações da zona de corte que esta condição promove.

A Tab. (6) ilustra os resultados da média para a vida das brocas (números de furos usinados) e resultados das médias de R_a , R_z , circularidade e cilindridade para o segundo furo e os furos que representam 25, 50, 75 e 90 % do desgaste da broca.

Tabela 6 – Resultados das médias para rugosidade e erros de forma (seco x jorro).

Ensaio	Nº de paradas	Vc (m/min.)	f (mm/rev.)	Lubri-refrig	Furos (média)	R_a (média)	R_z (média)	Circul. (média)	Cilindr. (média)
1	0	45	0,20	S	32,7	5,19	33,16	47,98	60,58
2	3	45	0,20	J	159,0	4,77	30,27	50,97	63,17
3	0	65	0,20	J	5,0	2,69	20,73	45,81	59,74
4	3	65	0,20	S	3,0	3,5	23,98	68,32	79,76
5	0	45	0,30	J	226,0	5,53	30,2	88,38	75,92
6	3	45	0,30	S	37,67	4,82	32,05	47,73	56,62
7	0	65	0,30	S	2,7	2,8	21,31	66,69	92,88
8	3	65	0,30	J	5,3	3,22	23,11	45,43	60,23

A Tab. (7) mostra o quadro de ANOVA, indicando os efeitos principais das variáveis na qualidade dos furos.

Tabela 7. ANOVA para rugosidade e erros geométricos.

Fator	R_a		R_z		Circularidade		Cilindridade	
	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 3	0,025	0,949	1,003	0,393	-9,103	0,585	-7,335	0,546
Veloc. de corte: 45 → 65	-2,025	0,011	-9,138	0,003	-2,203	0,892	9,080	0,462
Avanço: 0,20 → 0,30	0,055	0,889	-0,368	0,739	8,788	0,597	5,600	0,639
Lubri-refrigerante: S → J	-0,025	0,949	-1,547	0,222	-0,033	0,998	-7,695	0,528

De acordo com os dados apresentados na tabela da ANOVA, entre as variáveis de entrada, a velocidade de corte se mostrou estatisticamente influente na rugosidade para uma confiabilidade de 95% ($p < 0,05$). Quando a velocidade passa de 45 para 65 m/min, R_a e R_z tendem a diminuir. Nenhuma das variáveis se mostrou influente em relação à circularidade e cilindridade para uma confiabilidade de 95 %, mas a circularidade tende a diminuir quando ocorre a mudança de nível inferior para o superior da maioria dessas variáveis, com exceção do avanço. A cilindridade tende a diminuir quando ocorre mudança de nível para o número de paradas e para o sistema lubri-refrigerante.

Ilustrativamente, as Fig. (5) e (6) mostram os gráficos e os valores dos desvios de circularidade e cilindridade, fornecidos pelo programa, para furos diferentes. Pode ser observado que as informações permitem avaliar a geometria dos furos e tirar conclusões importantes sobre o processo de usinagem.

3.2. Incerteza de medição

As incertezas associadas à medição dos desvios de circularidade e de cilindridade foram estimadas conforme recomendado pelo ISO GUM (1993). Também foram estimadas as incertezas associada à medição dos parâmetros R_a e R_z . A Tab. (8) mostra o cálculo da incerteza associada à medição do desvio de circularidade para um determinado furo. Observe que as variáveis de entrada, neste caso, são: a indicação (L_{MM}); a resolução (R_{MM}) e a incerteza associada à calibração da máquina (R_{CM}) utilizada durante as medições. Os efeitos da temperatura não foram considerados porque

todas as grandezas medidas apresentam valores muito pequenos, além disso, as medições foram efetuadas a $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. A probabilidade de abrangência para todos os cálculos foi de 95 %.

