

DESEMPENHO E VIDA ÚTIL DE BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO NO PROCESSO DE FURAÇÃO EM FERRO FUNDIDO NODULAR GGG50

Gustavo dos Santos Teixeira¹

Anderson Daleffe²

Resumo: O processo de furação ainda é um dos processos mais utilizados no setor industrial, onde praticamente qualquer produto, independente da aplicação, possui pelo menos um furo. O objetivo do estudo foi avaliar o desgaste provocado por uma broca de aço rápido com geometria definida em uma placa de ferro fundido nodular GGG50, estabelecendo uma análise do resultado do processo (desvio dimensional) e uma vida útil da ferramenta para interpretar a viabilidade da reafiação das brocas helicoidais. Foram determinadas duas condições com parâmetros de corte distintos, sendo a condição 1 com $v_c=32$ m/min, $f_n=0,09$ mm/rot e profundidade de furação de 30 mm e a condição 2 $v_c=32$ m/min, $f_n=0,13$ mm/rot e profundidade de furação de 30 mm e realizados ensaios de furação em um corpo de prova com dimensões de 495 x 235 x 60 mm em um material do grupo dos ferros fundidos nodulares. No primeiro momento, quatro paradas de máquinas foram estabelecidas para avaliar o desgaste do flanco principal e a geometria da furação da placa, os dados foram obtidos através de um sistema integrado de aquisição de dados. Posteriormente, outro ensaio foi realizado para determinar o teste de fim de vida estabelecendo uma relação de desgaste do flanco com o comprimento usinado. Todos os procedimentos foram realizados com ferramentas novas, e após o processo de reafiação para estabelecer uma comparação. Os resultados indicaram um aumento de desgaste e desvio geométrico decorrente do aumento de avanço da ferramenta e um pior desempenho das brocas após o processo de reafiação. Os fatores que podem ser citados para evidenciar seriam o aumento de temperatura no processo e as estruturas metalográficas da ferramenta e do material corpo de prova. Os gráficos também indicam que as brocas helicoidais reafiadas estabelecem uma vida útil menor que as brocas novas, porém a pouca diferença representada pelas curvas torna o processo válido, conseguindo executar o processo de afiação repetidamente.

Palavras-Chave: Reafiação. Desgaste flanco. Desvio dimensional. Broca de aço rápido. GGG50.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. Ano 2021-2. E-mail: gustavosty@hotmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A manufatura se caracteriza pela transformação de uma determinada matéria prima em um produto acabado através de um processo. Uma sequência de operações de fabricação torna uma matéria prima mais próxima do objeto final através de etapas individuais onde, na maioria dos casos, têm-se envolvido o processo de furação (GROOVER,2007).

Existem vários processos como forjamento ou fundição, por exemplo, que executam com facilidade a obtenção de furos sem a necessidade de algum método de usinagem, porém, a furação convencional ainda é o método mais utilizado na indústria (DINIZ et al., 2006). Independente da aplicabilidade, é comum uma peça possuir pelo menos um furo, tornando o processo ainda mais recorrente e importante, como por exemplo, em blocos de motores automotivos e montagem na indústria aeronáutica.

A alta demanda de produção exigida pelo mercado, aliada com outros fatores técnicos, faz com que o processo de furação sempre se execute sobre situações severas de trabalho, fazendo com que as ferramentas de corte (normalmente brocas), apresentem desgastes e vida útil reduzida.

O desgaste da ferramenta se origina gradativamente, decorrente da perda progressiva do material, existem muitos problemas associados a diminuição de desempenho e vida útil das brocas como a dificuldade do fluido de corte trabalhar sobre as áreas de contato (inibindo sua função principal de refrigeração e lubrificação); a velocidade de corte variando do centro para a periferia e a retirada de cavacos dentro do furo. Contudo, essas condições devem ser associadas previamente com as características relacionadas ao processo e ao tipo de material, tais como: rugosidade, tolerância dimensional, furo passante ou cego, usinabilidade, dureza do material, entre outros.

Com a progressão do desgaste da ferramenta, se torna cada vez mais acentuado o surgimento de defeitos de processo comprometendo a circularidade, cilindricidade e o acabamento dos furos. Ao manifestar muitos desgastes, a ferramenta começa a apresentar baixa qualidade da superfície, baixo rendimento, aquecimento excessivo, comprometendo o tempo de fabricação de uma peça (fator muito importante em indústrias, que trabalham com prazo de entrega) e

consequentemente o custo envolvido. Tendo ideia dos problemas envolvidos, faz-se necessário estabelecer um limite de desempenho que irá determinar a vida útil de uma broca, podendo recorrer a uma ferramenta nova ou realizar o processo de reafiação.

Uma broca helicoidal, por exemplo, tem condições de readquirir até 90% da sua capacidade após ser reafiada com um custo extremamente baixo (cerca de 10% do valor de uma nova) (OSTRONOFF, 2007). Dessa forma, apenas realizando o processo uma única vez já garante um bom custo-benefício antes de a ferramenta ser descartada, tornando uma alternativa viável para as empresas.

Os descartes anuais dessas ferramentas sem necessidade somam um prejuízo que se estende a cada dia. O processo de furação é a operação de usinagem mais comum no setor metalmeccânica, portanto, a reafiação se torna uma escolha viável para a constância da ferramenta e redução de custos (SOUSA et al., 2011).

Com base nesses levantamentos, o objetivo é avaliar o desempenho de brocas helicoidais novas e reafiadas no processo de furação, determinando a influência entre a ferramenta e as propriedades mecânicas do material pelo desgaste da ferramenta de corte e os desvios de dimensão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A furação com brocas, juntamente com o torneamento, é uma das operações mais importantes quando se trata de usinagem de metais. Definida como um processo de usinagem com movimento de corte circular, onde a ferramenta possui movimento de avanço apenas na direção do seu eixo de rotação, mantendo posição em relação a ferramenta e a peça (CASTILLO, 2005).

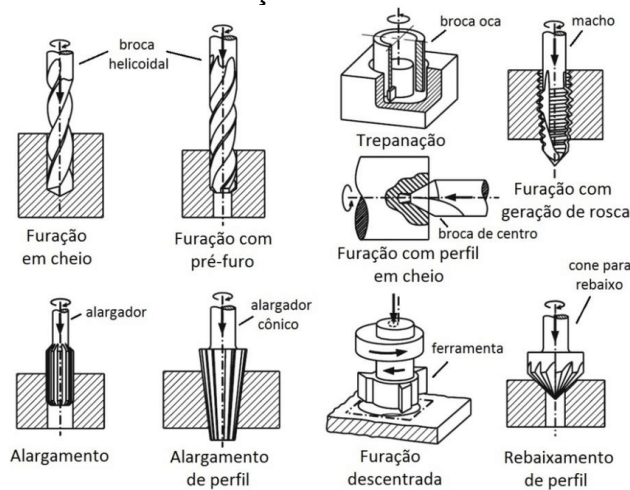
O processo continua sendo o mais comum industrialmente, mesmo com a alta crescente relacionada a manufatura aditiva. A realização dos furos (usinagem subtrativa) é relacionada muitas vezes como atividade secundária, decorrente da necessidade da realização de outros processos, como: retificação interna, mandrilhamento, alargamento, brochamento, torneamento interno, entre outros.

2.1 DEFINIÇÕES NO PROCESSO DE FURAÇÃO

Existem vários fatores que podem dificultar a atuação correta da ferramenta de corte na furação. A broca tem a finalidade de realizar o furo e paralelamente

promover a retirada do cavaco o mais rápido possível, tentando evitar o atrito das paredes da peça com os cavacos, conseqüentemente, aumentando os esforços produzidos na ferramenta, levando à quebra da broca precocemente. Outra finalidade que pode ser destacada é que a ferramenta de corte facilita o escoamento do fluido de refrigeração até as partes onde se concentram maior acréscimo de temperatura produzida entre a peça e a broca (STEMMER, et al., 1993). A Figura 1 mostra alguns tipos de processo de furação mais utilizados atualmente na manufatura de produtos.

Figura 1: Determinação dos tipos de Processo de Furação.

