

ANÁLISE DE UMA PLACA AUTO CENTRANTE PARA USINAGEM DE UM PUNÇÃO CALIBRADOR APLICADO EM UM INDUSTRIA METALMECÂNICA EM SETE LAGOAS-MG

Lucas Dias Ribeiro¹

André Luiz Martins Pires Horta²

RESUMO

A fim de suprir a demanda da indústria automobilística, os processos de fabricação necessitam de constantes otimizações. Diante desse cenário, este estudo apresenta à fresadora CNC (Comandos Numéricos Computadorizados) que, com o auxílio de uma ferramenta de corte, torna possível a obtenção de diversos tipos de geometrias. Para esse fresamento, destacam-se os seguintes elementos: a força de corte, a potência de corte, as tolerâncias dimensionais e o uso de eixos auxiliares. Com base nesses fatores, entende-se a necessidade de uma fixação que suporte todas as exigências mecânicas a fim de obter uma peça de precisão. Diante disso, questiona-se: em quais condições uma placa mecânica de três castanhas de aperto simultâneo consegue suportar todas as forças de usinagem exercidas por uma fresadora Comando Numérico Computorizado (CNC) na usinagem de um punção calibrador, dentro de uma indústria metalmeccânica em Sete Lagoas? Por meio de uma pesquisa exploratória, objetiva-se identificar a melhor forma para usinar a peça. A análise dos dados permitiu a aplicação de uma estratégia de usinagem que apresentou condições favoráveis, cujos resultados determinaram que a placa autocentrante mecânica necessita de um dispositivo de apoio.

Palavras-chaves: Usinagem. Fresamento. Fixação. Forjaria. Punção.

ABSTRACT

In order to meet the car industry, the manufacturing processes need constant optimization. Based on this scenery, this study shows to machining a CNC (Computer Numerical Control) milling machine that, with assistance of a cutting tool, it is possible to obtain several types of geometry. For this milling, the following elements are highlighted: front milling, cutting force, cutting power, dimensional tolerance and the use of auxiliary axes. Based on these factors, it is understood the necessity of a setting which supports all the mechanic requirements in order to obtain a precise equipment. In light of this, it is questioned: in what conditions can a mechanical plate of three nuts of simultaneous fastening support all mining forces exercised by a CNC milling machine in a calibration puncture from a manufacturing industry in Sete Lagoas? Through an exploratory research, it aims at identifying the best milling form for an equipment. The analysis of the data enabled the adoption of a milling strategy which presented favorable conditions, whose results determined that the self-centering plate need a device for support.

Key-words: Machining. Milling. Setting. Forgery. Puncture.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica pela Faculdade Ciências da Vida (FCV) - Sete Lagoas. *E-mail:* lucas.dias.ribeiro@hotmail.com

² Orientador Mestre em Modelagem Matemática Computacional pela Faculdade Ciências da Vida (FCV) – Sete Lagoas. *E-mail:* andrepireshorta@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A constante evolução da sociedade está diretamente atrelada à melhoria do processo de manufatura dos materiais, um dos setores mais relevantes para a economia atual. Para esse setor ganhar e/ou permanecer nesse mercado, é imprescindível que as empresas atendam aos requisitos de qualidade para rigorosamente e façam alterações, caso necessárias, para a otimização da produção (MELLO; MUNEROLI, 2020). Dentre essas opções de aprimoramento produtivo, destaca-se a usinagem por fresamento, que é utilizada para moldar diversos tipos de geometrias, desde aquelas mais tradicionais às mais complexos, que geral com uma alta taxa de remoção de material (SOLHEID et al., 2017).

Dito isso, o presente artigo está ancorando no seguinte problema de pesquisa: em quais condições uma placa mecânica de três castanhas de aperto simultâneo consegue suportar todas as forças de usinagem exercidas por uma fresadora Comando Numérico Computorizado (CNC) na usinagem de um punção calibrador, dentro de uma indústria metalmeccânica em Sete Lagoas? Tendo em vista a complexidade desse processo, Chagas, Borges e Carlini (2017) descrevem as seguintes variáveis a serem analisadas com precisão: a trajetória da ferramenta de corte; a variação cíclica de temperatura na aresta cortante; variações de esforços mecânicos, movimentos concordantes, movimentos discordantes, dentre outros parâmetros que devem ser considerados na moldagem.

À vista dessas tensões residuais, optou-se por um método de fixação apto a suprir todas estas solicitações mecânicas. Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho é apresentar o processo de fresamento e suas variáveis ao se usinar um punção calibrador. Especificamente, pretende-se demonstrar a condição do processo de fabricação da peça, a partir dos dados coletados e, em seguida, gerar um conceito de eficiência da placa autocentrante eficiente. Segundo Gil (2008), a pesquisa descritiva ilustra as particularidades referentes a um fenômeno ou um público específicos, ao passo que a pesquisa exploratória intenta construir um cenário detalhado e sistematizado de determinado fato a fim de se obter mais clareza na investigação do objeto. A partir dessa metodologia, a atual pesquisa permitiu agregar novos conhecimentos no campo acadêmico e prático da engenharia dos materiais.

Neste contexto, esse artigo está estruturado em cinco capítulos. O primeiro a introdução, apresentando a questão norteadora, seguido dos objetivos gerais e específicos. O seguinte explicará os conceitos e definições essenciais na realização desse estudo. Adiante, o

três, descreve a metodologia de pesquisa aplicada, enquanto o quarto e quinto dispõem os resultados da pesquisa e as considerações finais, respectivamente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 USINAGEM COM ÊNFASE NO FRESAMENTO

A usinagem é composta pelo processo de fabricação, onde é dada a forma ao produto através da remoção e modelagem de seu material (BENINI; ROSSI, 2019). Nesse processo destaca-se o fresamento, manuseio utilizado para a abertura de cavidades e ranhuras em moldes (MELLO; MUNEROLLI, 2020). Na fresagem convencional emprega-se uma ferramenta de corte retirada de material, unindo e combinando-se esses dois movimentos: a rotação entre o próprio eixo e o avanço da mesa onde a peça se encontra fixada, propiciando a moção nos vetores X e Y (BENINI; ROSSI, 2019; OLIVEIRA et al., 2017).

