

## INFLUÊNCIA NA PRECISÃO DIMENSIONAL EM UM PROCESSO DE FURAÇÃO

Bruno Cesar Caetano Alves, [bruno.ctno@gmail.com](mailto:bruno.ctno@gmail.com)<sup>1</sup>

Michel Becker, [michel\\_becker1@estudante.sc.senai.br](mailto:michel_becker1@estudante.sc.senai.br)<sup>1</sup>

Francisco Fernando Pereira, [francisco\\_f\\_pereira@estudante.sc.senai.br](mailto:francisco_f_pereira@estudante.sc.senai.br)<sup>1</sup>

Djonathan Valfrido Duarte, [djhonathan\\_valfrido@estudante.sc.senai.br](mailto:djhonathan_valfrido@estudante.sc.senai.br)<sup>1</sup>

Eduardo Rodrigues, [edu2911ardo@gmail.com](mailto:edu2911ardo@gmail.com)<sup>1</sup>

Francielle Tamazzia, [francielle.tamazzia@gmail.com](mailto:francielle.tamazzia@gmail.com)<sup>1</sup>

Thais Balmann Schmitt, [thais.ballmann@edu.sc.senai.br](mailto:thais.ballmann@edu.sc.senai.br)<sup>1</sup>

Anderson de Carvalho Fernandes, [anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br](mailto:anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br)<sup>1</sup>

Bruna de Freitas Zappelino, [bruna.zappelino@edu.sc.senai.br](mailto:bruna.zappelino@edu.sc.senai.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville, Rua Arno Waldemar Döhler, 957 – Santo Antônio - 89219-510, Joinville

**Resumo.** Experimentos industriais embasados em métodos estatísticos são realizados pelas empresas no intuito de melhorar as características de qualidade dos produtos e obter a compreensão das variáveis que efetivamente influenciam os mais diversos processos de fabricação. No processo de usinagem, vários aspectos impactam diretamente na precisão dimensional, seja durante a fixação da peça, parâmetros de corte, habilidade operacional, tipo da ferramenta e sua afiação, estado de manutenção da máquina, dentre outros. Diante desse contexto, esse estudo tem como objetivo a análise na precisão dimensional durante a furação em uma fresadora convencional. Foram realizados dois ciclos de furações em superfície não usinada, com e sem pré-furo. Tratando os dados obtidos com modelos estatísticos apropriados, pode-se comprovar com 95% de confiança que não houveram evidências estatísticas que pudessem comprovar que a execução de um pré-furo influencia na precisão de furação.

**Palavras-chave:** Usinagem, Fresadora Convencional, Furação, Parâmetros de Corte.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, dentre os processos de fabricação, as operações de furação são com certeza um dos processos mais usados na usinagem, algumas operações tornam-se complexas e que requerem maiores cuidados, principalmente quando se fala em desvios em processo de furação. Isto se dá devido à broca dentre outras variáveis de processo, que durante o processo de furação tem a finalidade de produzir o furo e, ao mesmo tempo, remover o cavaco o mais rápido possível, evitando a quebra da ferramenta. Durante o processo de furação, as brocas também têm a função de deixar penetrar o fluido de refrigeração até a região mais próxima da aresta de corte, pois devido ao atrito entre broca e peça há um acréscimo de temperatura e isso colabora para o aumento do desgaste, diminuindo assim, a vida útil da broca (PENG et. al., 2008; STEMMER, 2001; WANG e ZHANG, 2008).

A furação consiste no processo de usinagem que tem por objetivo a geração de furos, na maioria das vezes cilíndricos, em uma peça, através do movimento relativo de rotação entre a peça e a ferramenta multi/monocortante, denominada broca. Segundo Klocke (2011), a ferramenta faz um movimento de avanço apenas na direção do seu eixo de rotação, que mantém a posição em relação à ferramenta e à peça. A furação faz parte do grupo de processos de usinagem com geometria de corte definida assim como o torneamento e o fresamento, envolvendo aproximadamente 30% de todas as operações de usinagem de metal e 75% do volume de material removido na usinagem (Castillo, 2005).