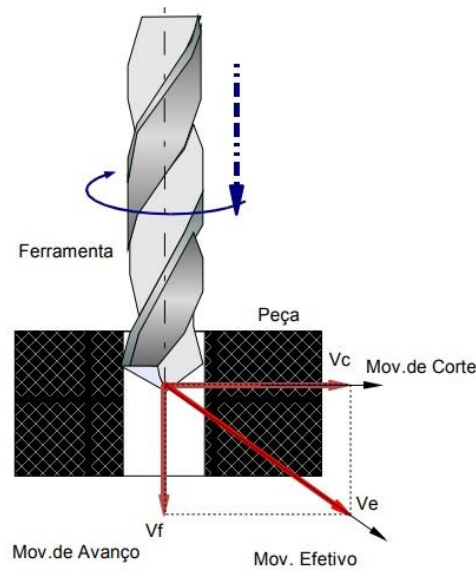


Fonte: Adaptado de Castillo (2005)

Os furos são realizados, na grande maioria dos casos, por brocas helicoidais, contudo, não pode ser considerada uma operação de acabamento pois existe uma alta rugosidade nas paredes do furo da peça proveniente da ferramenta (PANGRÁCIO, et al., 2003).

O processo de furação se concretiza a partir da ação realizada pela ferramenta de corte na peça. A broca, que se torna responsável por realizar o furo, executa um movimento de rotação e realiza um movimento de translação perpendicular à superfície do furo (SOUZA, 2011). A Figura 2 mostra as direções dos movimentos resultantes quando executado o processo.

Figura 2: Direção dos Principais Movimentos.



Fonte: Adaptado de Stoeterau (2007)

Segundo Stemmer (1993) os movimentos que definem a ocorrência do processo de usinagem se dão pela seguinte forma:

❖ **Movimento Efetivo:** vetor resultante dos movimentos de corte e avanço simultaneamente.

❖ **Movimento Corte:** movimento entre a ferramenta e a peça, que origina somente uma saída de cavaco se o movimento de avanço não estiver envolvido.

❖ **Movimento de Avanço:** movimento entre a peça e a ferramenta que, juntamente com o movimento de corte, realiza a retirada constante de cavaco.

O espaço percorrido pela ferramenta de corte na direção longitudinal no seu eixo em uma revolução completa da broca se denomina avanço de corte (CASTILLO, 2005). A remoção do cavaco é altamente facilitada decorrente do aumento do avanço, porém, faz com que o ângulo efetivo de folga diminua, aumentando uma possível deformação plástica do fundo do furo. Conseqüentemente, essa deformação encrua o material e se faz necessário uma maior força de avanço para realizar o corte, principalmente no centro onde possui menor medida de ângulo. A partir de um determinado valor, o avanço pode quebrar a ferramenta ou causar a

paralização da máquina por falta de potência no eixo árvore, ou seja, existe um limite para o aumento de avanço (DINIZ, et al., 2006).

A velocidade de avanço resulta-se do produto do avanço pela rotação da ferramenta. A Eq. (1) mostra o cálculo para a velocidade de avanço (MACHADO et al., 2009).

$$Vf = f \times n = f \times \frac{1000 \times Vc}{\pi \times D} \quad (1)$$

Onde:

Vf = Velocidade de avanço (mm/min);

f = Avanço (mm/volta);

Vc = Velocidade de corte (m/min);

D = Diâmetro da broca (mm);

n = Rotação da ferramenta (rpm).

A velocidade de corte é relacionada com o diâmetro do furo e com a rotação da ferramenta., definida pela velocidade tangencial resultante da rotação da ferramenta em torno da peça. Essa unidade é totalmente relacionada com o material usinado, potência consumida da máquina, vida da ferramenta, tempo de usinagem e acabamento superficial (DINIZ et al., 2006). A velocidade de corte é denominada conforme mostrado na Eq. (2) (MACHADO et al., 2009).

$$Vc = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (2)$$

Onde:

Vc = Velocidade de corte (m/min);

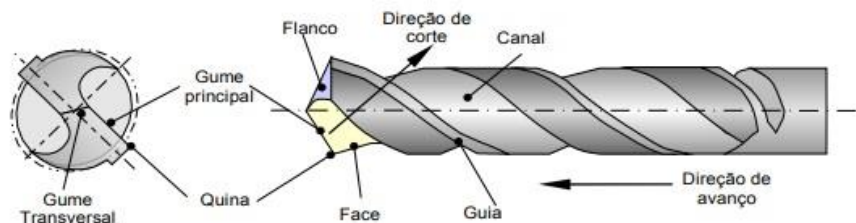
D = Diâmetro da broca (mm);

n = Rotação da ferramenta (rpm).

2.2 GEOMETRIA DAS BROCAS HELICOIDAIS

O desempenho de uma ferramenta de corte se reflete diretamente pela geometria estabelecida. Ao estabelecer um valor definido para os ângulos, e conhecendo as superfícies atuantes, pode-se avaliar e determinar um melhor tipo de afiação ou reafiação totalmente dependente da aplicação realizada (CASTILLO, 2005). Para definir e descrever alguns conceitos empregados na ferramenta de corte, se faz necessário a conceptualização da Figura 3 e Figura 4.

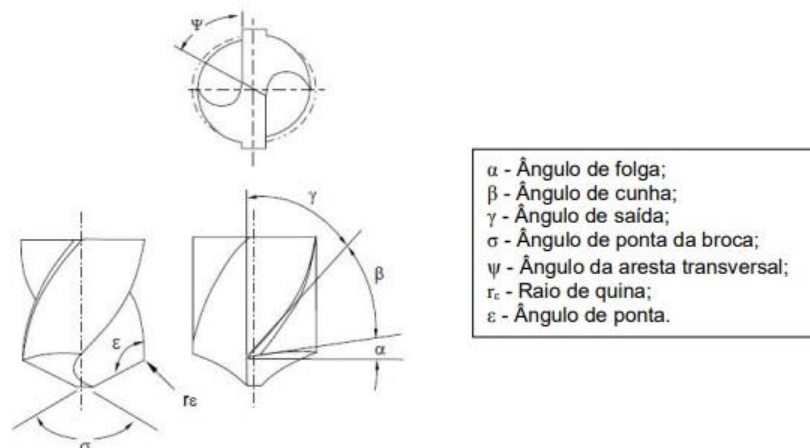
Figura 3: Denominações para as brocas helicoidais.



Fonte: Adaptado de Stoeterau (2007)

- ❖ **Quina:** Ponto de encontro entre os gumes principal e secundário.
- ❖ **Gume Principal:** Interseção da face e do flanco principal.
- ❖ **Flanco:** Superfície voltada diretamente para a peça.
- ❖ **Face:** Superfície da cunha para onde há a saída de cavaco.
- ❖ **Guia:** Ressaltos na superfície que auxiliam a guiar e reduzir o atrito.
- ❖ **Canal:** Superfície de saída da ferramenta.

Figura 4: Geometria da cunha de uma broca helicoidal.



Fonte: Adaptado de Castillo (2005)

O ângulo de saída lateral da broca (γ) é uma medida variável ao longo do diâmetro da ferramenta. O ângulo vai diminuindo de acordo com o sentido para centro da broca, tornando-se negativo na transição para a aresta transversal (que varia com as características do material a ser usinado). Segundo Castillo (2005), o principal objetivo do ângulo de saída negativo é fazer com que a ferramenta execute uma compressão perto da aresta, porém, a saída negativa do ângulo também apresenta desvantagens como maior calor gerado na ferramenta, necessidade de maior potência e força de usinagem e menor qualidade da superfície usinada.

O ângulo de ponta da broca (σ) permite o controle da direção de saída de cavaco e possui uma força passiva que ajuda a eliminar possíveis vibrações, além de aumentar o comprimento atuante da aresta de corte e diminuir a espessura de cavaco na retirada do material. Em muitos casos, para aumentar a resistência mecânica, pode-se aumentar o ângulo de ponta da broca que, conseqüentemente, aumenta o ângulo de ponta (ϵ). A obtenção de um ângulo de ponta menor resulta em um cavaco mais fino, entretanto, dependendo do material a ser usinado ou da dificuldade da geometria da peça, uma análise para um melhor tipo de ângulo deve ser realizada (STEMMER et al., 1993).