A sincronia e junção desses dois caracterizam o fresamento como um processo complexo, até porque pode ser incluído mais eixos a fim de definir a peça com mais precisão (SOLHEID et al., 2017; RIBEIRO et al., 2017). Nesses casos, buscam-se o auxílio do sistema de coordenadas determinadas pelo Desenho Assistido pelo Computador (CAD, *Computer-Aided Design, em inglês*) e da Fabricação Assistida por Computador (CAM – *Computer Aided Manufacturing, na língua inglesa*). Na prática, esse desenho e a manufatura assistida por computador vinculam-se a um recurso em fresadoras – o Comando Numérico Computadorizado (CNC) aplicados em usinagens de alta precisão (TIERGARTEN JÚNIOR, 2019).

2.2 FRESADORAS CNC (Comando Numérico Computadorizado)

As máquinas CNC's (Comando Numérico Computadorizado) surgiram para satisfazer uma demanda industrial da sociedade moderna, a fim de para atender à demanda e a qualidade que o mercado exige nas linhas de produção, procurando acompanhar a evolução tecnológica (PARSEKIAN et al., 2020). Evangelista et al. (2018) admite que um bom nível de eficácia e precisão dos equipamentos reduzem consideravelmente o tempo de produção, um vez que a automatização das operações, em detrimento das máquinas antigas e manuais, resulta em um retorno de investimento maior.

Além disso, Muzel et al. (2017) complementam que a adoção de uma Fresadora CNC (Comando Numérico Computadorizado) realiza diversos tipos de usinagem, incluindo aquelas que demandam geometrias complexas ou acabamentos minuciosos. Nesses casos em último, recomendam-se a utilização de ferramentas de cortes especiais, eixos auxiliares e/ou dispositivos de fixação (MUZEL et al., 2017).

2.3 FRESAMENTO FRONTAL E FRESA DE TOPO

Secco et al. (2019) pondera que o fresamento frontal é fundamental quando a ferramenta de corte se encontra perpendicularmente à face da peça, pois suas arestas são capazes de remover a superfície dianteira da peça. Sandvik Coromant (2020) salienta que esse tipo fresamento é feito por uma fresa de topo, ou seja, o seu eixo é perpendicular à superfície a ser usinada. Em suma, esse tipo de ferramenta tem ganhado espaço no mercado devido às diversas possibilidades de usinagem em superfícies, contornos, rasgos, ranhuras e/ou cavidades.

Por outro lado, Wojciechowshi et al. (2017) ressalta que as fresas de topo variam de formatos para se ajustar a algumas modelagens específicas, podendo conter dois ou mais gumes para exercer o corte, o que justifica a alta taxa de remoção de material. Com efeito, percebe-se que elas possuem algumas particularidades no processo de rasgos em diversos tamanhos e usinagens livres em suas arestas de corte. Dentre elas, sobressai-se a fresa de topo esférico, amplamente utilizada para o contorno de perfis em máquinas CNC's, proporcionando acabamentos excelentes. Conforme ilustrado abaixo (Figura 1), as suas arestas de corte estão presentes na face e em sua periferia, onde localizam-se fresas inteiriças, intercambiáveis, topo reto, topo esférico, e de topo semiesférico:

FIGURA 1 – Modelos de Fresa de Todos



Fonte: Adaptado do catálogo eletrônico Sandvik, 2020.

2.4 FORÇAS DE USINAGEM

Siviero et al.(2017) pontua a importância de se entender as unidades de grandezas quanto aos sentidos das forças de corte a partir do processo de fresamento. Este conhecimento trará embasamento para uma escolha de método de corte eficaz, o que prevenirá uma eventual imperfeição ou deformação na peça. No geral, as forças de usinagem podem ser usadas para determinar a precisão de máquina de usinagem na remoção do cavaco, permitindo também uma análise de desgaste de seus componentes mecânicos.

Ribeiro et al. (2017) também assegura que a ciência das forças atuantes na usinagem é crucial para a obtenção de precisão nas peças, isso porque ela que ela pode impulsionar melhorias ligadas aos processos que contêm elevados níveis de temperatura concentrado nas arestas de corte. Secco *et al.* (2017) alerta que esse calor elevado acarreta maior energia absorvida, no qual quase toda a energia consumida pela aresta é transferida para o cavaco, possibilitando, assim, uma análise da cor do material removido.

Nascimento et al. (2016) orienta que uma velocidade constante aliada à profundidade do corte, gera uma força resultante maior e, assim, um acréscimo das tensões residuais na superfície do cavaco. Por outro lado, o aumento da velocidade reduz as forças resultantes, além de diminuir a rugosidade e as tensões residuais, uma vez que, quando são tratadas de forma constante, mantém uma temperatura homogênea sem interferências externas.

Wojciechowski, et al., (2017) discute que as forças podem variar de acordo com o ângulo de percurso da ferramenta, nesse caso, a fresa com topo esférico, segundo estudos aplicados em usinagens de moldes de forjaria e situações aeroespaciais que exigem superfícies curvilíneas compostas por materiais de dureza elevada – aqueles que estão entre 50 e 60 HRC (escala de dureza Rockwell).

2.5 PARÂMETROS DE CORTE

As principais grandezas dos parâmetros de corte são definidas da seguinte forma: o avanço (f_n) refere-se ao espaço do percurso que a fresa faz por volta; a profundidade de corte (a_p) define-se pela a distância em que a ferramenta incrementa sobre a peça; a largura de corte (a_e) demonstra a distância pela qual a ferramenta remove o material em direção ao avanço; e a velocidade de corte (v_c) é obtida pela distância que a ferramenta se move durante determinado tempo em direção do avanço (DINIZ et al., 2014; OLIVEIRA; BRITO; PAIVA, 2019). Conforme Chagas (2017), esses o ajuste incorreto desses itens tende a aumentar o desgaste da

ferramenta, devido a influência das forças exercidas nos movimentos. É comum que esses dados sejam fornecidos pelos fabricantes, já que eles impactam no tempo, custo de fabricação e rugosidade (NASCIMENTO et al., 2016; PEDROSO; SILVA; FORTULAN, 2016).