A grande maioria das peças presentes nas indústrias tem pelo menos um furo e, somente uma parte muito pequena dessas peças já vem com o furo pronto proveniente do processo de fundição, forjamento (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 2013). Em geral, as peças têm que ser furadas em cheio ou terem seus furos aumentados através do processo de furação.

De acordo com Amorim (2002), a velocidade de corte é a velocidade ideal para que a ferramenta corte o material através de um movimento circular ou através de golpes lineares, porém a velocidade de corte também depende de vários fatores como tipo de material a ser usado, tipo da ferramenta, tipo da operação a ser realizada, condições de refrigeração e condições da máquina.

Como em todo o processo de fabricação as peças usinadas também trabalham com determinadas tolerâncias de posicionamento que se tratam de um desvio dentro dos quais a peça consiga funcionar corretamente e atender as especificações estabelecidas no projeto, utilizando também o afastamento que se trata de um desvio aceitável das dimensões, para mais ou para menos, que permitem que a peça execute sua funcionalidade sem prejuízo.

Portanto, este experimento tem como objetivo o detalhamento da operação de furação com e sem pré-furo, sendo gerado várias formas de analisar qual operação será mais viável para produção em pequena e grande escala. Dessa forma

irá facilitar a tomada de decisão para quais operações realizar e seus impactos no dimensional da furação, bem como a melhor utilização dos recursos entregando o produto final dentro das especificações previstas pelo cliente.

## 2. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados em uma fresa convencional, analisando dois tipos de furações, sendo o primeiro ciclo as furações sem pré-furo, e o segundo ciclo as furações com pré-furo. O processo se dá início com preparo da peça, prendendo-a na morsa e posteriormente realizando o fresamento da referência do plano B e C, conforme Figura 1. Na Figura 1 também estão descritas o sistema de coordenada X e Y usado como referência nesse estudo.

O ciclo de pré-furo foi realizado com uma broca de centro, sem cobertura, (forma “A”, norma DIN 333A), com AP de 2,5mm e Vc 9 (m/min), e posteriormente, com uma broca de Ø8,5mm aço rápido (norma DIN 338), sem cobertura, com ângulo de ponta de 118°, com AP de 12mm e Vc 20 (m/min), sendo utilizado fluido de corte semi-sintético de forma intermitente.