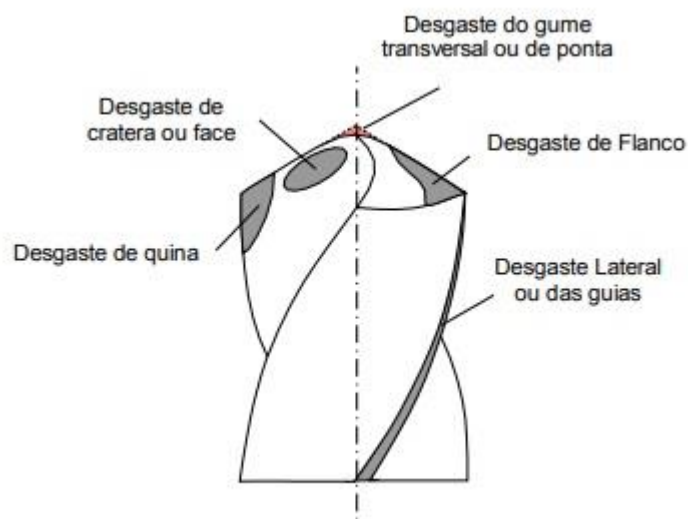
O ângulo de folga (α) tem a função de permitir que a aresta penetre no material e o corte ocorra livremente, além de evitar o atrito entre as superfícies de corte e folga da ferramenta. Um dos principais fatores que afetam a vida útil da ferramenta é o ângulo de folga, quando esse ângulo é muito pequeno, acarreta uma dificuldade de penetração do material, resultando em um superaquecimento da broca, mau acabamento superficial do furo e aumento de atrito com a peça. Contudo, um ângulo de folga muito grande aumenta a possibilidade de quebra da aresta, sofrendo pequenos lascamentos na cunha e diminuindo a efetividade de corte. A resistência da dureza do material da peça e a resistência da ferramenta são os principais determinantes para ajustar o melhor ângulo de folga possível (STOETERAU et al., 2007).

2.3 FORMAS DE DESGASTE E VIDA ÚTIL DA FERRAMENTA DE CORTE

A broca helicoidal sofre inúmeros esforços decorrentes do processo de furação. Essas sobrecargas possuem origens mecânicas e térmicas, acometendo

principalmente o gume da ferramenta, agindo em um modo de causa e efeito que possui uma denominação chamado de mecanismo de desgaste (CASTILLO, 2005). Esse complexo sistema de causa e efeito resulta em uma perda progressiva tanto de material da peça, como da própria ferramenta, decorrente da relação entre ferramenta, cavaco e peça. Na furação, os principais sinais visíveis de desgaste da broca aparecem nas regiões de quina e nas guias laterais, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5: Principais desgastes da ferramenta de furar.



Fonte: Adaptado de Stoeterau (2007)

Na análise de uma ferramenta de corte, os desgastes do flanco e de face são tomados como unidades mensuráveis para determinação do critério de vida útil da ferramenta. Segundo Stoeterau (2007), esses critérios possuem consequências diretas afetando desvios nas tolerâncias dimensionais, geométricas, aumento dos esforços envolvidos, vibrações do processo e a constante diminuição de qualidade superficial.

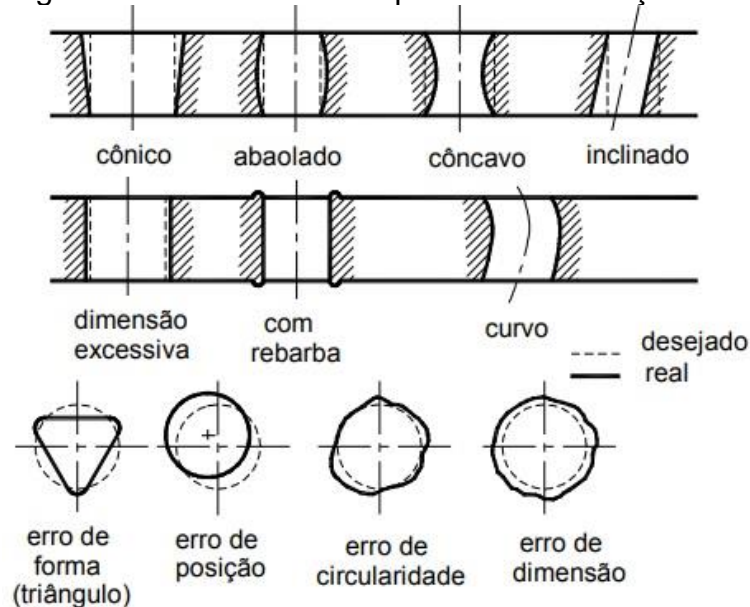
À medida que a ferramenta vai trabalhando, principalmente nas indústrias onde a escala de produção é muito elevada e longa, nota-se que a broca vai perdendo suas características principais, afetando seu desempenho. Fatores como temperatura, forças e potências necessárias aumentam, tornando a qualidade de processo reduzida. Deixar a ferramenta chegar a esse ponto é totalmente inviável, tornando o processo de reafiação muito mais difícil e impactando em custos desnecessários. Por isso que, decorrente da dificuldade de medições e interpretações

de desgaste na ferramenta, as indústrias utilizam como critério de vida o número de peças produzidas por ferramenta. Contudo, existem muitos fatores que também podem ser adotados como a falha preliminar ou completa da ferramenta, formação de rebarbas, alteração dimensional da peça e até a variação de formação de cavacos (MACHADO et al., 2009).

2.4 ERROS GEOMÉTRICOS NO PROCESSO DE FURAÇÃO

Na usinagem de peças, a qualidade do produto é um fator a ser considerado como comparativo da situação da ferramenta de corte. Pela análise da qualidade do furo, pode-se dizer o estado da broca e até mesmo identificar onde se encontra a causa para um acabamento superficial ruim. A precisão de qualquer furo é dependente de muitos fatores como o processo utilizado, tipo de máquina e parâmetros a serem utilizados (TEIXEIRA et al., 1995). Dependendo das condições do processo podem surgir erros, comuns no setor industrial, que são resumidos na Figura 6.

Figura 6: Erros comuns no processo de furação.



Fonte: Adaptado de Stoeterau (2007)

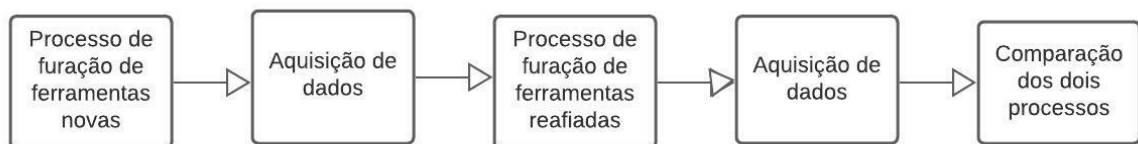
Para os furos serem considerados admissíveis, existem tolerâncias a serem seguidas que pode ser de natureza de forma e dimensionais. As tolerâncias dimensionais se caracterizam pelas medidas nominal e real encontradas no furo, e as

tolerâncias de forma estão relacionadas com a geometria dos furos (CASTILLO et al, 2005). A análise desses parâmetros também pode ser considerada como critério de avaliação de desempenho da ferramenta que, ao estabelecer um limite aceitável, induz a uma alternativa de reafiar ou substituir a ferramenta de corte.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As ferramentas de corte utilizadas no processo de furação foram submetidas a ensaios de desgaste em um corpo de prova dimensionado com as características de um material de ferro fundido nodular GGG50, de acordo com a norma DIN-EN-1563 comparando o desempenho ao utilizar ferramentas novas e reafiadas. Os testes, aquisição e análise de dados foram realizados nos Laboratórios da Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNISATC e na empresa Siderúrgica Catarinense. A Figura 7 mostra o fluxograma do planejamento experimental global executado.

Figura 7: Fluxograma do planejamento global experimental.



Fonte: Do Autor (2021)

3.1 FERRAMENTA DE CORTE E CORPO DE PROVA

Para os ensaios de furação foram utilizadas 7 brocas de aço rápido, de diâmetro de 8 mm da marca DORMER, comprimento de corte de 75 mm e comprimento total de 117 mm. As brocas estão de acordo com a norma DIN 338, possuindo ângulo de ponta de 118° , facilmente encontradas comercialmente. A ferramenta de corte foi montada em conjunto com um porta pinças (acessório do centro de usinagem), isso facilitou todo o processo principalmente na etapa de retirada da ferramenta para a aquisição e coleta de dados. A Figura 8 mostra as brocas helicoidais utilizadas no procedimento experimental.