2.6 POTÊNCIA DE CORTE

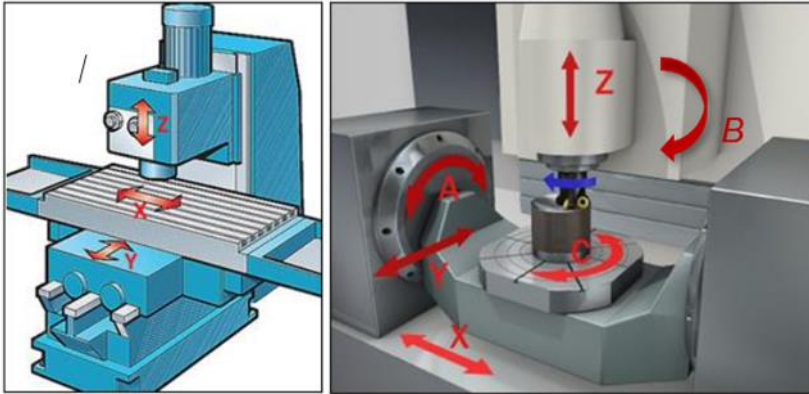
A potência de corte é a energia necessária para que o motor da fresadora execute o corte. Ela é comumente monitorada com o intuito de identificar a sua força estimada. Além disso, algumas pesquisas analisam alguns dados, comparando as ferramentas de corte novas e depreciadas. Assim, é possível concluir que as ferramentas gastas possuem uma potência de corte maior (SILVA et al., 2011).

Embora a potência principal esteja no eixo da árvore, é normal que as fresadoras e outras máquinas de usinagem CNC possuam dois ou mais motores. Na maioria das vezes, eles trabalham de forma distinta, sendo cada um rotações e potências distintas. Destarte, há uma máquina com eficiência mais próxima de uma potência real (SOUZA et al., 2016)

2.7 EIXOS AUXILIARES

Nomeados de eixos auxiliares ou rotativos, eles rotacionam no sentido das coordenadas X, Y e Z, porém são classificados como eixos A, B e C, como mostra a figura 2 (página 7). Esses recursos são inovadores e indicam uma evolução no ramo da usinagem, pela qual uma ferramenta de corte pode percorrer por diversos caminhos durante o processo de fresamento. Lih (2020) salienta que o uso de eixos auxiliares tem contribuído muito no mercado atual, destacando-se a fresadora CNC (Comandos Numéricos Computadorizados) de 5 eixos.

FIGURA 2 – Fresadora com eixos comuns e auxiliares



Fonte: adaptado do catálogo Sandvik, 2020.

2.8 PLACA AUTOCENTRANTE UNIVERSAL

Um dos produtos capazes de resistir a todos os esforços requeridos no processo de usinagem, sugere-se um modelo de dispositivo de fixação popular ramo industrial, que é a placa universal para torno autocentrante. A Schunk (2020) utiliza a ROTA-S plus 2.0, conforme mostra a figura 3 abaixo. A empresa a classifica como um sistema de fixação que fornece as mais variadas possibilidades de prender o material através de outro sistema de barra de cunha, garantindo uma fixação confiável no processo e uma força de aperto continuamente forte.

FIGURA 3 – Placa autocentrante, modelo Rota-S plus 2.0



Fonte: Shunck, 2020.

Groover (2014) explica que as castanhas são componentes da placa por onde ocorre um movimento de avanço ou recuo quando em contato com a peça, em sentido uniforme ao centro do eixo. A placa composta por três castanhas é normalmente usada em materiais cilíndricos ou aqueles que contenham três pontos de apoio simétricos, respeitando a angulação determinada. Nesse quesito ela permite fixação eficiente com uma área de contato relativamente

baixa, pois, embora haja três pontos de apoio, a peça pode conter detalhes no espaço entre seus pontos, como, por exemplo, o rasgo de chaveta, facetado, canal, dentre outros.

2.9 PROCESSO DE MEDIÇÃO

Para entender a metrologia é necessário compreender os instrumentos de medição que, no setor de usinagem, mensuram as cotas apresentadas no desenho respeitando as suas tolerâncias e garantindo uma medição eficaz. Nesse processo, os instrumentos comuns para calcular comprimentos são o paquímetro e o micrômetro. Adicionalmente o relógio comparador e apalpador podem auxiliar na calibração do processo, viabilizando possíveis comparações com um padrão definido (NARDIN et al., 2018)

2.10 FORJAMENTO E CALIBRADOR A FRIO

O forjamento é o processo de fabricação metal mecânico, no qual o aço em alta temperatura é processado em prensas. Conhecido a milhares de anos, o forjamento precisou ser aperfeiçoado para acompanhar a evolução do mercado, tornando o processo de fabricação capaz de atender a uma demanda crescente e exigente. Vale ressaltar as ferramentas de forjamento trabalham em conjunto, atendendo a princípios matemáticos definidos (WILLIG; THIESEN, 2018).

Com o intuito de garantir qualidade quanto à rugosidade e dimensão do forjado, cada etapa precisa estar bem definida e monitorada, tais como: o corte de matéria prima, a temperatura de aquecimento do material correta, o forjamento e, quando necessária, a rebarbação. Tratando-se de forjaria, há um cuidado especial pelos punções e matrizes, pois eles podem representar um valor percentual elevado sobre o valor total de uma peça entre 10 a 30%. (VIANELLO et al., 2019).

Nesse estudo aborda-se a usinagem de um calibrador a frio e a sua aplicação está no processo de forjaria, onde a peça forjada, já em temperatura ambiente, é submetida ao punção sobre uma prensa, com a finalidade de corrigir pequenas variações e atender as tolerâncias dimensionais exigidas pelo modelo matemático. Esses procedimentos são empregados à temperatura ambiente, pois já se cessou qualquer tipo de dilatação térmica na peça, evitando alguma variação dimensional expressiva.