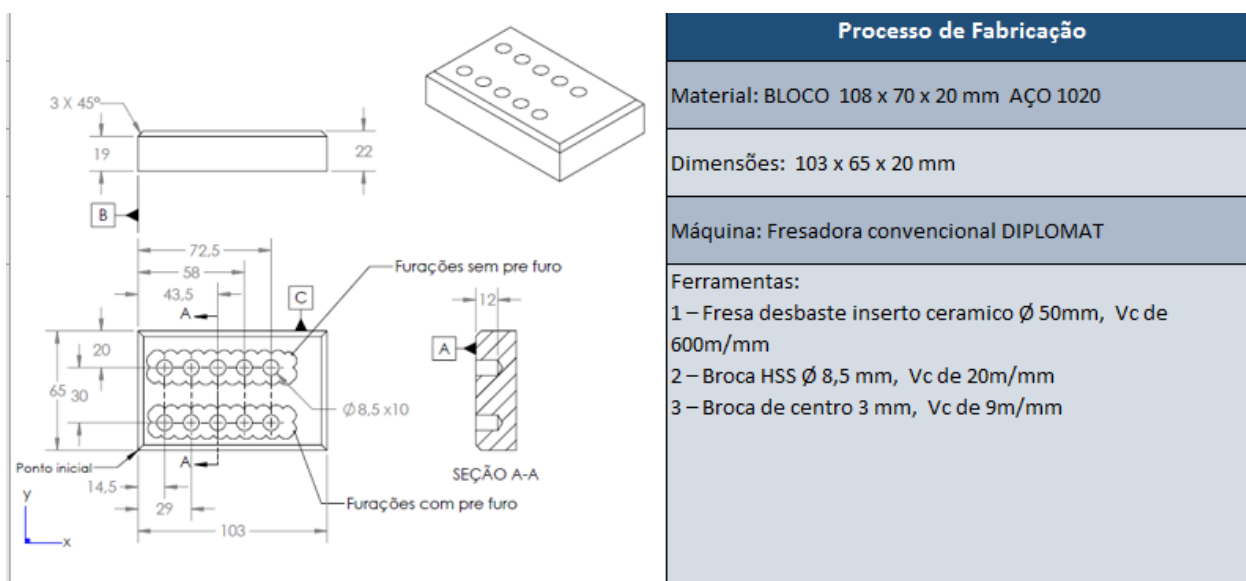


Figura 1 – Detalhamento do procedimento experimental (Autores, 2021)

O procedimento de medição foi realizado em uma máquina de medição por coordenadas (MMC), marca Mitutoyo, utilizando o software Geopak. Para calibração do apalpador, utilizou-se uma esfera padrão. Após elaborado o sistema de coordenadas foi dado início a medição dos círculos, utilizando as coordenadas fornecidas pelo desenho da Figura 1. As medições dos círculos foram feitas da esquerda para direita, tendo início na cadeia de furos feitos sem o furo de centro.

O campo de tolerância correspondente é disposto simetricamente em torno da posição teoricamente exata. Com isso, evita-se o acúmulo de erros provenientes da cotação em cadeia com indicação somente de tolerâncias dimensionais.

Portanto, o desvio de posição (DP) pode ser calculado a partir do teorema de Pitágoras, apresentado na Equação 1 abaixo:

$$Dp^2 = (100 - X1)^2 + (68 - Y1)^2 \quad (1)$$

O valor do desvio (DP) não pode exceder a metade do valor da tolerância de posição especificado no desenho técnico, uma vez que o campo de tolerância de forma circular é delimitado pelo seu raio.

## 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados coletados na medição por coordenadas foram sumarizados na Tabela 1, estando divididas as condições experimentais sem pré-furo e com pré-furo, tanto para as coordenadas X e Y. Analisando as duas condições experimentais, nota-se que a média dos desvios encontrados foi maior somente na coordenada X e especificamente na condição experimental sem pré-furo.

Tabela 1 - Análise dos valores do posicional em X e Y, a) para execução sem pré-furo e b) com a execução de pré-furo (Autores, 2021)

