

ANÁLISE PROBABILÍSTICA DO DESGASTE DE BROCAS HELICOIDAIS

C. E. R. Patiño

carmen.rodriguez@poli.usp.br, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistema Mecânicos EPUSP.

J. P. P. Marcicano

marcican@usp.br, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistema Mecânicos EPUSP.

G. F. M. Souza

gfmsouza@usp.br, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistema Mecânicos EPUSP.

Resumo. *Este trabalho apresenta a análise da confiabilidade aplicada ao processo de furação e mais especificamente ao cálculo da probabilidade de que a ferramenta de corte atinja um desgaste de flanco superior ao pré-estabelecido em um tempo t pré-determinado. O desgaste de uma ferramenta pode ser considerado uma variável aleatória, pois mantidas as condições de execução do processo de fabricação, detecta-se uma variabilidade no tempo de vida útil das ferramentas. Para calcular a confiabilidade da ferramenta, adota-se que a vida da mesma é modelada por uma distribuição de probabilidade que indica a chance da ferramenta atingir um certo nível de desgaste em um tempo especificado de uso. Neste trabalho executa-se a análise de confiabilidade de brocas helicoidais de aço rápido ABNT M2, com geometria DIN 338 e diâmetro 5mm, com o emprego de dados obtidos em ensaios controlados de furação, realizados em corpos de prova de aço baixo carbono. Nestes ensaios, onde utilizou-se uma amostra composta por 10 brocas, após a execução de um ciclo de furação, definido por um determinado número de furos de comprimento pré-definido, mediu-se o desgaste das arestas de corte de cada broca. Associou-se a este nível de desgaste uma função distribuição de probabilidade, com o emprego de um “software” comercial destinado a cálculos estatísticos. Com esta curva pode-se definir a probabilidade de que, após a execução de um número controlado de furos, a broca atinja um certo nível de desgaste. Baseando-se em resultados obtidos experimentalmente, calcula-se os parâmetros da função distribuição acumulada que representa a confiabilidade desta ferramenta nas condições de ensaio, encontrando-se que a partir de um tempo de 8,03 minutos a confiabilidade da mesma decresce rapidamente. Para o processo de furação em estudo este tempo pode ajudar a estimar o tempo de troca da ferramenta.*

Palavras-chaves: Confiabilidade, Furação, Desgaste de ferramenta, fdp

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a importância do processo de fabricação das peças que compõem o produto para o sucesso do projeto, os pesquisadores têm voltado grande atenção ao desenvolvimento de pesquisas que têm por objetivo melhorar o processo de fabricação de peças constituintes de sistemas mecânicos. Na busca de alternativas para aumentar o desempenho de seus produtos, os setores industriais investiram, durante as décadas de 1970 e 1980, no desenvolvimento e implantação de técnicas visando o aumento da qualidade do produto, implicando na redução da possibilidade do mesmo ser fabricado com defeitos que impeçam o funcionamento deste ou que causem a sua falha prematura quando em operação. Tem-se observado que grande parte destes defeitos é causada pelos

erros ocorridos dentro do processo de fabricação. Somado ao anterior tem-se que todas as ferramentas de corte desgastam durante a usinagem, até ser atingido o fim de sua vida útil. O desgaste da ferramenta é inevitável e este tem um efeito negativo sobre o processo de usinagem. Este desgaste resulta da interação entre a ferramenta e a peça, dependendo das condições de corte, sendo o produto da combinação de fatores mecânicos, térmicos, químicos e abrasivos, que mudam a geometria da aresta de corte. Como este é um efeito inevitável, o mesmo se converte em um dos modos de falha mais importantes de um processo de usinagem e existe uma grande preocupação em conhecer seu comportamento, para tentar controlar seus efeitos sobre a peça usinada.

Tomando atenção na palavra “Falha”, tem-se que a técnica de Confiabilidade é empregada para avaliar a probabilidade de um componente operar com sucesso ao longo de um período de tempo pré-determinado, sob condições específicas de uso. Ou seja, a aplicação de técnicas de confiabilidade permite a avaliação da probabilidade de falha de um equipamento, processo ou produto qualquer. Sob este ponto de vista, as técnicas de confiabilidade podem ser empregadas para determinar a probabilidade das ferramentas envolvidas na produção de peças apresentarem uma magnitude de desgaste superior a um valor mínimo aceitável, em função do tempo de uso.