Figura 8: Brocas helicoidais utilizadas.



Fonte: Do Autor (2021)

No experimento, foram utilizadas duas placas de ferro fundido nodular GGG50 usinadas com as dimensões de 495 x 235 x 60 mm, localizadas nas dependências do Centro Universitário UNISATC. Em uma das placas, foi extraído um corpo de prova de dimensões 15 x 15 x 60 mm para a realização dos ensaios de dureza, composição química e análise metalográfica. Os ensaios foram realizados em parceria com a empresa Siderúrgica Catarinense, que auxiliou para obter os resultados referentes ao material estudado.

A dureza Brinell, foi executada através de um durômetro portátil da marca Durocontrol modelo Duroking DK-3000 e resultou em um valor médio de dureza de 187 HB. A composição química foi analisada através do espectrômetro da marca Spectro, modelo SpetroLab, mostrando uma similaridade dos elementos químicos no grupo dos ferros fundidos nodulares. A composição química da placa é mostrada na Figura 9.

Figura 9: Composição química do GGG50.

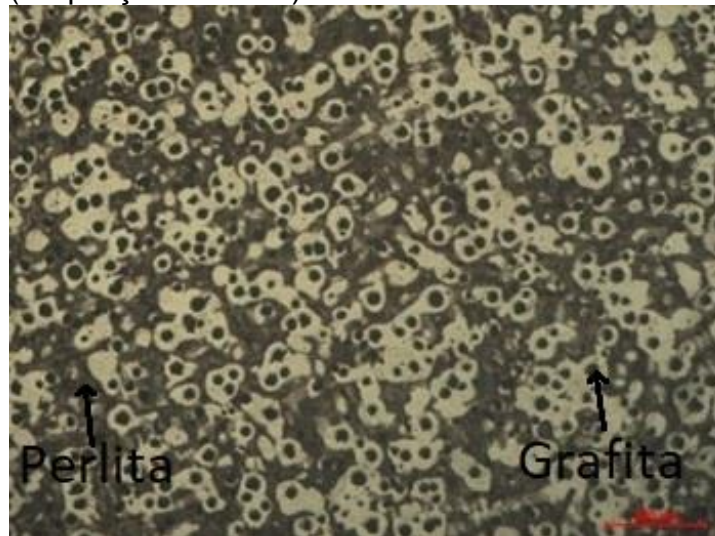
(%) Composição Química/Chemical composition							
Corrida <i>batch</i>	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg
	3,562	2,743	0,502	0,056	0,008	0,498	0,041

Fonte: Siderúrgica Catarinense (2021)

Foi executada uma análise metalográfica através de um microscópio óptico da marca Zeiss, modelo Axio Lab A1, com câmera de captura da marca CMOS digital colorida de 12 megapixels, onde o corpo de prova foi processado com ataque em nital 2%. O resultado deste tipo de ensaio tem grande influência na análise qualitativa do material, pois dependendo do método de fabricação (forjamento, fundição, laminação,

entre outros) pode apresentar uma microestrutura heterogênea em todo o comprimento da placa, afetando a usinabilidade do material e apresentando uma possível variação na aquisição dos dados. A análise metalográfica é mostrada na Figura 10.

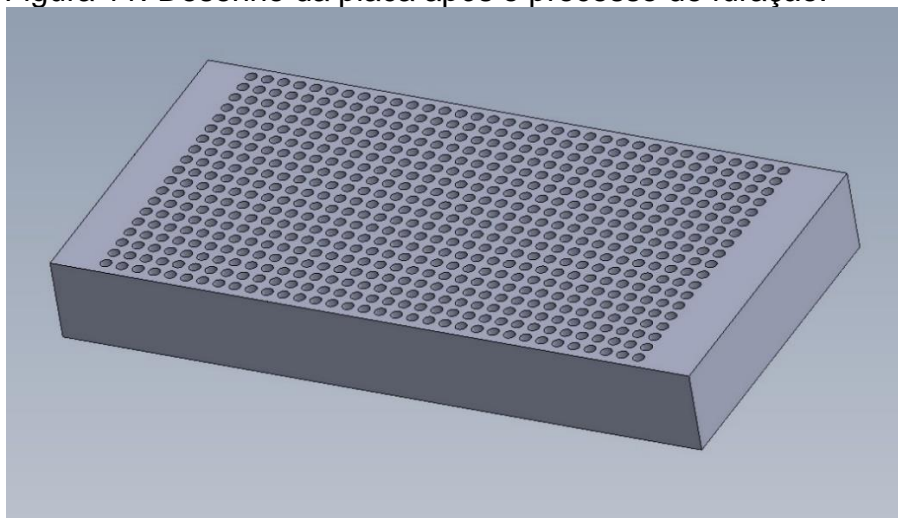
Figura 10: Análise metalográfica do GGG50 (Ampliação de 100x).



Fonte: Siderúrgica Catarinense (2021)

As placas utilizadas nos ensaios, possuíram dimensões de 495 x 235 x 60 mm, conforme a Figura 11. O método de distribuição dos furos escolhidos resultou no maior aproveitamento de toda a placa e facilitou para referenciar a ferramenta na máquina.

Figura 11: Desenho da placa após o processo de furação.



Fonte: Do Autor (2021)

3.2 MÁQUINAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO

O processo de furação foi realizado em um centro de usinagem da marca Romi modelo Discovery 4022 vertical nas dependências da instituição de ensino Centro Universitário UNISATC. O equipamento possui comando por computador, com potência de motor no eixo árvore de 7,5 cv e rotação máxima de 6000 rpm. O programa a ser utilizado na máquina induz uma parada pela quantidade pré-definida a cada 30 furos, para a medição de desgaste. A Figura 12 mostra o equipamento CNC utilizado.

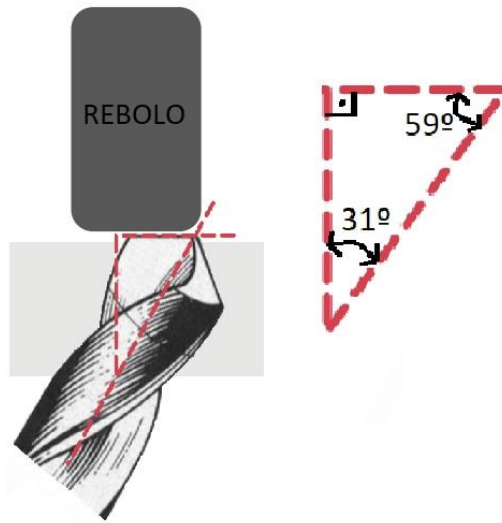
Figura 12: Centro de Usinagem CNC



Fonte: Do Autor (2021)

Para validação da segunda etapa de coleta de dados, um procedimento de reafiação foi executado nas brocas novas utilizadas. O processo de reafiação das ferramentas de corte foram feitos por um esmeril da marca LPX e um goniômetro da marca Nove54, para traçagem condizente na base do esmeril para formar um ângulo de afiação de 118° . A escolha desse método para realizar a reafiação em brocas helicoidais, se tem por ser o método mais utilizado pelas indústrias ao realizar esse tipo de processo, porém, o uso no goniômetro padroniza o ângulo de ponta atuante entre as ferramentas novas e reafiadas para corte, garantindo uma maior veracidade dos resultados obtidos. A Figura 13 mostra o processo de reafiação.

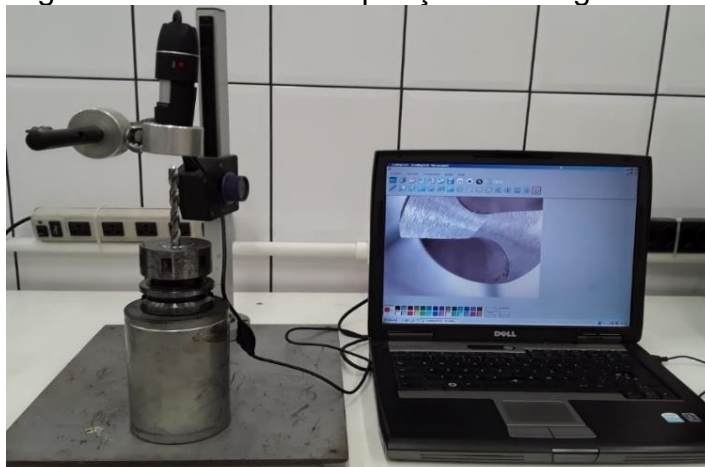
Figura 13: Processo de reafiação.