2.11 CLASSE DE RUGOSIDADE

A rugosidade determinada na superfície de uma peça está diretamente interligada ao acabamento e a precisão de ajustes entre as montagens e os acoplamentos. A sua medição é dada em microns. Para esse tipo de aferimento microgeométrico é usado o rugosímetro que consegue, através de uma caneta a fim de medir os picos máximos e mínimos da superfície. O seu resultado é apresentado por uma variação média entre os picos de um determinado espaço, conhecida como Ra (HAMMES; ROSA; WALKER, 2016). Em seguida, os parâmetros Ra são classificados pela ABNT, estipulada para desenhos técnicos, e que indica classes de rugosidades para determinados valores de Ra correspondentes (ABNT, 1984), conforme mostra a figura 4:

FIGURA 4 – Classificação Ra na Tabela de Rugosidade

Fonte: ABNT, 1984.

Classes de Rugosidade	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
Rugosidade máxima – valores em Ra (μm).	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025

2.12 TOLERÂNCIA DIMENSIONAL

Entende-se como tolerância a margem dimensional máxima e mínima, expressadas em uma região. Segundo a norma da norma da ABNT-NBR6158 (1995) ela é dada pela diferença entre o maior distanciamento e o menor, respeitando as convicções, regras e tabelas que atendem ao sistema de tolerância e ajuste. Esses métodos expressam os valores e os tipos de tolerâncias estabelecidos por normas, mas o modelo a ser usado é definido durante o projeto.

Variações dimensionais determinadas de forma imprudente podem acarretar produtos sem conformidades legais, trazendo alguns pontos negativos na indústria, tais como o retrabalho, uma parada de linha, falha na montagem e risco ao consumidor. Ao destinatário final, a empresa terá que lidar com a insatisfação e falta de confiança pelo cliente, resultando em uma taxa menor de lucratividade para o negócio (HAMMES; ROSA; WALKER, 2016). Sendo assim, observando a importância do estudo de tolerâncias dimensionais no decorrer de projetos da fabricação de dispositivos mecânicos, enfatiza-se a tolerância como a primeira ferramenta de controle, que pode ser caracterizado por limites absolutos, numéricos ou estabelecido por um modelo probabilístico. (TROSTDORF, 2019).

2.13 MATERIAL A SER USINADO

Neste estudo de caso, será usinado o aço DIN 1.3343, pertencente à classe de aços rápidos. Eles são muito conhecidos pela ampla aplicação mecânica, principalmente na área de usinagem, onde são produzidas as ferramentas de corte – como os machos, as brocas e as fresas. Eles também são igualmente aplicados em matrizes e punções, pela sua alta capacidade de resistir a abrasão e uma alta tenacidade. Sua composição é dada pelos seguintes principais elementos descritos na figura 5:

FIGURA 5 – Composição Química do Aço WNr 1.3343

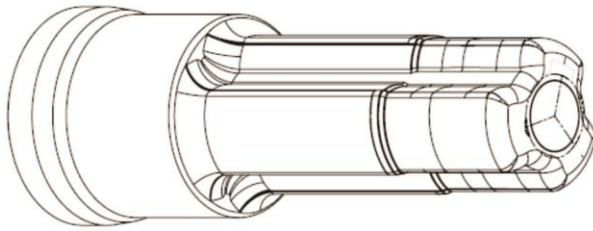
C	Cr	Mo	W	V
0,89	4,20	4,90	6,20	1,80

Fonte: Villares Metals, 2020.

3 METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado no setor de ferramentaria de uma indústria metalmeccânica, situada em Sete Lagoas, no estado de Minas Gerais. Neste contexto, para suprir aos objetivos desta investigação, foi adotada a a pesquisas exploratória, a fim de apresentar uma visão geral detalhada e próxima da situação real, visando também possíveis soluções do problema. Como modalidade de pesquisa, foi empregado o método de estudo de caso, que aborda determinado fenômeno real de forma empírica. Informa-se que foram utilizadas várias fontes de evidências qualitativas, até porque os limites da pesquisa não estão totalmente definidos (GIL,2008).

No estudo de caso foram realizados ensaios de usinagem com uma peça de um punção calibrador a frio, e o material o Aço DIN 1.3343 com a tolerância dimensional da área usinada pela fresadora de +/- 0,015 mm com rugosidade de classe N6. Para a usinagem desse calibrador, o aço DIN 1.3343 foi pré-usinado pelo torno CNC (Comando Numérico Computadorizado) para a obtenção de um perfil cilíndrico, onde o fresamento usinou somente as cavidades, como mostra a figura 6 (página 11):

FIGURA 6 – Perspectiva isométrica do punção calibrador

Fonte: elaborado pelo autor, 2020.

Isso será performedo com o auxílio de um centro de usinagem CNC (Comando Numérico Computadorizado) *high speed machine* (máquina de alta velocidade) de marca DMG MORI, modelo NVX 5100 conforme a figura 7. A potência máxima do eixo árvore é de 26 KW, o torque atinge um máximo de 327 Nm, rotação máxima do eixo árvore representa 20.000 rpm e máxima velocidade dos eixos X, Y e Z são de 30 m/min, contando com o comando CELOS (DMG MORI, 2018) e o uso do eixo auxiliar (conhecido como 4º eixo).

FIGURA 7 – Centro de Usinagem DMG MORI, modelo NVX 5100

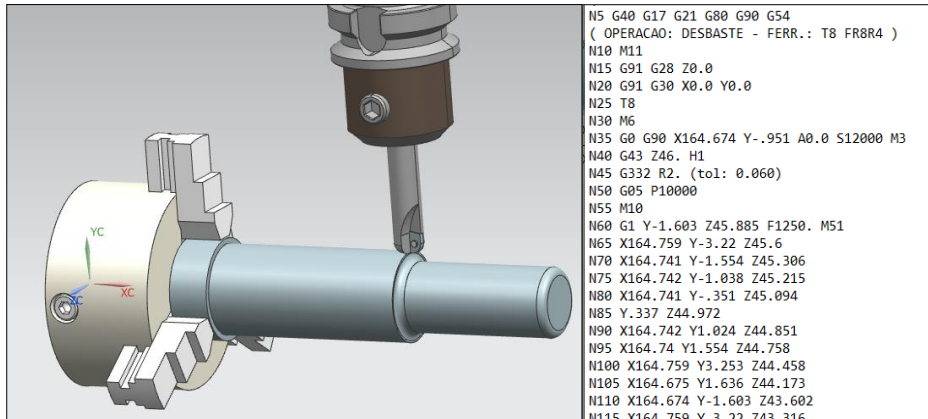
Fonte: DMG MORI, 2020.