2. MODELO DE CONFIABILIDADE PARA PROCESSO DE USINAGEM

Os defeitos introduzidos nas peças como função de falhas nas ferramentas têm uma taxa de ocorrência crescente no tempo, pois as ferramentas apresentam como principal modo de falha o desgaste, que é um mecanismo de dano acumulativo. A confiabilidade do processo de desgaste de uma ferramenta, utilizada em operações de usinagem, representa a probabilidade de que em um tempo T o valor do desgaste da ferramenta atinja um nível de desgaste V_B^* considerado crítico ⁽¹⁾. Como o desgaste de uma ferramenta é um mecanismo cumulativo, a confiabilidade da mesma deve ser representada por uma função distribuição de probabilidade que simule taxas de falha crescentes com o tempo, sendo as mais representativas as distribuições Normal, Weibull e Lognormal.

Estudos experimentais apresentados por Hitomi ⁽¹⁾, ElWardani ⁽²⁾ e Wang ⁽³⁾ mostram que uma das distribuições de probabilidade que melhor modela o desgaste de flanco da ferramenta em operações de torneamento é a distribuição Lognormal. A seguir se ilustra, como exemplo, o cálculo da confiabilidade de uma ferramenta qualquer, supondo que o desgaste da mesma segue uma distribuição Lognormal ⁽¹⁾. Quando o desgaste segue outra distribuição é possível seguir este procedimento e encontrar a confiabilidade da ferramenta em termos do tempo de vida da mesma, porém o equacionamento obtido deve diferir do abaixo indicado.

Seja v_B uma variável aleatória, que representa o desgaste de flanco da ferramenta, sendo função das condições de corte e do erro estatístico, expressa pela relação indicada na Equação (1):

$$v_B = \psi(f, v, d, t, \gamma, r) \cdot \theta(\xi) \quad (1)$$

Na Equação (1), f é o avanço, v a velocidade de corte, d a profundidade de corte, t o tempo de corte, γ o ângulo de saída da ferramenta e r o raio da ferramenta, sendo o símbolo, ψ representativo de uma função, neste caso a função de Taylor, e θ representa a função do erro estatístico.

A equação de Taylor é uma expressão empírica empregada para prever o desgaste de flanco de uma ferramenta de usinagem em função das condições de corte. Entretanto, experimentalmente, os valores obtidos para o desgaste de flanco apresentam dispersão em relação ao valor previsto pela equação de Taylor, sendo esta dispersão representada pela função do erro.

Tomando o logaritmo natural na Equação (1) obtêm-se:

$$\ln(v_B) = \ln[\psi(f, v, d, t, \gamma, r)] + \varepsilon \quad (2)$$

Na Equação 2, ε corresponde ao logaritmo da função erro estatístico.

Assumindo que o desgaste da ferramenta segue uma distribuição Lognormal, a média da

distribuição, definida Equação (3), corresponde ao logaritmo da mediana do desgaste de flanco sofrido pela ferramenta, sendo representado por V_{B_0} :

$$V_{B_0} = E[\ln(v_B)] = E[\ln(\psi(f, v, d, t, \gamma, r))] + E[\varepsilon] \quad (3)$$

A variabilidade do sistema é calculada pelo quadrado da diferença existente entre o valor esperado (correspondente ao valor de desgaste calculado com o emprego da equação que relaciona as variáveis influentes sobre o mesmo) e o valor real obtido em ensaios de desgaste. Dessa forma o segundo parâmetro da distribuição Lognormal, a variância representada pelo símbolo σ^2 , é definida na Equação (4).

$$\text{Var}[\ln(v_B)] = E\left[\left(\ln(v_B) - V_{B_0}\right)^2\right] \Rightarrow \text{Var}[\ln(v_B)] = \sigma^2 \quad (4)$$

Na Equação (5) é representada a equação de Taylor estendida, indicando a relação matemática entre o desgaste da ferramenta e os parâmetros da operação de usinagem, já mencionados anteriormente .

$$\hat{v}_B = C_0 \cdot f^{b_1} \cdot v^{b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \gamma^{b_4} \cdot r^{b_5} \cdot t^{b_6} \quad (5)$$

Na Equação (5), $C_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ são constantes que dependem das condições do ensaio e o \hat{v}_B é a estimativa do valor do desgaste para um dado tempo de usinagem, que corresponde ao valor mediano da distribuição de probabilidade que representa o desgaste do flanco, em um tempo específico de operação da ferramenta. Considerando que a função densidade de probabilidade para a distribuição do desgaste de flanco da ferramenta é representada pela função Lognormal, obtém-se a relação expressa pela Equação (6):

$$f(v_B) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot v_B} e^{-\left[\frac{1}{2\sigma^2}(\ln v_B - \ln(C_0 \cdot f^{b_1} \cdot v^{b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \gamma^{b_4} \cdot r^{b_5} \cdot t^{b_6}))^2\right]} \quad (6)$$