| (a) DADOS SEM PRÉ-FURO (mm) coordenada X |         |        |                      |                       |       | (c) DADOS COM PRÉ-FURO (mm) coordenada X |         |        |                      |                       |       |
|------------------------------------------|---------|--------|----------------------|-----------------------|-------|------------------------------------------|---------|--------|----------------------|-----------------------|-------|
| Furação                                  | Nominal | Obtido | Diferença da nominal | Diferença do anterior | Média | Furação                                  | Nominal | Obtido | Diferença da nominal | Diferença do anterior | Média |
| 1                                        | 14,500  | 14,416 | 0,084                |                       | 0,225 | 1                                        | 14,500  | 14,364 | 0,136                |                       | 0,219 |
| 2                                        | 29,000  | 28,656 | 0,344                | 0,260                 |       | 2                                        | 29,000  | 28,603 | 0,397                | 0,261                 |       |
| 3                                        | 43,500  | 42,947 | 0,553                | 0,209                 |       | 3                                        | 43,500  | 42,898 | 0,602                | 0,205                 |       |
| 4                                        | 58,000  | 57,218 | 0,782                | 0,229                 |       | 4                                        | 58,000  | 57,160 | 0,840                | 0,238                 |       |
| 5                                        | 72,500  | 71,515 | 0,985                | 0,203                 |       | 5                                        | 72,500  | 71,486 | 1,014                | 0,174                 |       |
| (b) DADOS SEM PRÉ-FURO (mm) coordenada Y |         |        |                      |                       |       | (d) DADOS COM PRÉ-FURO (mm) coordenada Y |         |        |                      |                       |       |
| Furação                                  | Nominal | Obtido | Diferença da nominal | Diferença do anterior | Média | Furação                                  | Nominal | Obtido | Diferença da nominal | Diferença do anterior | Média |
| 1                                        | 20,000  | 19,566 | 0,434                |                       | 0,034 | 1                                        | 50,000  | 49,838 | 0,162                |                       | 0,034 |
| 2                                        | 20,000  | 19,513 | 0,487                | 0,053                 |       | 2                                        | 50,000  | 49,856 | 0,144                | 0,018                 |       |
| 3                                        | 20,000  | 19,569 | 0,431                | 0,056                 |       | 3                                        | 50,000  | 49,856 | 0,144                | 0,000                 |       |
| 4                                        | 20,000  | 19,594 | 0,406                | 0,025                 |       | 4                                        | 50,000  | 49,875 | 0,125                | 0,019                 |       |
| 5                                        | 20,000  | 19,590 | 0,410                | 0,004                 |       | 5                                        | 50,000  | 49,973 | 0,027                | 0,098                 |       |

A busca por melhorias na qualidade objetiva-se por redução de variabilidade de processo. Barbetta, Reis e Bornia (2010) afirmam que a variabilidade pode ser reduzida investindo em equipamentos, pessoas e tecnologia. De outra forma, a instabilidade do processo pode ser contida conhecendo as relações entre os fatores do processo e características funcionais do produto, envolvendo conhecimentos em engenharia, pesquisas, dados e análises estatísticas. Portanto, de forma a verificar se não houve diferenças estatísticas significativas, a construção de intervalos de confiança é eficiente para mensurar diferença entre tratamentos.

Para construção desse intervalo, usando um nível de significância de  $\alpha=5\%$ , a tabela de distribuição T Student foi usada, devido as réplicas de ensaios serem menor que 30. Primeiramente foi calculado o intervalo de confiança para o deslocamento do eixo X, na condição experimental sem pré-furo com os dados coletados conforme apresentado na Tabela 1. De acordo com a Equação 2:

$$\bar{x} \pm t\sigma\bar{x} \quad (2)$$

onde,

$\bar{x}$  = Média

t = Distribuição t student

$\sigma\bar{x}$  = Desvio padrão da média

Posteriormente, substituindo a média encontrada para este ciclo, encontra-se a Equação 3:

$$0,225 \pm t\sigma\bar{x} \quad (3)$$

Segundo passo é definir o valor de t com base na amostragem e posteriormente calculados os graus de liberdade, conforme Equação 4:

$$\begin{aligned} t &= gl = n - 1 \\ gl &= 5 - 1 \\ gl &= 4 \\ \alpha &= 5\% \end{aligned} \quad (4)$$

Como a construção de intervalos de confiança é baseado em um teste bilateral, para um nível de significância igual a 0,025 e graus de liberdade igual a 4, encontra-se o valor de t= 2,776.

Na sequência deve-se encontrar o valor do desvio padrão da média, conforme Equação 5:

$$\begin{aligned} \sigma\bar{x} &= \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ \sigma\bar{x} &= \frac{0,0257}{\sqrt{5}} \\ \sigma\bar{x} &= 0,0114 \end{aligned} \quad (5)$$

Substituindo os valores encontrados na Equação 3, constrói-se o seguinte intervalo de confiança:

$$\begin{aligned} &0,225 \pm 2,776 * 0,0114 \\ &0,225 \pm 0,0316 \\ &[0,19; 0,26] \end{aligned} \quad (6)$$

Portanto, pode-se concluir com 95% de confiança que a coordenada x na condição experimental sem pré-furo, a variação está entre 0,19 e 0,26mm.