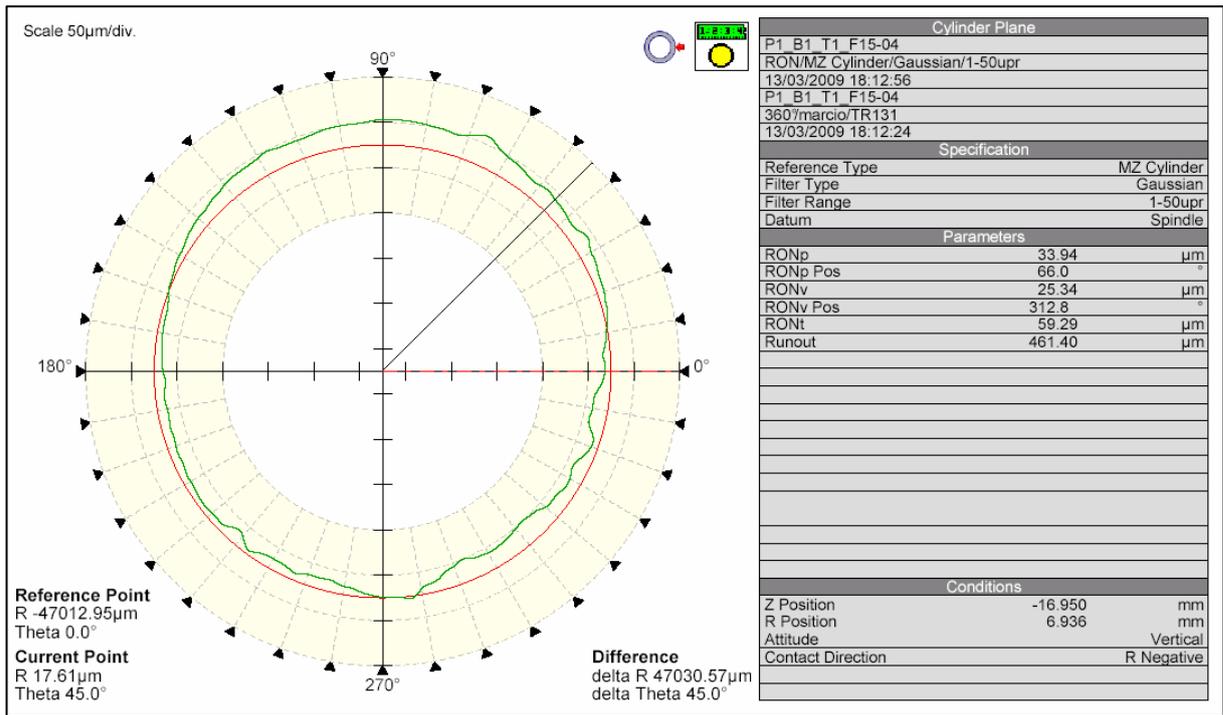


Figura 5. Desvio de circularidade.