Supõe-se que a ferramenta começa o corte no instante $t = 0$ e que a falha da ferramenta ocorre no tempo $t = T$. Então a probabilidade de falha $F(T)$ e a confiabilidade da ferramenta $R(T)$ definidas no tempo de falha, são representadas pelas Equações (7) e (8).

$$F(T) = P(t \leq T) = \int_0^T f(t) dt \quad (7)$$

$$R(T) = 1 - F(T) \Rightarrow R(T) = 1 - \int_0^T f(t) dt \quad (8)$$

Por outro lado pode-se afirmar que a probabilidade de falha da ferramenta é a chance de que esta falhe no tempo t especificado, ou seja, que a magnitude do desgaste de flanco neste intervalo de tempo, atinja o valor V_B^* . Esta probabilidade é calculada com o emprego da Equação (9).

$$P(v_B \geq V_B^*) = 1 - \int_0^{V_B^*} f(v_B) \cdot dv_B \quad (9)$$

Considerando a evolução do desgaste da ferramenta, apresentada na Figura 1, verifica-se que para cada instante de tempo existe uma probabilidade do desgaste ser inferior a V_B^* , sendo que esta probabilidade é reduzida dado o aumento do tempo de utilização da ferramenta. Analisando a

evolução do desgaste de várias feramentas, pode-se definir a função densidade de probabilidade associada ao tempo no qual a ferramenta atinge o desgaste V_B^* , tal como indicado na Figura 1.

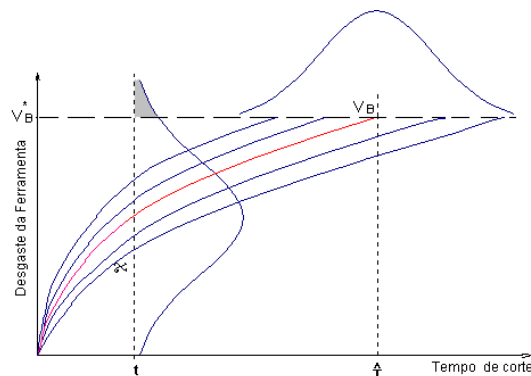


Figura 1. Relação entre desgaste da ferramenta e tempo de corte ⁽¹⁾.

3. ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESGASTE DA FERRAMENTA

A análise experimental foi executada para o processo de furação. Este é definido como um processo que produz superfícies cilíndricas internas chamadas comumente de furos. Este processo pode ser realizado removendo todo o material compreendido no volume do furo final (furação em cheio) ou ser realizado com uma peça pré-furada. Além disto, pode ter como finalidade a obtenção de furos com dois ou mais diâmetros, o que é conhecido como furação escalonada ⁽⁴⁾.

A ferramenta de corte tem duas partes fundamentais: aresta transversal e a aresta principal de corte, indicadas nas Figura 2. As duas arestas estão envolvidas na remoção do material.

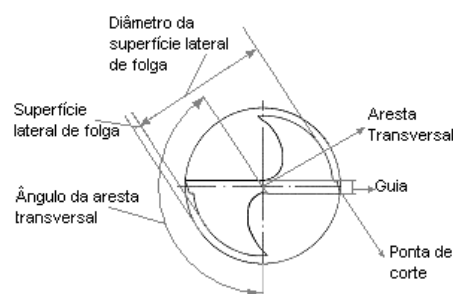


Figura 2. Geometria de uma broca helicoidal ⁽⁵⁾.

Para levar a cabo o processo de furação é preciso que a ferramenta ou a peça gire e simultaneamente a ferramenta ou a peça se desloquem segundo uma trajetória que coincida ou que seja paralela ao eixo principal da máquina (torno, fresa ou furadeira).

A primeira etapa da análise da confiabilidade deste processo é estabelecer as variáveis relevantes para definir: função do processo, a importância deste na cadeia produtiva e as falhas dentro do processo que podem causar a execução de um furo fora das especificações de projeto. Ao mesmo tempo esta análise serve para verificar a importância que o desgaste da ferramenta tem dentro das falhas do processo. Estas variáveis são definidas no diagrama de causa efeito apresentado na Figura 3, e com o uso da análise de modos e efeitos de falha (FMEA).

O diagrama de causa-efeito mostra a relação existente entre a obtenção de furos fora das especificações e os parâmetros relevantes tanto no processo como na operação, representados nos efeitos chamados: processo, parâmetros dinâmicos e em outros como vibrações e erros de operação. Observa-se que o desgaste da ferramenta tem influência direta sobre quase todas estas causas. O furo fora das especificações pode ser causado pelo erro de localização, erro na dimensão e erro na cilindrada do furo, entre outros. Os erros de dimensão são causados pelo desgaste da ferramenta, formação do cavaco e pela vibração da máquina, como é mostrado experimentalmente por Furnee ⁽⁶⁾.