Fonte: Do Autor (2021)

O ponto principal do experimento deferido resulta na coleta de imagens e análises referente ao desgaste efetuado em ferramentas de corte novas e reafiadas, para isso, foi necessário a utilização de um sistema de aquisição de imagens basicamente composto por um microscópio óptico digital da marca Knup modelo KP-8012, que possui uma conexão via porta USB, e um microcomputador com *software* para realizar a medição das imagens obtidas através de uma relação de conversão de pixel para milímetro. A ferramenta foi analisada em um conjunto montado com o porta pinça do centro de usinagem, facilitando a retirada da ferramenta para análise, conforme Figura 14. Esse sistema foi elaborado pois pode ocorrer algum tipo de erro de distorção de medição ou da própria aquisição das imagens.

Figura 14: Sistema de aquisição de imagens



Fonte: Do Autor (2021)

3.3 DESVIOS GEOMÉTRICOS DOS FUROS

O desgaste da ferramenta não foi o único fator analisado no experimento. A condição superficial e dimensional dos furos foi algo totalmente dependente da progressão de desgaste da broca helicoidal. Ao decorrer do processo de furação, existiu um aumento de temperatura e um desgaste gradativo das arestas de corte que origina erros geométricos como a ovalização. Para a conferência dos furos, foi utilizado um paquímetro da marca Mitutoyo com capacidade de medição na faixa de 0 a 300 mm com resolução de 0,02 mm conforme a Figura 15.

Figura 15: Paquímetro utilizado



Fonte: Do Autor (2021)

Um total de 120 furos foram realizados por ferramenta de corte na condição nova e mais 120 furos na condição reafiada. Do total de 120 furos, 4 paradas de máquina foram efetuadas (a cada 30 furos). Em cada parada determinada anteriormente, 5 medições foram realizadas (2 furos antes do estabelecido pelo procedimento, 1 no furo a ser analisado e 2 furos após) com o intuito de estabelecer um valor mediano que supra possíveis erros de medição ou de acuracidade do instrumento.

3.4 PARÂMETROS E MÉTODO

O método de obtenção das informações referentes ao desgaste progressivo da ferramenta de corte foi definido pela determinação de duas velocidades de avanço distintas para a mesma variável de corte. O objetivo dessa variação e escolha dos parâmetros foi estabelecer uma condição condizente que mostrasse resultados de desgaste, já que o processo de furação foi realizado sem a

utilização de fluido de corte, ou seja, nenhum tipo de lubrificação ou refrigeração foi aplicado ao processo, ao qual acelera o desgaste da ferramenta e acentua a importância do fluido refrigerativo no processo de usinagem. Foram definidos os parâmetros da condição 1 com $v_c=32$ m/min, $f_n=0,09$ mm/rot e profundidade de furação de 30 mm, para a condição 2 foi definido $v_c=32$ m/min, $f_n=0,13$ mm/rot e profundidade de furação de 30 mm

Com os parâmetros definidos, em cada condição (um e dois), foram realizados três ensaios com as ferramentas novas (com 4 paradas a cada 30 furos para medição de desgaste), posteriormente elas foram submetidas ao processo de reafiação e repetido os ensaios com as ferramentas reafiadas (com a mesma condição de parada das brocas helicoidais novas). O objetivo de executar o método dessa maneira foi estabelecer uma média de valores para as mesmas condições e obter resultados para efetuar a comparação entre o desempenho de ferramentas novas e reafiadas. Com a condição de quatro paradas pré-estabelecidas por ensaio, foi executada a aquisição de dados e imagens referentes ao desgaste da ferramenta e a medição dimensional dos furos para avaliação da variante qualidade superficial. A Tabela 1 exemplifica o procedimento executado sobre as duas condições impostas para melhor compreensão.

Tabela 1: Procedimento experimental

Condição 1			Condição 2		
Parametros			Parametros		
Velocidade de corte:	32	m/min	Velocidade de corte:	32	m/min
Avanço:	0,09	mm/rot	Avanço:	0,13	mm/rot
Profundidade de furação:	30	mm	Profundidade de furação:	30	mm
Brocas novas			Brocas novas		
Teste A1	Teste B1	Teste C1	Teste X1	Teste Y1	Teste Z1
Furo 30	Furo 30	Furo 30	Furo 30	Furo 30	Furo 30
Furo 60	Furo 60	Furo 60	Furo 60	Furo 60	Furo 60
Furo 90	Furo 90	Furo 90	Furo 90	Furo 90	Furo 90
Furo 120	Furo 120	Furo 120	Furo 120	Furo 120	Furo 120
Brocas Reafiadas			Brocas Reafiadas		
Teste A2	Teste B2	Teste C2	Teste X2	Teste Y2	Teste Z2
Furo 30	Furo 30	Furo 30	Furo 30	Furo 30	Furo 30
Furo 60	Furo 60	Furo 60	Furo 60	Furo 60	Furo 60
Furo 90	Furo 90	Furo 90	Furo 90	Furo 90	Furo 90
Furo 120	Furo 120	Furo 120	Furo 120	Furo 120	Furo 120

Fonte: Do Autor (2021)

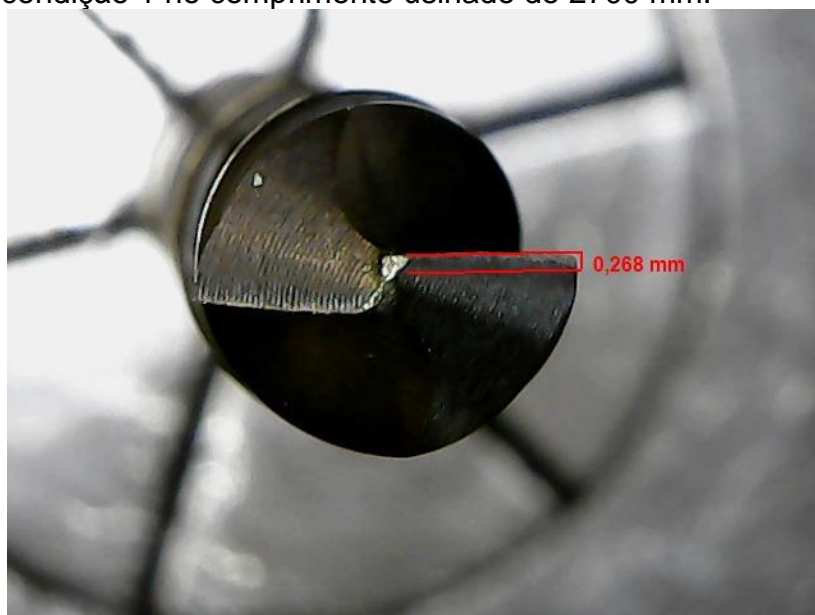
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizadas medições de desgaste de flanco da ferramenta de corte nos ensaios de furações em placas de ferro fundido nodular GGG50 para correlacionar o desempenho de ferramentas novas e reafiadas. Posteriormente, com a placa toda usinada, a medição dos furos para identificar as possíveis variações de diâmetro avaliando o resultado do produto final e, por fim, um ensaio de teste de fim de vida útil da ferramenta, para comparação das duas condições.