As vantagens de optar pelo o eixo auxiliar nesta usinagem se deu pela facilidade com que as ferramentas de corte chegam ao perfil, sem a necessidade de uma extensão muito grande das mesmas. Isso permite uma redução nas vibrações, aumento na vida útil dos equipamentos e um melhor acabamento que, conseqüentemente, acarreta a redução do tempo de usinagem e um ganho sobre o custo.

Ainda foi acoplado ao eixo auxiliar uma placa autocentrante mecânica de três castanhas como dispositivo de fixação, o que será o objeto chave desta análise dos resultados. A fim de garantir uma força de fixação controlada, foi utilizado um torquímetro – que é uma ferramenta que permite medir o torque – ajustado ao torque de 120 Nm. Segundo a tabela disponibilizada

pelo fornecedor (SCHUNK 2020) a força de fixação para esse torque equivale a 100 kN (SCHUNK, 2020). Cada castanha permanece presa à peça, a um comprimento de 25mm com a mesma área em 3 pontos a 120° como mostra a figura 8.

FIGURA 8 – Simulação da usinagem em estudo



Fonte: elaborada pelo autor, 2020.

3.1 PREPARAÇÃO

O processo foi definido nas seguintes etapas: (i) fixação do punção; (ii) alinhamento ; (iii) e, por fim, a definição do ponto zero dos eixos X, Y, Z e A. Para o alinhamento contou-se com o auxílio do relógio apalpador, que mede a excentricidade e o paralelismo da peça; quanto ao ponto zero definido pelo programa no eixo Y e Z, ele localiza-se entre o centro do diâmetro do material a ser usinado e o eixo X na extremidade oposta à fixação da peça. Em termos de programação, ela foi realizada pelo *software* NX 12 com coordenadas absolutas definida pelo comando G90, ao passo que o percurso da ferramenta de corte foi estabelecido de forma concordante, favorecendo a redução do esforço de corte.

3.2 FRESAS E PARÂMETROS

Escolheram-se as fresas de topo com perfil esférico para essa usinagem, com o objetivo de alcançar toda a geometria do perfil. Inicialmente, a fresadora desbastou o material com uma fresa de diâmetro 6 mm e usando passes com uma profundidade de corte de 0,3 mm, rotação de 10000 rpm e um avanço de 2500 mm/min, deixando um sobremetal de 0,2 mm. Em seguida, recorreu-se a uma fresa de topo esférica com diâmetro de 4 mm, rotação a 15000 rpm e um avanço de 2500 mm/min, deixando um sobremetal de 0,1 mm no pré-acabamento. O

processo foi finalizado com a fresa de topo esférico, especificada com um diâmetro de 3 mm, rotação de 18000 rpm e um avanço de 2500 mm/min para redução final dos raios, garantindo a medida e a rugosidade especificada. Ressalta-se que a usinagem foi realizada com o auxílio de óleo refrigerante sobre a peça, cujo tempo total foi de 240 minutos.

3.3 CONDIÇÕES DE ANÁLISE

Após a usinagem, foram observadas três variáveis: o monitoramento de carga durante o processo, a tolerância dimensional, e a excentricidade da peça. O monitoramento de carga foi definido pela DMG MORI através do *software* CIELO implantado na máquina. A partir destes dados foi possível estimar os esforços de corte. A análise do estudo exigiu, inicialmente, uma inspeção visual, avaliando a rugosidade e qualquer tipo de irregularidade da usinagem. Logo após o auxílio de um micrômetro, foram conferidas as medidas definidas pelo desenho, cuja cota definida pela tolerância dimensional foi de $\pm 0,015\text{mm}$.

Adiante, com o auxílio de um relógio apalpador, a peça foi medida para comprovar se houve algum deslocamento durante o processo. Após essa primeira inspeção, o item foi encaminhado ao setor de metrologia que, utilizando os recursos dos serviços de medição tridimensional, certificou a conformidade da peça com a matemática apresentada. Realizado esse processo, o punção foi encaminhado para a etapa de polimento que, por fim, com o uso do rugosímetro, foi certificada a rugosidade esperada.

4 RESULTADOS E DISCURSSÃO

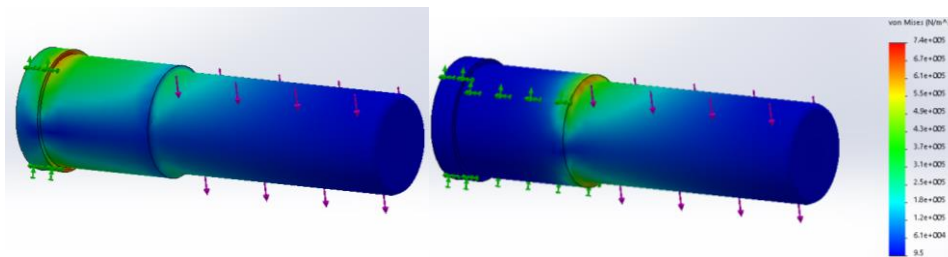
4.1 ENSAIO DE USINAGEM

Durante o monitoramento das forças, foram observadas variações mínimas no exato momento em que a ferramenta entrou em contato com a peça. Apontou-se um aumento no esforço após 20 minutos de usinagem, causando um desgaste na ferramenta de corte. Em razão disso, pausou-se o ciclo para a troca da fresa a fim de que os esforços voltassem ao seu comportamento normal. Conseqüentemente, observou-se, então, que as fresas de acabamento apresentaram um esforço menor comparado ao desbaste devido a menor taxa de material removido.