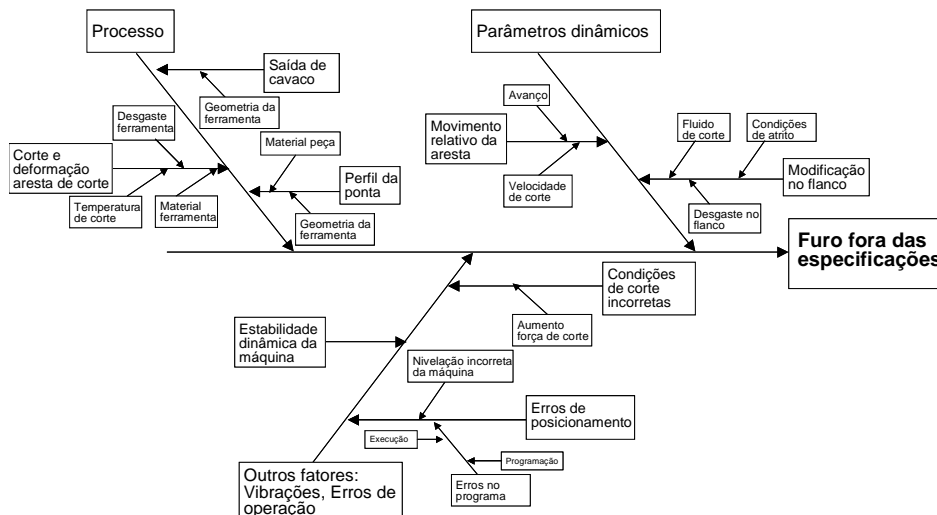


Figura 3. Diagrama causa – efeito para o processo de furação.

A ferramenta apresenta os mais complexos modos de falha e o controle do tempo entre troca da mesma pode se converter no elemento mais relevante para evitar furos fora das especificações, dado que os erros dependentes do operador podem ser controlados com treinamento e implementação de engenharia de métodos e movimentos e os erros da máquina podem ter uma taxa de ocorrência praticamente constante e de frequência reduzida, através do emprego da prática de manutenção preventiva. Por estas razões a análise experimental executada neste estudo tem como objetivo caracterizar a confiabilidade da ferramenta de corte para o processo de furação, encontrando para a mesma a distribuição de probabilidade para o desgaste de flanco, o qual é considerado o principal modo de falha deste tipo de ferramenta.

A broca apresenta principalmente dois tipos de desgaste: o desgaste de flanco (V_B) e de cratera (K_B) tal como indicado na Figura 4. O primeiro tipo de desgaste se apresenta próximo a periferia da broca onde a velocidade de corte é máxima e o segundo é observado sobre a superfície de saída do cavaco.

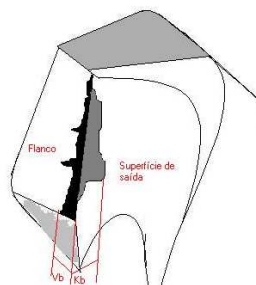


Figura 4. Definição do desgaste de cratera e de flanco em brocas ⁽⁷⁾.

Pode-se observar que a variação do desgaste de flanco é alta e por isto existem diversos valores considerados limites superiores para este desgaste, que dependem da zona onde se está mensurando-o. Os valores recomendados por fabricantes para o desgaste admissível para brocas variam entre 0,20 mm e 0,40 mm, como função de seu diâmetro e do material empregado na sua fabricação. Estes valores limites superiores para o desgaste de flanco estão associados com a perda de capacidade de obtenção de furos conforme tolerâncias previamente especificadas.

Analisando o processo de furação e dada a relação existente entre o desgaste da ferramenta com os erros dimensionais e a rugosidade final do furo, é importante analisar separadamente o processo de desgaste da ferramenta, visando caracterizar as principais causas associadas ao mesmo.

Neste trabalho o desgaste é medido na periferia da broca, como indicado na Figura 5, onde espera-se valores de maior magnitude para esta grandeza, uma vez que a velocidade de corte é maior nesta zona.

A ferramenta utilizada é uma broca helicoidal de aço-rápido ABNT M2 com geometria DIN 338 e diâmetro 5 mm. Os ensaios de furação foram executados em corpos de prova com forma de paralelepípedo de aço AISI 1016, estes corpos de prova possuem comprimento de 220 mm, largura de 30 mm, e altura de 30 mm. Tendo em vista o comprimento e a largura do corpo de prova, prevê-se a execução de 3 carreiras de 15 furos em cada corpo. Para a determinação do desgaste de flanco analisou-se a superfície da broca utilizando uma Lupa estereoscópica, *NIKON-SMZ80*, de alta qualidade, acoplada a uma câmara digital *JVC TKC1380*.