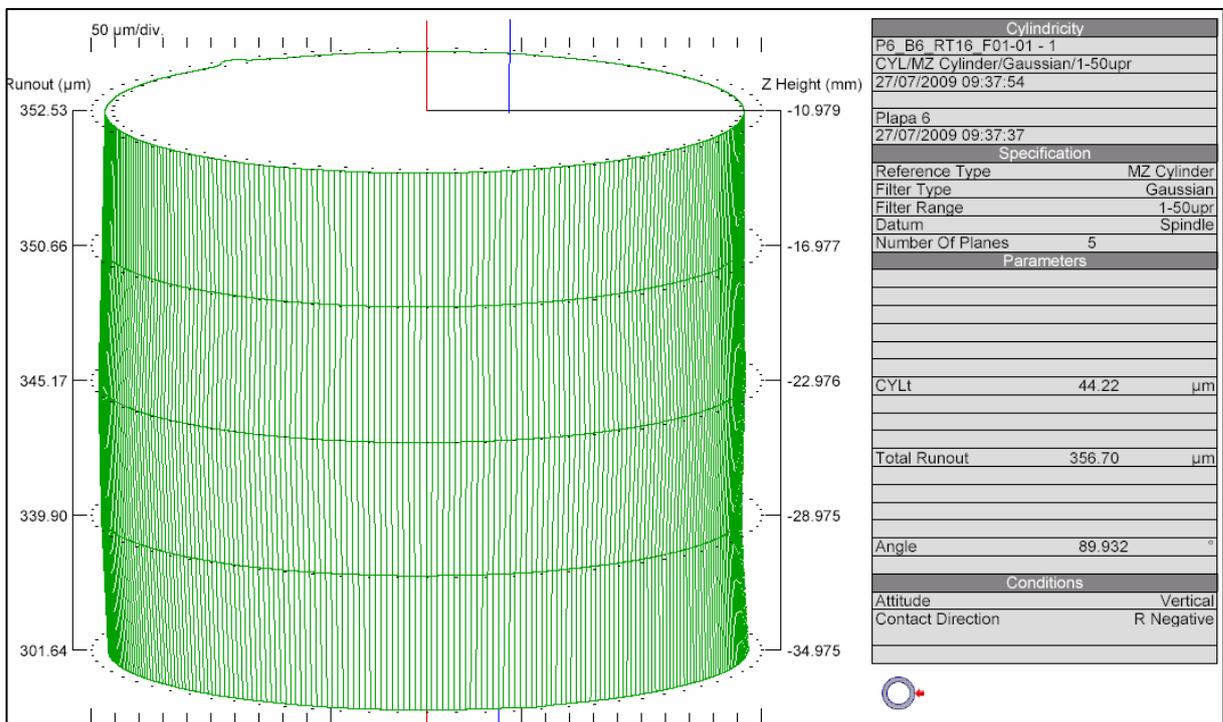


Figura 6. Desvio de cilindridade.

Conforme pode ser observado na Tab. 8, a incerteza padrão combinada é de $\pm 2,6 \text{ } \mu\text{m}$ e a expandida assume o valor de $\pm 5,2 \text{ } \mu\text{m}$ para uma probabilidade de abrangência de 95 %. A variável que mais contribuiu para a incerteza de medição, neste caso, foi a indicação da Máquina de Medir, isto porque os valores de circularidade observados ao longo do furo são significativamente diferentes. De forma similar foi estimada a incerteza padrão combinada e expandida para a totalidade das medições efetuadas. Na Fig. (7) são apresentados os maiores valores de ambas as incertezas encontrados para cada um dos ensaios.

Observa-se que os valores de incerteza padrão combinada variam entre 4,54 e 21,37 μm . Por sua vez, a incerteza expandida assume valores entre 9,08 e 42,73 μm . A grande diferença entre os valores da incerteza dos diferentes ensaios está dada pela variabilidade associada às leituras. Isto significa que o desvio de circularidade dos diferentes furos, também, apresenta grande variação. Assim sendo, os valores do desvio padrão experimental foram muito discrepantes. No ensaio 1, por exemplo foram observados valores de desvio padrão de 0,93 até 32,64 μm .

Tabela 8. Incerteza associada à medição do desvio de circularidade para um furo.

Grandeza X_i	Estimativa X_i	Distribuição de probabilidade	Coefficiente de sensibilidade	Graus de liberdade	Incerteza padrão
L_{MM}	26,31 μm	Normal	1	4	$\pm 2,600 \mu\text{m}$
R_{MM}	0,01 μm	Retangular	1	∞	$\pm 0,004 \mu\text{m}$
C_{MM}	0,005 μm	Retangular	1	∞	$\pm 0,002 \mu\text{m}$
Incerteza padrão combinada (u_c)					$\pm 2,60 \mu\text{m}$
Grau de liberdade efetivo (v_{eff})					1247
Fator de abrangência (95,45 %)					$k=2$
Incerteza expandida (U_p)					$\pm 5,20 \mu\text{m}$