Após a usinagem, a inspeção visual detectou alguns percursos irregulares no caminho da fresa. Aferindo-se as cavidades com um micrômetro foi constatada uma variação da medida de 0,2mm entre elas. Ao mensurar a excentricidade da peça, verificou-se um deslocamento da mesma em 0,15mm. Conclui-se, assim, que essas condições não foram favoráveis para a placa mecânica Shunck modelo ROTA-S plus 2.0 suportar as forças de usinagem.

A fim de suprir o objetivo do estudo, foram analisados os pontos críticos da usinagem, aumentando as possibilidades de melhorias. Um estudo de força estática, amparado pelo *software* “Solidworks”, comparou os dois tipos de fixação, um a 25mm – onde se encontra a placa autocentrante – e outro com uma área maior no ponto de 88mm, obtendo os seguintes resultados, como mostra a figura 9:

FIGURA 9 – Estudo de força estática: área de fixação menor x área de fixação maior



Fonte: elaborado pelo autor, 2020.

Os pontos de tensões nesse estudo são representados conforme mostra a paleta de cores na figura anterior, destacando a área de cor azul com menor esforço e a área de cor vermelha com maior esforço. Infere-se que as forças aplicadas na fixação de maior área obtiveram menor tensão, o que corresponde à finalidade desse estudo que é compreender essa distribuição de forças. Durante o processo de usinagem, também foram percebidas as forças dinâmicas, momentos fletores, tensões cíclicas e uma variação constante das mesmas.

Baseado nesse estudo, uma ação de melhoria escolhida foi adicionar a luneta à placa autocentrante, um acessório que permite um segundo ponto de fixação na região mais próxima da área a ser usinada. Neste modelo, há um rolamento que permite um movimento circular entre o eixo para evitar o atrito nas extremidade (Figura 10 página 15).

FIGURA 10 – Luneta

Fonte: elaborado pelo autor, 2020.

Outra ação de melhoria está baseada nas forças apresentadas na usinagem. O monitoramento de carga evidenciou um esforço maior da fresa de 8 mm, resultando em um aumento significativo na ferramenta de corte gasta. Justificam-se esses dados em razão de uma taxa maior de material removido e o desgaste gerado pela dificuldade da fresa ao efetuar o corte. A par dessas informações, foi feita uma parada programada na usinagem, logo após o desbaste. Entende-se que um deslocamento tende a ocorrer nesse primeiro momento devido ao aumento da força, essa parada permitiu medir a excentricidade da peça.

Considerou-se que, caso fosse comprovada uma variação de até 0,15mm, seria permitido um realinhamento para continuar a usinagem de acabamento. E esse método só é permitido porque a fresa de 8mm deixa um acréscimo de 0,2mm para ser gradualmente removido nos próximos processos da usinagem. De acordo com essas ações de melhorias, foi feito um novo ensaio de usinagem, conforme apresentado a seguir.

4.2 ENSAIO DE USINAGEM 2

No segundo ensaio de usinagem o monitoramento de carga apresentou uma performance similar, inclusive durante o desgaste da ferramenta de corte. Logo após o desbaste, foi aferido a excentricidade da peça e o relógio apalpador deslocou-se a 0,05 mm, valor dentro do permitido estipulado. Em seguida, a usinagem foi realinhada e finalizada.

Por fim, a inspeção visual ilustrou algumas características favoráveis, como uma rugosidade uniforme sem nenhuma evidência de imperfeição. Aferiu-se o dimensional no micrômetro, foram constatadas três medidas idênticas, enquanto na excentricidade houve uma variação mínima. Já a inspeção tridimensional, apresentou uma variação de 0,007 mm entre os rasgos usinados e a variação cocêntrica 0,006 mm, dentro da tolerância estipulada do dimensional. Após a aprovação deste último, a peça foi encaminhada para o polimento, onde se obteve a classe de rugosidade N6 comprovada pelo rugosímetro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve o intuito de descrever o processo de fresamento a fim de familiarizar-se com a temática e oferecer dados consistentes a área, ao analisar uma placa autocentrante de três castanhas, apresentando condições favoráveis para usinar um punção calibrador a frio no processo de fresamento utilizando a tecnologia CNC (Comando Numérico Computadorizado). Com isso, percebeu-se a importância da fixação, análise estática e do monitoramento de carga durante o processo de usinagem, elementos que nortearam as melhorias apresentadas nessa pesquisa.

Em campo, foram coletados dados substanciais para essa análise, permitindo-se concluir que o dispositivo de fixação isoladamente não foi eficaz nas condições iniciais. Diante disso, foi proposto adicionar um acessório de fixação (luneta) e realizar uma parada programada logo após o desgaste, que é o momento mais crítico da usinagem. A aplicação dessa nova estratégia conduziu o processo a uma usinagem de alta precisão, na qual as medidas alcançaram as tolerâncias dimensionais estipuladas na matemática, atingindo com excelência o objetivo esperado.

As limitações deste trabalho se deram em analisar um dispositivo de fixação particular, frente à flexibilidade e inovações constantes no mercado. Dito isso, este estudo fica aberto para atualização dos dados ou de novas pesquisas aplicando placas autocentrante com sistemas hidráulicos, pneumáticos, dentre outros métodos de fixação. Quanto à aplicação no setor de ferramentaria, justifica-se a relevância no resultado desta pesquisa em razão da alta precisão de ajustes entre as montagens no conjunto mecânico, ao passo que para o setor de forjaria, esse processo gera uma calibração com ótima qualidade. Em suma, as melhorias aplicadas permitiram diagnóstico conclusivo e preciso em relação à fixação da placa de três castanhas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8403**: Aplicação de linhas em desenhos - Tipos de linhas - Larguras das linhas - Procedimento. São Paulo, 1984. Disponível em: < <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3775> > . Acesso em: 10 de out de 2020.

BENINI, L.; ROSSI, M.A.C. O planejamento experimental Doehlert na caracterização da rugosidade como função dos parâmetros de entrada do processo de fresamento do aço ABNT 1020. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Viçosa, v. 5, n. 4, p. 0338-0350, 2019. DOI: DOI: 10.18540/jcecvl5iss4pp0338-0350. Acesso em: 20 mar. 2020.