Têm-se 10 corpos de prova, numerados na seqüência de 1 a 10, e para cada corpo de prova utiliza-se uma única broca de 5mm de diâmetro, tendo assim uma broca por corpo de prova, ou seja, define-se a evolução do desgaste para pares (broca/corpo de prova. Inicialmente são realizados 20 furos, já que em uma fase de ensaios preliminares se encontrou que antes deste número de furos o desgaste era muito baixo e não era possível estabelecer um valor para o mesmo. Após estes 20 furos são realizadas seqüências de 5 furos até completar 45 furos em cada corpo de prova, desde que não haja falha da broca por desgaste antes da execução destes 45 furos. As condições de furação foram mantidas para todas as seqüências de furos, sendo estas apresentadas na Tabela 1. Não se utilizou fluido lubrificante ao longo dos experimentos.

Tabela 1. Condições de operação.

Diâmetro da broca[mm]	5
Profundidade do furo[mm]	25
Avanço [mm/rev]	0,025
Rotação [rpm]	4000
Velocidade de corte [m/min]	63
Lubrificação	NÃO

Na lupa estereoscópica, com um aumento de 25 vezes, foram fotografadas as duas arestas de corte de cada uma das 10 brocas. A fotografias foram tiradas antes de iniciar os ensaios e ao término de cada seqüência de 5 furos, a partir dos 20 furos, obtendo assim, para cada broca, informações sobre o desgaste de flanco após a execução 0, 20, 25, 30, 35, 40 e 45 furos.

As medições de desgaste são feitas estabelecendo e medindo a diferença existente entre a posição da aresta de corte na broca nova e a posição desta aresta, na mesma broca, depois de efetuados um número dado de furos. Para este fim à imagem da broca nova é sobreposta a imagem da broca após da furação e nesta nova imagem são estabelecidas as linhas de referência que representam a aresta de corte da broca nova e a aresta de corte da broca usada. Após da obtenção destas linhas é utilizado um programa de análise de imagem (*LEICA QWIN*) para calcular a distância perpendicular entre as duas arestas de corte (na condição nova e desgastada) no extremo da broca onde o desgaste é maior. Esta distância representa o desgaste de flanco após a execução de um determinado número de furos, este procedimento é indicado na Figura 5. Executou-se este procedimento de análise para cada uma das duas arestas de corte das 10 brocas utilizadas no estudo. Dessa forma, após a execução de um número de furos, tem-se 20 valores para a magnitude do desgaste de flanco, suficiente para caracterizar a função densidade de probabilidade associada ao nível de desgaste de flanco da broca.

Os dados são apresentados de forma gráfica na Figura 6. Pode-se observar que nem todas as brocas conseguiram concluir o ensaio, já que estas falharam antes de 45 furos, sendo este um indicador da variabilidade da magnitude do desgaste de flanco das mesmas. Dentre as brocas que não concluíram o ensaio pode-se ressaltar a de número 4, que executou apenas 30 furos, falhando na seqüência dos furos de número 31 a 35. Verifica-se que o desgaste é crescente em função do aumento do número de furos executados, porém a taxa de crescimento do desgaste não é constante. Observa-se que entre 40 e 45 furos a taxa de crescimento do desgaste é mais elevada, indicando a proximidade do momento de falha da broca, que é caracterizada pela incapacidade de executar a

operação de furação. Ressalta-se também que há uma boa coerência entre as magnitudes de desgaste de flanco registradas para as duas arestas cortantes de uma broca, após a execução de um número específico de furos.

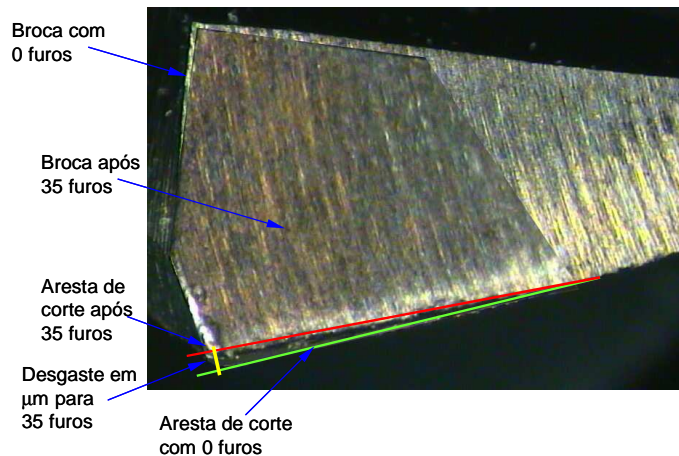


Figura 5. Procedimento para estabelecer o desgaste da broca após de 35 furos.