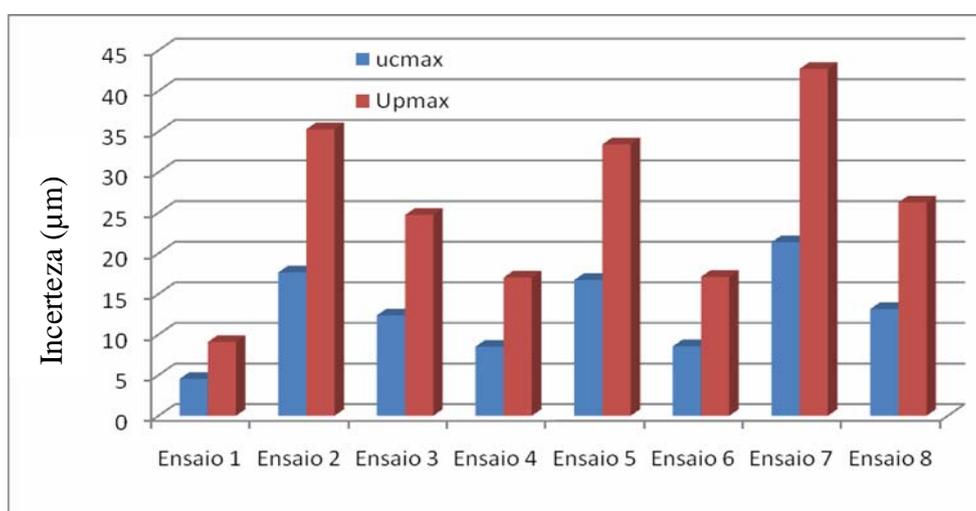


Figura 7. Incerteza padrão combinada e incerteza expandida para a circularidade.

De forma similar foi estimada a incerteza associada à medição do desvio de cilindricidade e dos parâmetros de rugosidade R_a e R_z . Nas Fig. (7) e (8) podem ser observados alguns dos resultados obtidos para cada caso.

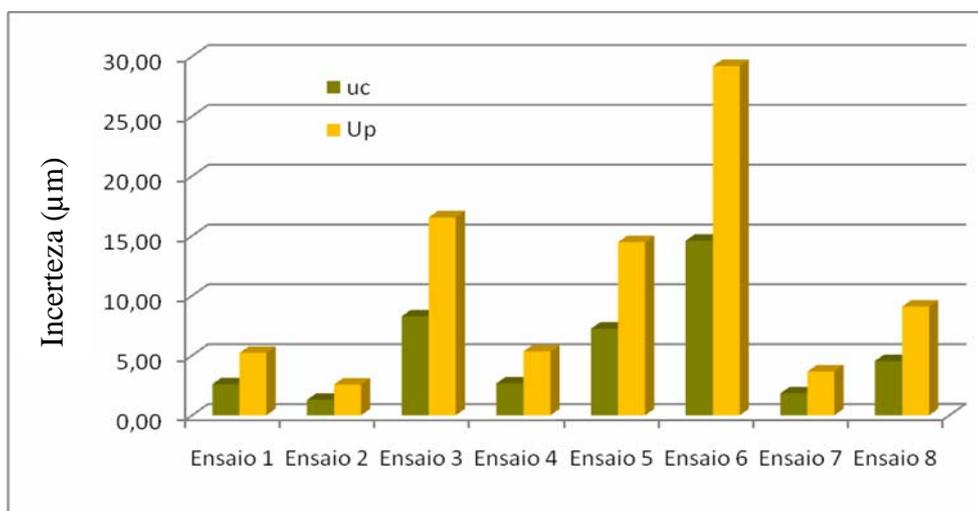


Figura 8. Incerteza padrão combinada e incerteza expandida para a cilindricidade.

Como esperado, os valores do desvio de cilindricidade apresentaram flutuações significativas e, portanto, os valores de incerteza foram influenciados pelo desvio padrão amostral. A incerteza padrão combinada assumiu valores entre 1,29 e 14,60 μm , por sua vez, a expandida variou entre 2,58 e 29,19 μm para 95 % de abrangência.