4.1 ANÁLISE DE DESGASTE DA FERRAMENTA DE CORTE

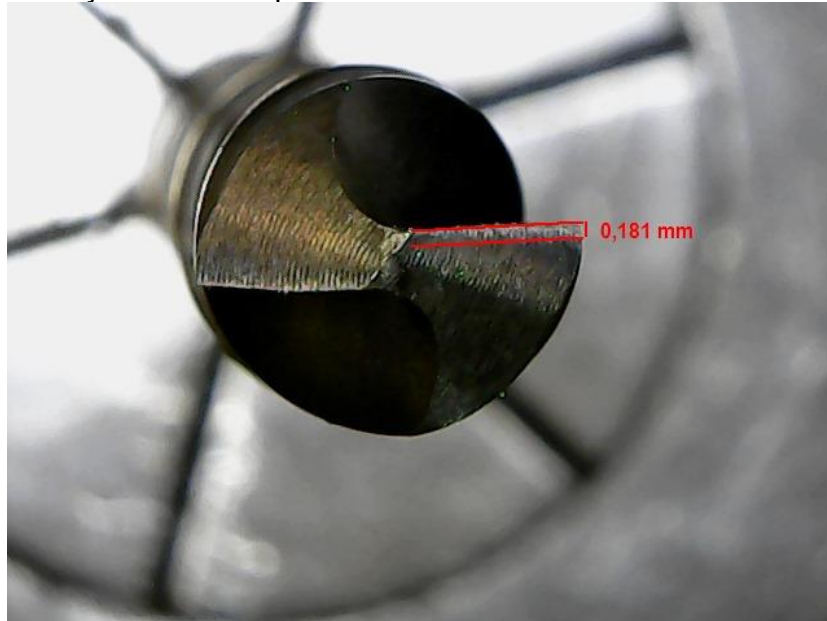
Com os parâmetros condição 1 (um) com $v_c=32$ m/min, $f_n=0,09$ mm/rot e profundidade de furação de 30 mm e condição 2 com $v_c=32$ m/min, $f_n=0,13$ mm/rot e profundidade de furação de 30 mm definidos anteriormente, foram realizadas as aquisições de imagens dos 4 pontos de parada em ferramentas novas e reafiadas, gerando os gráficos comparativos de desgaste do flanco $VB_{m\acute{a}x}$ pelo comprimento. A Figura 16 e a Figura 17 mostram um exemplo do procedimento adotado para extração dos dados de desgaste em milímetros pela aquisição de imagens no ensaio de furação em brocas novas e reafiadas.

Figura 16: Desgaste do flanco das brocas novas na condição 1 no comprimento usinado de 2700 mm.



Fonte: Do Autor (2021)

Figura 17: Desgaste do flanco das brocas reafiadas na condição 1 no comprimento usinado de 900 mm

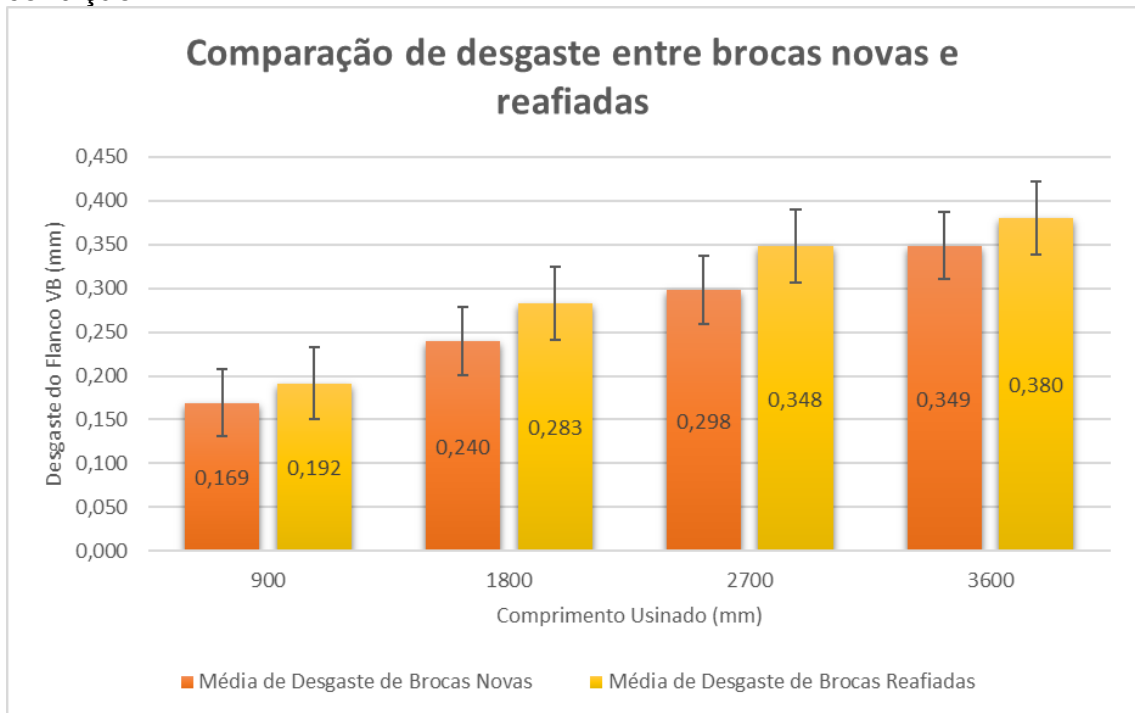


Fonte: Do Autor (2021)

Como pode ser identificado nas figuras, houve a formação da aresta postiça de corte, principalmente na região do gume transversal. Esse tipo de formação é muito comum na usinagem de ferros fundidos, sendo um dos fatores a serem considerados no desgaste da ferramenta. A estrutura metalográfica do ferro fundido contribui consideravelmente com a existência da grafita livre que é considerado um lubrificante e também um facilitador para a quebra de cavacos oriundos do processo.

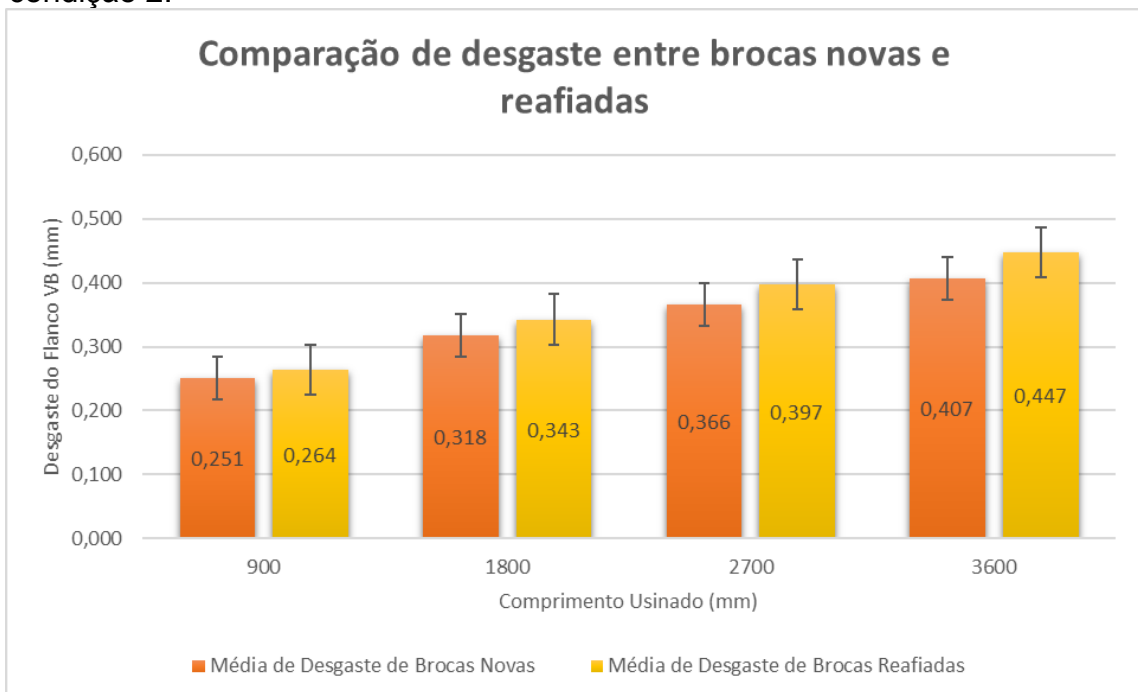
Ao comparar o desempenho das ferramentas novas e reafiadas individualmente sobre cada condição, foi notado um pior desempenho nas brocas reafiadas, que pode ser relacionado a possíveis mudanças na estrutura do material da ferramenta decorrente da formação da aresta postiça de corte da broca, elevadas temperatura submetidas no processo e a variação de dureza da placa de teste decorrente dos nódulos de grafita do ferro fundido nodular. As ferramentas reafiadas apresentaram em média uma taxa de 13,5% de desgaste maior em relação as ferramentas novas chegando a um valores de 17% em pontos específicos, conforme evidenciados na Figura 18 e a Figura 19 mostrando a comparação entre os ensaios em brocas novas e reafiadas.