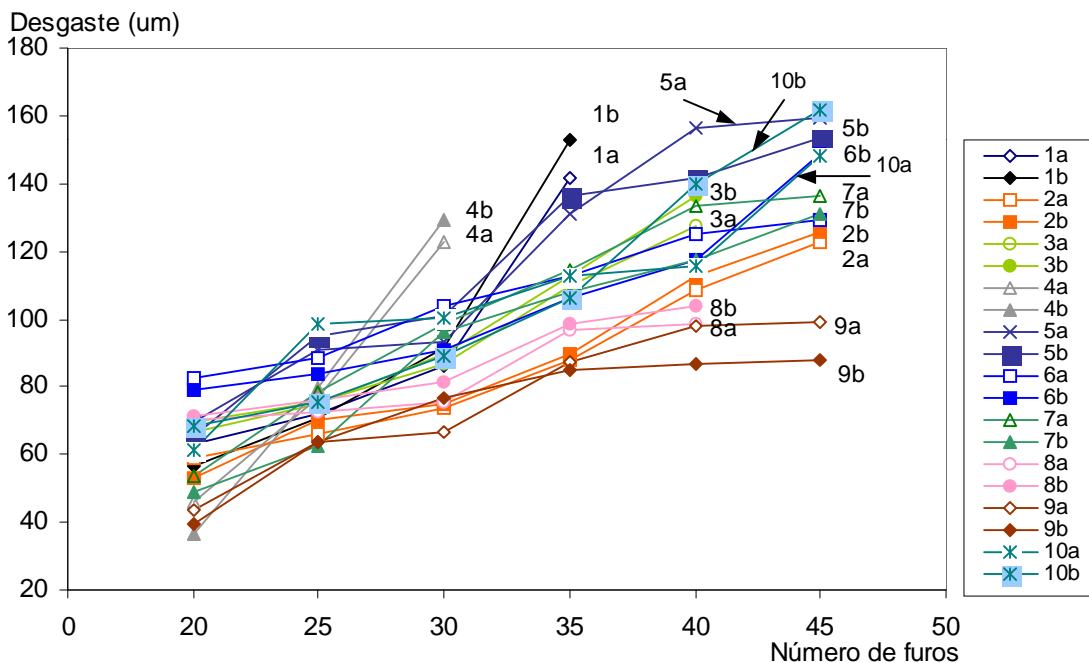


Figura 6. Evolução do desgaste de flanco para as 10 brocas em função do número de furos executados.

Com os valores do desgaste, para um determinado número de furos, pode-se determinar a função densidade de probabilidade que expressa a variação probabilística do desgaste de flanco da broca, após um número de furos pré-definidos. Nesta determinação considera-se o valor de desgaste obtido para as arestas de corte das 10 brocas, após a execução de um dado número de furos. Para determinação desta função densidade de probabilidade foi utilizada o programa Weibull 6++ desenvolvido pela ReliaSoft, encontrando que as distribuições que melhor modelaram o fenômeno de desgaste de flanco obtido após a execução de um dado conjunto de furos foram a distribuição Lognormal e a distribuição de Weibull com dois parâmetros. A Tabela 2 apresenta os valores médio (μ) e o coeficiente de variação (cv) obtidos para a magnitude do desgaste, após a execução de um número pré-determinado de furos, definidos pela distribuição Lognormal. A definição da distribuição Lognormal para modelar o fenômeno de desgaste é consonante com os valores obtidos na literatura, tal como o citado por Hitomi ⁽¹⁾.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos do desgaste da broca.

Número de furos	20	25	30	35	40	45
μ	59,861	76,8899	92,1302	111,374	121,217	138,79
$CV = \frac{\mu}{\sigma}$	0,23922	0,13978	0,17512	0,18198	0,17021	0,13298

Na Figura 7 são apresentadas as funções densidade de probabilidade para a magnitude do desgaste em função do tempo de trabalho da broca, que é o parâmetro usualmente empregado na atividade industrial para caracterizar o período operacional da ferramenta. O tempo para execução de um furo é 15 segundos, sendo este o valor empregado na transformação de número de furos executados para tempo de trabalho da broca. Na Figura 7 identifica-se a função densidade de probabilidade que representa a variação do desgaste de flanco para os tempos de operação da broca considerados neste estudo. A curva que une os valores medianos do desgaste para cada tempo de operação representa a variação do desgaste em função do tempo de operação da broca, a qual pode ser usada como referência para definir o tempo de troca da ferramenta, considerando-se uma magnitude de desgaste admissível. Este último é definido em função do efeito do aumento do desgaste sobre o acabamento superficial e sobre as tolerâncias dimensionais e geométricas do furo.