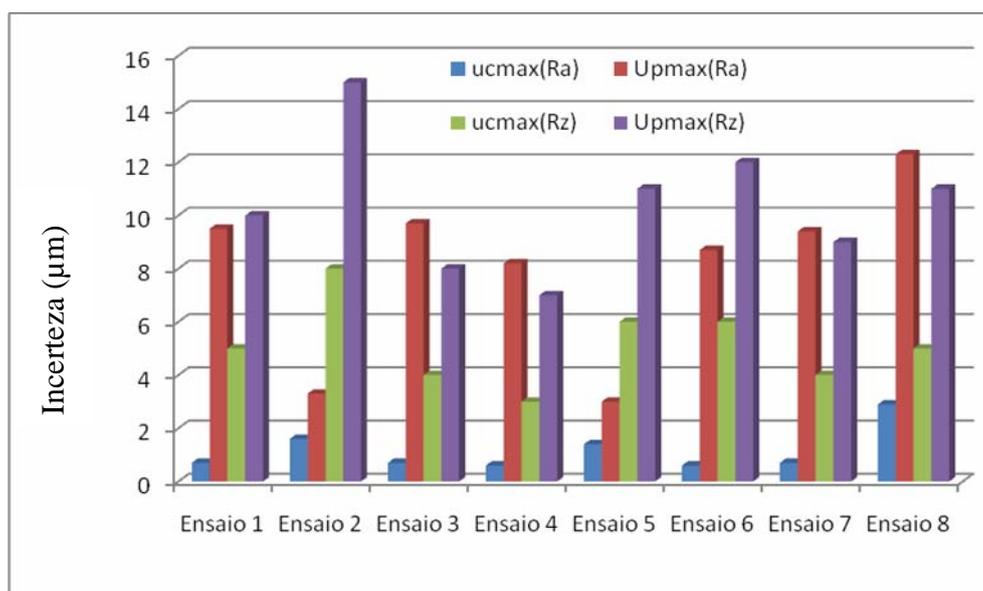


Figura 9. Incerteza padrão combinada e incerteza expandida para R_a e R_z .

Na Fig. (9) se observa que a incerteza associada à medição de ambos os parâmetros assume valores pequenos, sendo que a incerteza associada ao R_a é significativamente menor do que a incerteza associada ao R_z . Isto porque os valores de R_a são menores e o desvio padrão experimental também. Observe que a incerteza expandida do R_a , para uma probabilidade de abrangência de 95 %, não excede 8 μm . Enquanto para o R_z atinge valores de até 14,5 μm . Contudo os valores encontrados, no geral, podem ser considerados bons.

4. CONCLUSÕES

Ao finalizar o trabalho foi possível formular as seguintes conclusões.

Quando utilizada a furação com três paradas da broca o número médio de furos usinados foi menor que quando usinando sem parada alguma (corte contínuo).

Conforme os resultados mostraram, o ciclo intermitente, em geral, produz desvios de circularidade e cilindricidade menores que o corte contínuo e, com a aplicação do jorro ao invés do corte a seco, todos os desvios tendem a diminuir conforme a análise de tendências.

Os valores do desvio de circularidade observados ao longo do furo são significativamente diferentes. No processo dinâmico de penetração da ferramenta no material, que pode ser penetração contínua ou intermitente, ocorrem as mais diversificadas situações que levam ao aumento dos esforços de usinagem; aumento da temperatura de usinagem; aumento do desgaste da ferramenta; aumento da quantidade de cavacos dentro do furo, sendo cada vez mais longos; etc.

A incerteza padrão combinada associada à medição do desvio de circularidade apresentou valores que variam entre 4,54 e 21,37 μm . Por sua vez, a incerteza expandida assume valores entre 9,08 e 42,73 μm . Isto significa que o desvio de circularidade dos diferentes furos, apresenta grande variação.

Os valores do desvio de cilindricidade apresentaram flutuações significativas influenciando os valores de incertezas. A padrão combinada assumiu valores entre 1,29 e 14,60 μm , por sua vez, a expandida variou entre 2,58 e 29,19 μm para 95 % de abrangência.

A incerteza associada à medição de ambos os parâmetros assume valores pequenos, sendo que a incerteza associada ao R_a é significativamente menor do que a incerteza associada ao R_z . Isto porque os valores de R_a são menores e o desvio padrão experimental também. A incerteza expandida do R_a , para uma probabilidade de abrangência de 95 %, não excede 8 μm . Enquanto para o R_z atinge valores de até 14,5 μm .