CHAGAS, G.M.P.; BORGES, R.G.; CARLINI, G.C. Influência da variação da trajetória no desgaste de flanco durante o fresamento do aço AISI P20 com fresa inteiriça de metal duro. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO*, 9, Joinville, 2017: **Anais...** Jaraguá do Sul: ResearchGate, jan. 2017. DOI: 10.26678/ABCM.COBEF2017.COF2017-0706. Acesso: 18 mar. 2020.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 9. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2014.
DMG MORI. **NVX Series**. Nagoia, 2018. Disponível em: <<https://en.dmgmori.com/products/machines/milling/vertical-milling/nvx>>. Acesso em: 21 mar. 2020.

ERNST, H. E. MERCHANT, M. E. Chip formation, friction and high quality machined surfaces. **Surface Treatment Metals**, [S.l.], 1941, p. 299–378. Disponível em: <<https://www.asminternational.org/>>. Acesso: 03 maio 2020.

EVANGELISTA, G.M.S; JÚNIOR, M.V; SIMON, A.T; CORRER, I. Impactos da operação pré-ajustagem de ferramentas na eficiência do processo de usinagem. GEPROS. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, 2019, p. 283-299. DOI: 10.15675/gepros.v14i1.2132. Acesso: 24 mar. 2020.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Blücher, 1970.

GIL, A.C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2008. Disponível em: <<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9nicas-de-pesquisa-social.pdf>>. Acesso: 20 mar. 2020.

GROOVER, M.P. **Introdução aos Processos de Fabricação**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

HAMMES, J.M.; ROSA, A.F.P.; WALKER, E. Otimização do acabamento superficial no torneamento cilíndrico externo de um aço SAE 1045. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, v.12, n.2, abr./jun. 2017, p. 138-156, maio 2019.. DOI: 10.15675/gepros.v12i2.1640. Acesso: 20 mar. 2020.

LI, X; YING, H; ZHOU, Z. Structural Design and Optimization in the Beam of a Five-axis Gantry Machining Center. *Journal of Engineering Science and Technology*, Baoding, v. 13, 31 January 2020. DOI:10.25103/jestr.131.11. Acesso: 17 mar. 2020.

MELLO, M.F; MUNEROLI, J.C. A importância da redução na geração de resíduo limalha de aço pela alteração das etapas de um processo de fabricação. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.5, p.24474-24488, maio 2020. DOI:10.34117/bjdv6n5-049. Acesso: 17 mar. 2020.

MITSUBISHI MATERIALS. **Fórmulas para fresamento**. [S.l.], 2020. Disponível em: <http://www.mitsubishicarbide.net/contents/mht/pt/html/product/technical_information/information/formula2.html>. Acesso: 09 maio 2020.

MUZEL, S.D; BONHIN, E.P; SOARES, L.R.L; ALVES, M.C.S; RIBEIRO, M.V; MOLINA, J.C. Estudo da vibração e da qualidade superficial de compósitos poliméricos usinados por fresamento tangencial. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO*, 9. Joinville, Santa Catarina, Brasil, jan. 2017. **Anais...** Tapeva: ResearchGate, 2017. DOI: 10.26678/ABCM.COBEF2017.COF2017-0267. Acesso: 24 mar. 2020.

NASCIMENTO, C.P; MARTINS, M.C; PARDAL, J.M; TAVARES, S.S.M; FONSECA, M.C; ARAÚJO, A.C. Estudo das tensões residuais, forças de usinagem e qualidade de superfície geradas no fresamento de aço maraging classe 300. *In: CONGRESSO NACIONAL DE MECÂNICA*, 4, Fortaleza, Ceará, ago. 2016. **Anais...** Niterói: ResearchGate, 2016. Agosto 2016. DOI: 10.20906/CPS/CON-2016-0609. Acesso: 03 maio 2020.

NARDIN, F.L. PAZIANI, F.T. WATANABE, F.Y. AROCA, R.V. Desenvolvimento de material didático para uso em aulas práticas de metrologia industrial. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, [S.l.], n. 39, p. 46-53, abr. 2018. Disponível em:<<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/1749>>. Acesso: 22 out. 2020.

OLIVEIRA, F.B; NORCINO, A.B; ROGRIGUES, A.R; ZANATTA, A.M. Efeito de escala no microfresamento de aço com grãos ultrafinos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO*, 9, Joinville, Santa Catarina, jan. 2017. **Anais...** Matão: ResearchGate, 2017. DOI: 10.26678/ABCM.COBEF2017.COF2017-1193. Acesso: 21 mar. 2020.

OLIVEIRA, C .H; BRITO, T. G; PAIVA, E. J. Influência da quantidade de fluido de corte no Fresamento de topo do aço inoxidável duplex uns s32205. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO*, 9., São Carlos, jan. 2019. **Anais....Itajubá:** ResearchGate, 2019. DOI: 10.26678/ABCM.COBEF2019.COF2019-0527 . Acesso em: 24 mar. 2020.

PARSEKIAN, P; WATANABE, F; CUNHA, D; BRANCIFORTI, M; AROCA, R. Failure Monitoring and Recovery System During Manufacturing Process. **IEEE Latin America Transactions**, v.18, n.2, p.407-413, 2020. Disponível em:<<https://www.inaoep.mx/~IEEElat/index.php/transactions/article/view/2943/412>>. Acesso: 22 mar. 2020.

PEDROSO, M.P.G; SILVA, M.M; FORTULAN, C.A. Otimização de entradas harmônicas para a usinagem de esferas cerâmicas. *In: SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA*, 1, set. 2016, São Carlos. **Anais...** Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/321274149_OTIMIZACAO_DE_ENTRADAS_HARMONICAS_PARA_A_USINAGEM_DE_ESFERAS_CERAMICAS>. Acesso: 06 maio 2020.