Fixando-se um valor máximo admissível para o desgaste, tem-se que o tempo de operação da broca associado à este valor máximo também é uma variável aleatória, pois a evolução do desgaste para diferente brocas não é constante, tal como indicado na Figura 6.

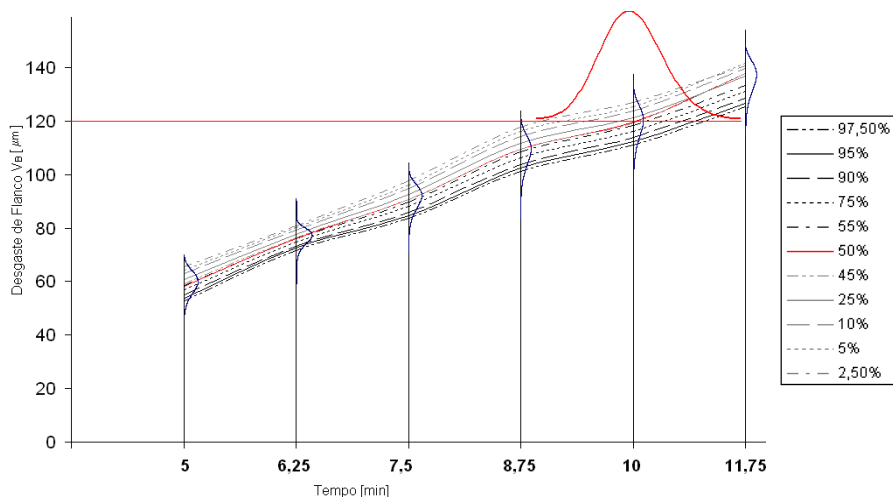


Figura 7. Curvas de densidade de probabilidade para a distribuição do desgaste de flanco em função do tempo de operação da broca.

Fixando-se o valor de desgaste admissível $V_B = 120 \mu\text{m}$, obtém-se a probabilidade de que a broca atinja este valor em cada seqüência de furos, sendo estes valores apresentados na Tabela 3, podendo-se observar que a probabilidade de atingir este valor, ou seja a probabilidade da broca falhar aumenta em função do número de furos executados.

Tabela 3. Valores tempo de vida da ferramenta para o desgaste de flanco de $120 \mu\text{m}$.

Número de furos	20	25	30	35	40	45
$P(V_B > 120 \mu\text{m})$	0,00108	0,00054	0,05397	0,30729	0,49011	0,84909

Utilizando-se o programa Weibull 6++ define-se a função densidade de probabilidade associada ao tempo de operação das brocas até ser atingido o desgaste $V_B = 120 \mu\text{m}$, sendo esta indicada na

Figura 8. O valor do tempo médio de operação é 10,03 minutos, com coeficiente de variação de 0,0359, sendo esta distribuição modelada por uma distribuição Lognormal.

Tendo a Função Densidade de Probabilidade, pode-se obter a confiabilidade em função de tempo de furação. Na Figura 10 se observa o comportamento no decorrer do tempo da confiabilidade e o intervalo de confiança, de grau de confiança 95%, para esta. Pode-se concluir que quando o tempo de furação excede os 8,40 minutos a confiabilidade da ferramenta decresce rapidamente. No caso em estudo, este seria o tempo médio indicado para a troca da ferramenta, a fim de evitar que a mesma opere com desgaste de flanco de maior magnitude, fato que poderia prejudicar a qualidade do furo produzido.

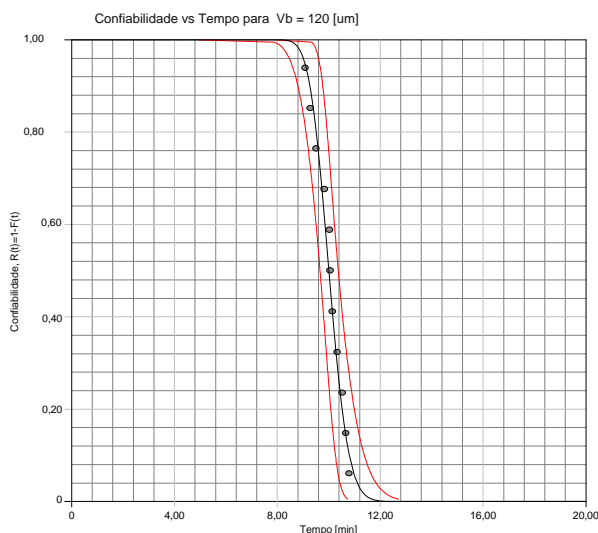


Figura 8. Confiabilidade da ferramenta em função do tempo de usinagem.