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à OSG Tungaloy Sulamericana de Ferramentas Ltda, nas pessoas do Eng^o Coiti Fukushima e Sr. Rodrigo Katsuda, que forneceu as brocas para a realização dos ensaios; à Teksid do Brasil pelo fornecimento das barras em ferro fundido GH – 190, à FAPEMIG, a CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro. Agradecem, também, à Universidade Federal de Uberlândia/Faculdade de Engenharia Mecânica/Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem-LEPU pela infra-estrutura laboratorial essencial à realização desse trabalho.

Aos alunos de Iniciação Científica Igor Mauro de Castro, Thiago Larquer pelo auxílio técnico durante e após a realização dos ensaios experimentais.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6409, 1997, “Tolerâncias geométricas: Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento: – generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho”. São Paulo, 19 p.
- ABNT NBR ISO 4288, 2008, “Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Regras e procedimentos para avaliação da rugosidade”. 18 p.
- Amorim, H., 2003, “Apostila de Processos de Fabricação por Usinagem – Furação – 1ª Parte”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 15 p.
- De Castro, P.R.A., 2001, “Aspectos Tecnológicos da Usinagem a Seco e com Mínima Quantidade de Fluido de Corte na Furação com Broca Helicoidal”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica da UFSC, Florianópolis-SC, 178 p.
- Diniz, A.E., Marcondes, F.C., Cuppini, N.L., 2006, “Tecnologia da Usinagem dos Materiais”. MM Editora, São Paulo, 255 p.
- ISO GUM, 2003, “Guia para expressão da incerteza de medição”. INMETRO, 3. Ed. Rio de Janeiro. 131 p.
- VIM, 2008, “Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia”. INMETRO. Rio de Janeiro, 82 p.
- Norma DIN 66025, 1988, “Industrial Automation Numerical control of machines; program format, preparatory and miscellaneous functions (Deutsches Institut für Normung)”.
- Novaski, O., 1994, “Introdução à Engenharia de Fabricação Mecânica”, Editora Edgard Blucher, Cap.III, p. 69-85.
- Santos, S.C., 1999, “Furação do Ferro Fundido Cinzento com Brocas de Metal Duro Integral”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia, UFU, 105 p.
- Viana, H., 2004, “Desempenho de Brocas de HSS Revestidas na Furação de Ligas de Al-Si”, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, 143 p.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INFLUENCE OF DRILLING CYCLE IN THE LIFE OF TWIST DRILLS AND IN THE QUALITY OF HOLES

Hélio Antônio da Silva, helio@araxa.cefetmg.br¹

Eder Silva Costa eder@divinopolis.cefetmg.br²

Rosenda Valdés Arencibia, arvaldes@terra.com.br³

Rodrigo de Azambuja Montandon Ribeiro, rodrigoazambuja.net@hotmail.com⁴

Sergio Abrão Retes, sergio.retes@gmail.com⁵

Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br⁶

¹ CEFET, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais- Campus IV, Av Ministro Olavo Drummond, 25, B. São Geraldo, CEP: 38180084, Araxá-M.G., Brasil

^{2,3,4,5,6} Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2.121, Uberlândia – MG, 38.408-100, Brasil.

Abstract: This paper investigates the influence of the drilling cycle (continuous and intermittintegral) in the life of HSS twist drills, coated with multilayer TiN-TiAlN, diameter of 10 mm, during the machining of gray cast iron GH-190. A fractional factorial design 2^{4-1} was used. Blind holes were drilled to a depth of 40 mm. For comparison it was performed uninterrupted and intermittent drillings (with 3 stops and drill return of 1 mm). Other cutting parameters used during the tests were cutting speeds of 45 and 65 m / min; feed rates of 0.20 and 0.30 mm / rev; flood cooling and dry cuttings. The tool-lives were measured in terms of number of holes drilled until the collapse of the tool. The geometric quality (surface roughness, roundness and cylindricity) of fifteen holes for each test were monitored and studied. The results showed that the tool life was not significantly influenced by the variables studied and that the intermittent cycle usually produces smaller roundness and cylindricity errors than the uninterrupted cycle.

Keywords: Drilling cycle, drill life, surface finish, roundness and cylindricity.