De forma semelhante, os mesmos intervalos de confiança para a média foram obtidos e sumarizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Construção dos intervalos de confiança, com 95% de confiança (Autores, 2021)

| Condição experimental      | Intervalo de confiança |
|----------------------------|------------------------|
| Coordenada x, sem pré-furo | [0,19; 0,26]           |
| Coordenada x, com pré-furo | [0,17; 0,27]           |
| Coordenada y, sem pré-furo | [-0,003; 0,064]        |
| Coordenada y, com pré-furo | [-0,02; 0,088]         |

Seguindo com as análises dos resultados podemos comprovar estatisticamente qual seria a melhor condição entre os dois ciclos de furações, para isto utilizaremos o método de hipótese entre duas médias. O teste foi aplicado dentro de cada eixo, sendo as hipóteses descritas como:

$H_0$ : as médias são iguais, e não pode se comprovar diferença;

$H_1$ : as médias são diferentes, comprovado que a diferença entre elas;

Abaixo calculamos a média, desvio padrão e a variância com base nos dados coletados da Tabela 1.

Tabela 3 - Dados referente ao eixo X para ciclo sem pré-furo (Autores, 2021)

|                        |        |
|------------------------|--------|
| Desvio padrão $\sigma$ | 0,0257 |
| Variância $\sigma_1^2$ | 0,0007 |
| Média                  | 0,225  |

Tabela 4 - Dados referente ao eixo X para ciclo com pré-furo (Autores, 2021)

|                        |        |
|------------------------|--------|
| Desvio padrão $\sigma$ | 0,0381 |
| Variância $\sigma_2^2$ | 0,0014 |
| Média                  | 0,219  |

Iniciando o cálculo para o eixo X com as médias dos ciclos de furacões com e sem pré-furo, temos:

$$\begin{aligned} H_0 &= \mu_1 - \mu_2 = 0 \\ H_1 &= \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

O cálculo comprobatório é dado através da fórmula:

$$z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (8)$$

Substituindo os dados na equação:

$$\begin{aligned} &= \frac{(0,255 - 0,219) - (0)}{\sqrt{\frac{(0,0007)}{5} + \frac{(0,0014)}{5}}} \\ &z = 1,76 \end{aligned} \quad (9)$$

Utilizando um nível de significância de 5%, e utilizando a tabela distribuição normal concluímos da seguinte forma representativa.

$$\begin{aligned} \alpha &= 5\% \\ z &> -1,96 \quad z < 1,96 \end{aligned} \quad (10)$$

Na Figura 2, o teste de hipótese entre duas médias conhecidas, podemos concluir com 95% de confiança que não rejeitamos a hipótese nula, portanto podemos afirmar que não há diferença significativa entre os métodos analisados. Observa-se que o z calculado está na área de aceitação da hipótese  $H_0$ .

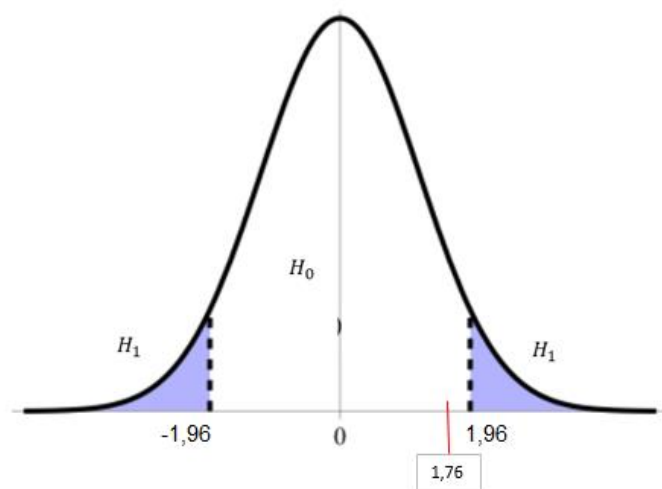


Figura 2 - Teste de hipótese entre duas médias conhecidas, análise em X (Autores, 2021)

Refazendo o mesmo procedimento, porém agora analisando a coordenada Y, nas duas condições, com e sem pré-furo. Abaixo calculamos a média, desvio padrão e a variância com base nos dados coletados da Tabela 1.