4. CONCLUSÕES

A confiabilidade de um processo de fabricação pode ser entendida como a capacidade do mesmo produzir peças de acordo com uma especificação dimensional e/ou geométrica. Neste estudo procurou-se analisar, de uma forma qualitativa, o processo de furação, apresentando-se os fundamentos teóricos do mesmo e se estabelecendo as falhas do processo, o que permite estimar o desempenho tanto do processo como dos elementos que intervêm no mesmo, principalmente a confiabilidade da ferramenta.

Constatou-se a importância do uso de uma técnica que permita estabelecer um modelo para a confiabilidade num processo, visando melhorá-lo progressivamente mediante o uso adequado do modelo estabelecido.

A análise da taxa de falha do processo fornece informações mais relevantes sobre o mesmo. Inicialmente espera-se uma taxa de falhas decrescente, sendo a mesma associada com a ocorrência de erros no próprio planejamento dos processos de usinagem, ou mesmo na seleção ou instalação da ferramenta. Estas falhas são rapidamente corrigidas, e produzem poucas peças defeituosas. Sanados estes eventuais problemas, a taxa de falha do processo passa a ser constante, e esta associada com falhas aleatórias da máquina, principalmente vibrações, ou com variabilidade do material base da peça. Estas falhas provocam a produção de peças defeituosas, com uma porcentagem de ocorrência de defeitos praticamente constante. Em função do desgaste da ferramenta, há um aumento da taxa de falha do processo, caracterizada pelo aumento da produção de peças defeituosas. Este aumento da taxa de falhas indica a necessidade de substituição da ferramenta.

Visando a avaliação do desgaste de uma ferramenta de usinagem, neste estudo executou-se a análise probabilística do desgaste de flanco de uma ferramenta de furação, buscando a avaliação da confiabilidade da mesma. Determinou-se a distribuição densidade de probabilidade que representa a variação do desgaste de flanco para condições específicas de operação de uma broca de aço rápido,

encontrando que a distribuição que melhor modela este fenômeno é a distribuição Lognormal, e verificou-se que a probabilidade de que a broca falhe aumenta ao aumentar o número de furos.

Ressalta-se que o tempo de substituição da ferramenta deve ser inferior ao tempo médio para a mesma apresentar um desgaste com uma magnitude pré-definida. Tal fato implica na possibilidade de aumento da produção de peças defeituosas, mesmo antes de a ferramenta atingir o tempo médio de vida acima definido.

5. REFERÊNCIAS

1. HITOMI K.; NAKAMURA N.; INOUE S.. Reliability Analysis of cutting tools, **Journal of Engineering for Industry**, v. 101, No 2, p. 185 – 190, 1979
2. EL WARDANY T.; ELBESTAWI M.. Prediction of toll failure rate in turning hardened steels. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 13, No 1, p. 1 – 16, 1997.
3. WANG K.; LIN W.; HSU F.. A new approach for determining the reliability of a cutting toll”, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 17, p. 705 – 909, 2001.
4. KALPAKJIAN S.; SCHMID S.. **Manufacturing Engineering and Technology**, Prentice Hall, p. 1148, 2001
5. DOYLE L.. **Manufacturing Processes and Materials for Engineers**, Prentice-Hall, p 1442, 1985.
6. FURNEE R.J.; WU C.L.; ULSOY A. G.. Statistical analysis of the effects of feed, speed, and wear on hole quality in drilling. Transactions of the ASME. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**. v. 122, p. 267 – 273, 2000.
7. S.A. SANDVIK, COROMANT. **Ferramentas Rotativas**. 1999

PROBABILISTIC-BASED DRILL WEAR ANALYSIS

C. E. R. Patiño

carmen.rodriquez@poli.usp.br, PMR EP-USP.

J. P. P. Marcicano

marcican@usp.br, PMR EP-USP.

G. F. M. Souza

gfmsouza@usp.br, PMR EP-USP.

***Abstract.** This study presents a mechanical manufacturing process reliability based analysis and the calculations of the reliability of a cutting tool subject to flank wear. The tool wear can be considered as a random variable because even when the machining conditions are constant, a cutting tool wear variability is detected. The cutting tool reliability is modeled based on a probability function representing the chance that a critical wear magnitude is achieved in a given time period. This paper presents the helical drill reliability analysis based on an experimental study where the flank wear is modeled with a probability function. The experiment was executed with 10 ABNT M2 drills and after a drilling cycle the flank wear of each drill was measured in a microscope. Through the use of commercial software, the probability function was modeled for a drilling cycle. Considering the wear evolution on each drilling cycle and defining an upper limit for the flank wear a probability density function is calculated to model the time period that a drill would achieve that limit. That function is a lognormal distribution with mean equal to 10,03 minutes.*

***Keywords.** Reliability, Drilling, Tool Wear, pdf*