Figura 18: Comparação de desgaste de ferramentas novas e reafiadas na condição 1.



Fonte: Do Autor (2021)

Figura 19: Comparação de desgaste de ferramentas novas e reafiadas na condição 2.



Fonte: Do Autor (2021)

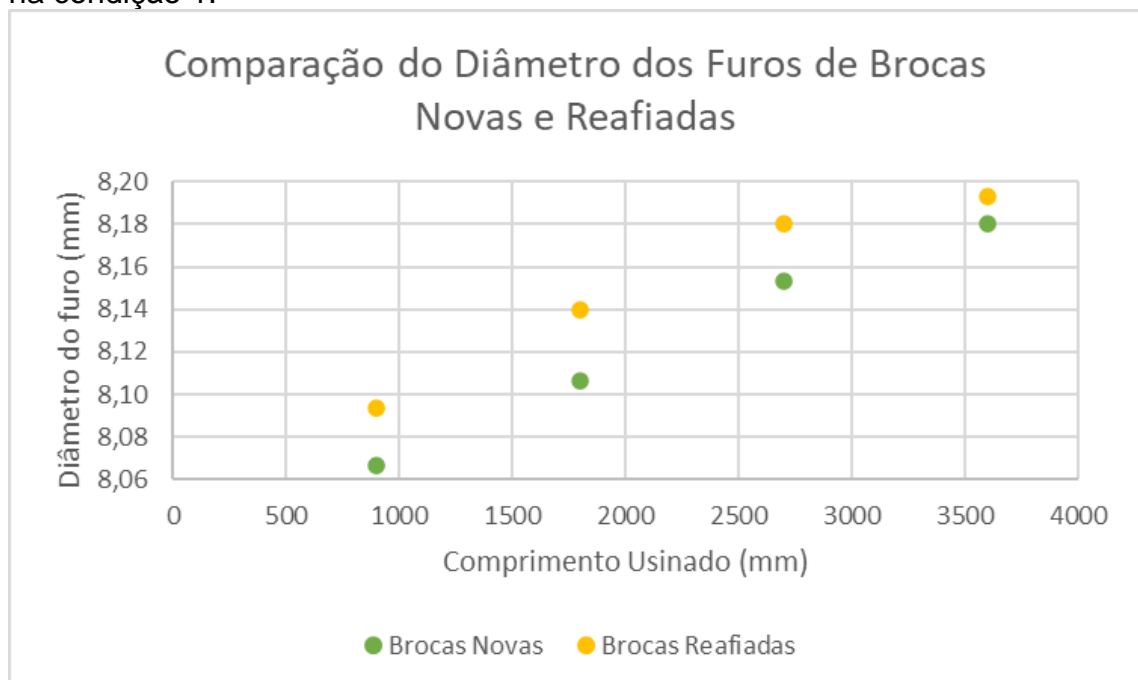
Houve um comportamento com pouca variação quando avaliada sobre as duas condições impostas. A condição 2 foi a que apresentou desgaste mais elevado

comparado a condição 1, mesmo com a velocidade de corte sendo mantida, houve o aumento do valor de avanço de corte de 0,09 mm/rot para 0,13 mm/rot, fator justificado pelo esforço perpendicular realizado entre a ferramenta e a placa de ferro fundido, gerando aumento de temperatura e a probabilidade de deslize da ferramenta sobre o centro de giro. Estima-se que a falta de um fluido refrigerante propicia temperaturas mais elevadas e acentua o desgaste, principalmente em brocas reafiadas onde as características das ferramentas oriundas do processo de fabricação já foram significativamente alteradas.

4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DOS FUROS

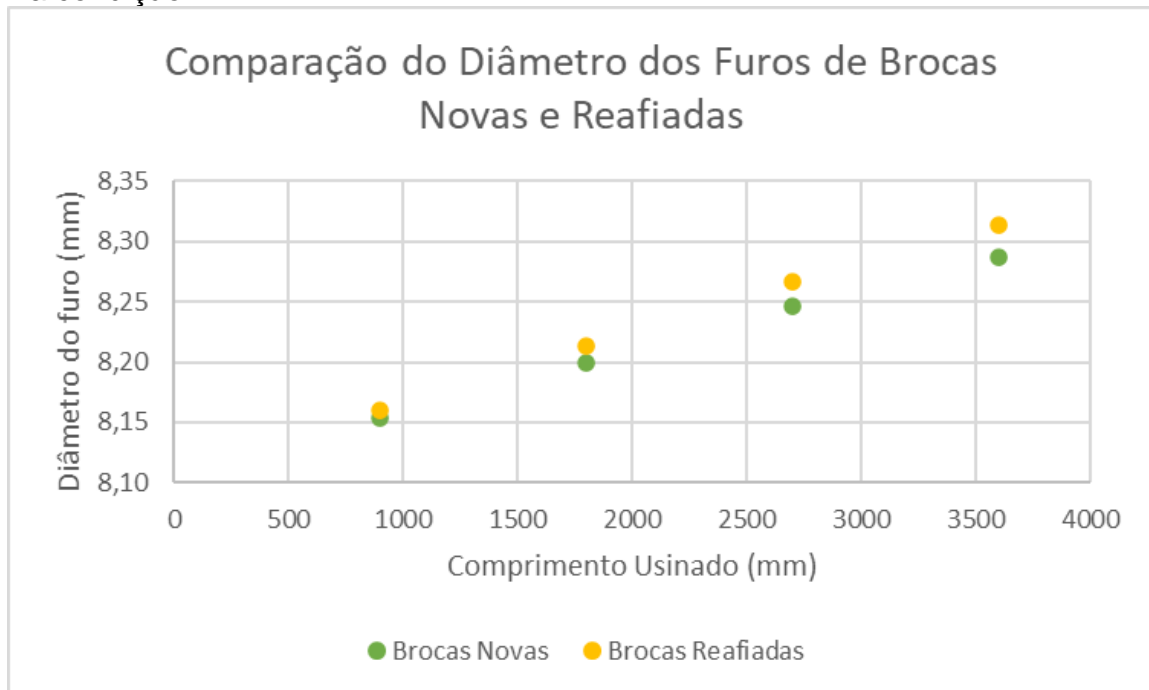
A medição dos furos sofreu variações de resultados decorrentes dos parâmetros de corte distintos estabelecidos pelas duas condições. A média dos valores obtidos nos ensaios de ferramentas novas e reafiadas são comparadas nas duas condições conforme a Figura 20 e Figura 21.

Figura 20: Comparação do diâmetro do furo em ferramentas novas e reafiadas na condição 1.



Fonte: Do Autor (2021)

Figura 21: Comparação do diâmetro do furo em ferramentas novas e reafiadas na condição 2.



Fonte: Do Autor (2021)