Tabela 5 - Dados referente ao eixo Y para ciclo sem pré-furo (Autores, 2021)

|                        |        |
|------------------------|--------|
| Desvio padrão $\sigma$ | 0,0247 |
| Variância $\sigma_1^2$ | 0,0006 |
| Media                  | 0,0345 |

Tabela 6 - Dados referente ao eixo Y para ciclo com pré-furo (Autores, 2021)

|                        |        |
|------------------------|--------|
| Desvio padrão $\sigma$ | 0,0437 |
| Variância $\sigma_2^2$ | 0,0019 |
| Media                  | 0,0337 |

Iniciando o cálculo para o eixo Y com as médias dos ciclos de furações com e sem pré-furo, temos:

$$\begin{aligned} H_0 &= \mu_1 - \mu_2 = 0 \\ H_1 &= \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

O cálculo comprobatório é dado através da fórmula:

$$z = \frac{((\bar{x}_1 - \bar{x}_2)) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (12)$$

Substituindo os dados na equação:

$$z = \frac{(0,0345 - 0,0337) - (0)}{\sqrt{\frac{(0,0006)}{5} + \frac{(0,0019)}{5}}} \quad (13)$$

$$z = 0,02$$

Utilizando um nível de significância de 5%, e utilizando a tabela distribuição normal concluímos da seguinte forma representativa.

$$\alpha = 5\% \quad (14)$$

$$z > -1,96 \quad z < 1,96$$

Na Figura 3 utilizando o teste de hipótese entre duas médias conhecidas, podemos concluir com 95% de confiança que não rejeitamos a hipótese nula, portanto podemos afirmar que não há diferença significativa entre os métodos analisados.

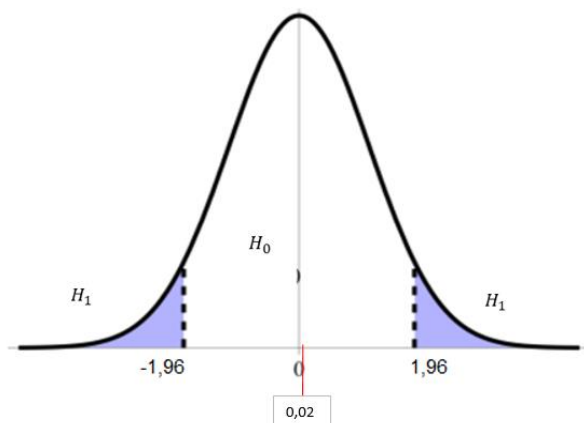


Figura 3 - Teste de hipótese entre duas médias conhecidas, análise em Y (Autores, 2021)

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nos cálculos e análises do relatório das medições realizada na tridimensional, fica evidenciado uma folga nos eixos e um desalinhamento no eixo X. O experimento tinha como intuito, verificar qual seria a influência no posicional das furações, utilizando ou não pré-furo no ciclo de furação, em uma superfície não usinada. De acordo com os resultados analisados e obtidos, ficou comprovado que não há diferenças estatísticas significativas de que a utilização de um pré-furo possa contribuir na precisão dimensional, de acordo com as variáveis de processos utilizadas nesse estudo.