PIZZOLATO, M.; STURM, C.H.; ALBANO, F.M.; LAKUS, D.R. Análise dos sistemas de medição no setor de usinagem de uma empresa metal mecânica. **ENGEVISTA**, Rio de Janeiro, v. 21, n.2, p.193-209, maio 2019. Disponível:<<https://periodicos.uff.br/engevista/issue/view/1539>>. Acesso: 20 mar. 2020.

RIBEIRO, K.S.B; RODRIGUES, A.R; TRINDADE, K.K.A; OLIVEIRA, A.J. Processamento de sinal para determinação da força de usinagem no corte interrompido utilizando o critério de detecção de picos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO*, 9, Joinville, Santa Catarina, jan. 2017. **Anais....** São Paulo: ResearchGate., 2017. DOI: 10.26678/ABCM.COBEF2017.COF2017-1053. Acesso: 22 mar. 2020.

SANDVIK COROMANT. **Contouring or copy milling**. [S.l.]: Sandvik Coromant, 2018.

Disponível em:

<https://www.sandvik.coromant.com/engb/knowledge/milling/application_overview/profile_milling/contouring_or_copy_milling/Pages/default.aspx>. Acesso em: 21 mar. 2020.

SCHUNK. **ROTA-S plus 2.0**. Lauffen, 2020. Disponível em:<

<https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0018472.PDF>>. Acesso: 10 maio 2020.

SECCO, D.C; RODRIGUES, A.R; JASINEVICIUS, R.G; PIZANI, P.S. Relação entre oxidação do cavaco e temperatura de corte no fresamento de aços para moldes e matrizes. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO*, 10, São Carlos, ago. 2019. **Anais....**São Carlos: ResearchGate, 2019. Disponível em DOI: 10.26678/ABCM.COBEF2019.COF2019-0521. Acesso: 17 mar. 2020.

SILVA, R.H.L; BORGES, A.S; SILVA, M.B; DUARTE, M.A.V; COSTA, G.M. Aplicação de rede neural artificial para monitoramento do desgaste de ferramentas utilizando sinal de emissão acústica e potência de corte. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO*, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, abr. 2011. **Anais...** Cornélio Procopio: ResearchGate, 2011. Disponível em:

<<http://alvarestech.com/temp/cobef2011/grima.ufsc.br/cobef2011/media/trabalhos/COF11-0040.pdf>>. Acesso: 07 maio 2020

SIVIERO, L.M; LIMA,J.M.B; CASPEL,T.R; EBERSBACH.F.G; SCHROETER,R.B.

Modelagem e simulação de esforços no mandrilamento de ferro fundido gg25. *In:*

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 9 , Joinville, Santa Catarina, Brasil, jan. 2017. **Anais...** Florianópolis: ResearchGate, 2017. DOI: 10.26678/ABCM.COBEF2017.COF2017-0168. Acesso em: 07 maio 2020.

SOLHEID, J.S; FERREIRA, J.C.E; GONZÁLEZ, D.M.O. Avaliação do consumo de energia no processo de fresamento de cavidades 2 ½D para diferentes tipos de trajetórias. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO*, 9 , Joinville, Santa Catarina, Brasil, jun. 2017. **Anais...** Florianópolis: ResearchGate. Junho 2017. DOI: 10.26678/ABCM.COBEF2017.COF2017-1192. Acesso: 17 mar. 2020.

SOUSA, D.B: SILVA, R,G.S ; OLIVEIRA,D.S; OLIVEIRA,J.H; PAULINHO,E,D.F; FERNANDES,L.F; VIANA.F. Monitoramento da potência ativa na usinagem utilizando um sistema de baixo custo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO*, 9 , Joinville, Santa Catarina, Brasil, set. 2017. **Anais...** Brasília: ResearchGate, jan. 2017. DOI: 10.26678/ABCM.COBEF2017.COF2017-1316. Acesso em: 07 maio 2020.

SYSTECMETAL. **Inicial**, 2020. Vinhedo, 2020. Disponível em:<<http://www.systecmetal.com.br/>>. Acesso: 03 mar. 2020.

TIERGARTEN JÚNIOR, W.T. Comparativo do tempo de usinagem em função da estratégia cam utilizada para micro fresamento. **Revista Eletrônica Acervo Científico**, v.3, Joinville, Santa Catarina, Brasil, p.1-10, 2 jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.25248/reac.e70.2019>. Disponível em:< <https://acervomais.com.br/index.php/cientifico/article/view/70/394>>. Acesso: 22 mar. 2020.

TRENT, E. M. **Metal cutting**. 2.ed. Londres: Butterworths & Co., 1985.

TROSTDORF, L.M.S. Análise da influência dos parâmetros de usinagem na determinação das tolerâncias de processo de tornos. *In*: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 4, São Paulo, Brasil, out. 2019: **Anais...** Araraquara: Instituto Federal de São Paulo, 2019. Acesso: 24 set. 2020.

VIANELLO, P.I.A; SANTOS, A.J; ABRÃO, A.M; MAGALHÃES, F.C. Estudo da fadiga térmica em uma matriz de forjamento. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 10, São Paulo, Brasil, ago. 2019: **Anais...** São Carlos: ResearchGate, 2019. DOI: 10.26678/ABCM.COBEF2019.COF2019-0003. Acesso: 28 set. 2020.

VILLARES METALS. **Aços rápidos vwm2** .Vespasiano, jul. 2003. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/pt/Produtos/Acos-Rapidos/VWM2>> . Acesso em: 21 set. de 2020.

WILLIG, R.B. THIESEN, R.F. Caracterização e Melhorias na Planta de Tratamento de Efluentes de Forjaria da Empresa GKN- Unidade de Charqueadas – RS. *In*: FEIRA DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA UFRGS - FINOVA, 8, Minas Gerais, Brasil, out. 2018, p.15-19. **Anais...** Campus do Vale: UFRGS, 2018. Disponível em:<<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/192501>>. Acesso: 19 out. 2020.

WOJCIECHOWSKI, S; MARUDA, R.W; BARRANS, S; NIESLONV, P. Optimisation of machining parameters during ball end milling of hardened steel with various surface inclinations. **Measurement**, v.111, dec.2017, p.18-28. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2017.07.020>. Acesso: 02 maio 2020.