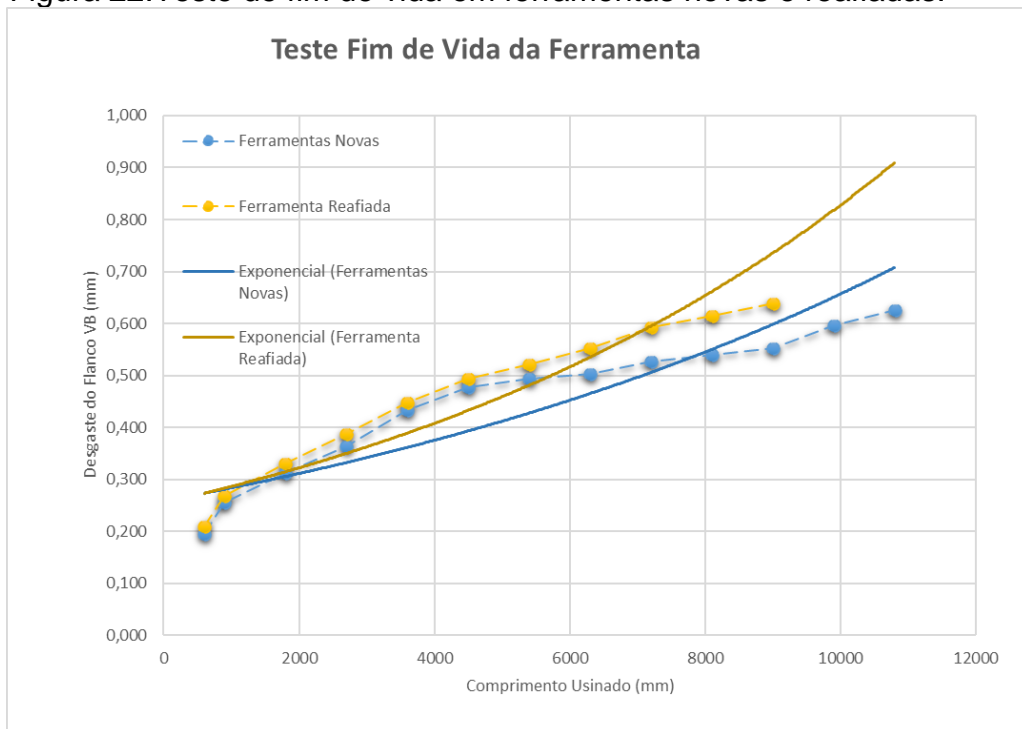
Nas duas condições estabelecidas, quando comparadas a relação de ferramentas novas e reafiadas nota-se uma variação considerável nos diâmetros dos furos, decorrente do desgaste desigual do flanco e do gume principal resultantes da diversidade da estrutura metalográfica do ferro fundido nodular e do material da ferramenta, gerando esforços discordantes e alargando o diâmetro do furo. Com o aumento do avanço pela correlação da condição 1 para a condição 2, o valor significativo do diâmetro é ainda mais evidente, pois há um maior atrito da placa com a ferramenta, gerando um acréscimo de temperatura que, associado a baixa condução térmica do ferro fundido nodular, conduz o material a dilatar-se. Quando a ferramenta retira o material aquecido dilatado, e posteriormente a contração da placa pelo seu resfriamento, estabelecendo um acréscimo no diâmetro do furo, tudo decorrente do baixo coeficiente de dilatação térmica do ferro fundido nodular.

4.3 TESTE DE FIM DE VIDA DA FERRAMENTA E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um último ensaio de furação foi efetuado para estabelecer um limite de vida útil da ferramenta. Com base na literatura e na análise dos resultados obtidos em gráficos anteriores, foi imposto os parâmetros de $v_c=32$ m/min, $f_n=0,13$ mm/rot e

profundidade de furação de 30 mm considerados aceitáveis. Os critérios definidos para encerramento do ensaio foi a falha catastrófica da ferramenta ou a deterioração do gume detectado pela análise visual do operador do centro de usinagem. A Figura 22 mostra o valores obtidos na condição escolhida comparando as ferramentas novas e reafiadas.

Figura 22: Teste de fim de vida em ferramentas novas e reafiadas.



Fonte: Do Autor (2021)

Ambos os ensaios foram encerrados decorrentes da deterioração do gume da ferramenta. A análise visual mostrou ineficiência da ferramenta ao retirar material da placa no comprimento usinado aproximado de 10800 mm para as brocas novas e 9000 mm para as reafiadas. Ao comparar as duas curvas dos processos, percebeu-se que há uma diferença de maior desgaste e uma vida útil menor em brocas reafiadas, fato explicado pelas transformações térmicas da ferramenta sob inúmeras repetições de reafiações, de forma a diminuir gradativamente o desempenho da ferramenta e pela precisão na reafiação da ferramenta que pode gerar esforços desiguais e desgastes acentuados. Os desgastes mais acentuados durante os ensaios foram o desgaste do gume transversal, flanco e lateral. As brocas reafiadas apresentaram em média um desgaste maior de 40,9%, chegando ao máximo de 8,6% no comprimento usinado de 9000mm.

5 CONCLUSÕES

Os resultados propostos mostram significativa diferença ao comparar as ferramentas novas e reafiadas. As condições propostas associadas ao material e a acuracidade da reafiação alteraram a estrutura da ferramenta, que impôs um pior desempenho e elevando assim ao desgaste do flanco e geometria da furação. Ao comparar a relação de aumento do avanço estabelecido com a mudança da condição 1 para a condição 2, mostra a influência desse parâmetro no processo de usinagem. A microestrutura presente em ferros fundidos nodulares pode apresentar dureza diferente em toda a extensão da placa que, combinadas com o aumento do avanço e sem sistema de lubrificação, resultam em um aumento considerável de temperatura, gerando um estado favorável para aceleração de desgaste e desvio de diâmetro da furação.

O gráfico de teste de fim de vida da ferramenta mostra bons resultados e retrata que a diferença de desgaste possui uma variação pequena, ou seja, a aproximação das curvas estabelecidas pelas ferramentas novas e reafiadas informam que existe uma vida útil menor em brocas reafiadas, porém também ressalta a repetibilidade de afiações a serem executados por ferramenta, tornando o processo válido.

Análise do estudo mostra algumas diretrizes de grande importância no ramo da usinagem que podem ser consideradas para análises futuras como a inclusão de um sistema de refrigeração, ou seja, o uso de fluido de corte no processo de furação, o ganho econômico ao se reafiar uma ferramenta ao invés da substituição, o emprego de revestimentos em ferramentas para direcionar a curva de desgaste por comprimento usinado o mais longe possível da origem.

REFERÊNCIAS

BOEIRA, A. M. G., 2010, **“Modelagem e simulação das forças na furação com brocas helicoidais a partir de dados obtidos no torneamento de segmentos cilíndricos”**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 193 p.

CASTILLO, W. J. G., 2005, **“Furação profunda de ferro fundido cinzento GG25 com brocas de metal-duro com canais”**, Dissertação de Mestrado do Programa

de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, 134p.

CASTRO, P., 2001., “**Aspectos tecnológicos da usinagem a seco com mínima quantidade de fluido de corte na furação com broca helicoidal**”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 180 p.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7 ed. ampl. e rev. São Paulo: ABM, 2012

DINIZ, A. E., MARCONDES, F.C., COPPINI, N.L, 2006, “**Tecnologia da usinagem dos materiais**”, Editora Artber.

FERRARESI, D., 1977, “**Fundamentos da usinagem dos metais**”, São Paulo: Edgard Blucher, p 751.

GROOVER, M. P. **Automation, production systems and computerintegrad manufacturing**. Prentice-Hall, Upper Sadle River, 2007.

MACHADO, A. R., ABRÃO, A. M., COELHO, R. T., DA SILVA, M. B., 2009, “**Teoria da usinagem dos materiais**”, Editora Edgar Blucher, São Paulo- SP, p 371.

MARQUES, M, F. “**Avaliação do desempenho de brocas helicoidais de aço rápido revestidas na usinagem de ferro fundido nodular GGG50**” 2012. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Rio Grande do Sul, 2012.

OSTRONOFF, H., 2007, “**Recondicionar ao invés de trocar**”, Revista “O mundo da Usinagem”, São Paulo, p 6-11, nov.

PANGRÁCIO, M. L., 2003, “**Análise da qualidade de furos realizados por fresamento helicoidal interpolado**”, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, Universidade Federal de Paraná – UFPR, 103 p.

SOUSA, G. A. J., 2011., “**Desempenho de Ferramenta Reafiadas - Furação**”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, 147 p

SOUZA, A. J., 2011, "**Processos de fabricação por usinagem – Parte 1**", Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

STEMMER, G. E., 1993, "**Ferramentas de Corte I**", 3ª edição, Florianópolis: Editora da UFSC, 249 p.

STOETERAU, R. L. "**Processos de usinagem**". Disponível em: www.sites.poli.usp.br/d/pmr1101/arquivos/aulas/PMR2202-AULA%20RS1.pdf – acessado em 17 de abril de 2021.

TEIXEIRA, C. "**Influência dos erros geométricos de afiação nas brocas helicoidais de aço rápido na qualidade dos furos produzidos**" 1995. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus, minha família, minha namorada e amigos que me auxiliaram em toda essa caminhada ao longo desses anos, ao meu orientador que me auxiliou na realização do trabalho, a instituição UNISATC e a empresa Siderúrgica Catarinenses que proporcionaram a realização dos ensaios necessários.