#### 5. REFERÊNCIAS

- AMORIM, Heraldo José, Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e força de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro, Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia, Porto Alegre: UFRGS, 2002.
- CARVALHO, Fabio Kirsch. Influência dos parâmetros de corte na furação de chapas de alumínio 7075-T6. 2020. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/211409>> Acesso em: 26 jun.2020.
- CASTILLO, W. J. G. 2005. “Furação profunda do ferro fundido cinzento GG25 com brocas de metal duro com canais retos”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 134p.
- DEIBE, Valgas dos Santos. Análise dos Esforços de Usinagem na Furação do Ferro Fundido Vermicular ASTM A 842/2004. 2013. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/ppmec/Deibe%20Valgas.pdf> Acesso em: 19 abr. 2021
- ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS. Tolerância Dimensional. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4101447/mod\\_resource/content/1/Toler%C3%A2ncias%20e%20Ajustes.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4101447/mod_resource/content/1/Toler%C3%A2ncias%20e%20Ajustes.pdf)>. Acesso em: 03 jul. 2020.
- Klocke, F., 2011, “Manufacturing Processes 1 – Cutting”, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 504p
- PENG, Y., ZHANG, W., HE, F., XIONG, D., 2008. Drill flank measurement and flank/flute intersection determination, vol. 18, p 666-678.
- SOUSA, José Aécio Gomes.Desempenho de Ferramentas Reafiadas - Furação. 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14884/1/d.pdf>> Acesso em: 4 jul. 2020.
- STEMMER, C. E., 2001. Ferramentas de corte I. 5ª Edição, Florianópolis. Editora da UFSC, 249 p.
- WANG, J., ZHANG, Q. 2008. A study of high-perofrmance plane rake faced twist drills. Part 1: Geometrical analysis and experimental investigation. International Journal of Machine Tools e Manufacture, vol. 48, p 1276-1286.

#### 6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

## DRILLING CYCLE ANALYSIS WITH AND WITHOUT PRE-HOLE IN THE CONVENTIONAL MILLING PROCESS

Bruno Cesar Caetano Alves, [bruno.ctno@gmail.com](mailto:bruno.ctno@gmail.com)<sup>1</sup>

Michel Becker, [michel\\_becker1@estudante.sc.senai.br](mailto:michel_becker1@estudante.sc.senai.br)<sup>1</sup>

Francisco Fernando Pereira, [francisco\\_f\\_pereira@estudante.sc.senai.br](mailto:francisco_f_pereira@estudante.sc.senai.br)<sup>1</sup>

Djonathan Valfrido Duarte, [djhonathan\\_valfrido@estudante.sc.senai.br](mailto:djhonathan_valfrido@estudante.sc.senai.br)<sup>1</sup>

Eduardo Rodrigues, [edu2911ardo@gmail.com](mailto:edu2911ardo@gmail.com)<sup>1</sup>

Francielle Tamazzia, [francielle.tamazzia@gmail.com](mailto:francielle.tamazzia@gmail.com)<sup>1</sup>

Thais Balmann Schmitt, [thais.ballmann@edu.sc.senai.br](mailto:thais.ballmann@edu.sc.senai.br)<sup>1</sup>

Anderson de Carvalho Fernandes, [anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br](mailto:anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br)<sup>1</sup>

Bruna de Freitas Zappelino, [bruna.zappelino@edu.sc.senai.br](mailto:bruna.zappelino@edu.sc.senai.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville, Rua Arno Waldemar Döhler, 957 – Santo Antônio - 89219-510, Joinville

**Abstract:** Industrial experiments based on statistical methods are carried out by companies in order to improve the quality characteristics of products and obtain an understanding of the variables that effectively influence the most diverse manufacturing processes. In the machining process, several aspects have a direct impact on dimensional accuracy, whether during part fixation, cutting parameters, operational skill, type of tool and its sharpening, machine maintenance status, among others. Given this context, this study aims to analyze the dimensional accuracy during drilling in a conventional milling machine. Two drilling cycles were carried out on unmachined surfaces, with and without pre-drilling. By treating the data obtained with appropriate statistical models, it can be proved with 95% confidence that there was no statistical evidence that could prove that the execution of a pre-hole influences the drilling accuracy.

**Keywords:** Machining. Conventional milling machine. Drilling. Cutting parameters.

### RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.