

AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE R_a OBTIDA POR RETÍFICA PLANA COM ACIONAMENTO MANUAL E PNEUMÁTICO DO EIXO TRANSVERSAL

Fabio Bongoski¹
Vagner Grison²

RESUMO: Este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade de usinagem obtida em uma retífica plana com base em parâmetros operacionais pré-estabelecidos. Para tanto, foi comparada a rugosidade superficial de corpos de prova retificados por meio de dois tipos de acionamento do eixo transversal: manual e pneumático. A velocidade de translação da peça (V_w) promovida pelo eixo transversal foi medida por meio de vídeo análises. A usinagem foi realizada em onze corpos de prova com duas faces cada, confeccionados em aço forjado à quente, tratados termicamente para alcançar uma dureza superficial mínima de 60 HRC. Doze faces foram usinadas para caracterizar o processo manual, em que as velocidades de avanço são impostas por quatro operadores diferentes. Outras nove faces, foram divididas em três usinagens com acionamento pneumático, com a velocidade de avanço nominal de 12 m/min. Os resultados das medições de velocidade (V_w) e rugosidade R_a confirmaram a expectativa de maior uniformidade proporcionada pelo acionamento pneumático em comparação com o acionamento manual do eixo transversal. Durante a usinagem, os demais parâmetros de máquina permaneceram constantes, sendo: o rebolo utilizado Al_2O_3 , a velocidade do rebolo 20 m/s, penetração de trabalho 15 μm , e por fim, o fluido de corte Ultracut 360 em concentração de 1,5%.

Palavras-Chave: Retífica plana. Usinagem. Velocidade de avanço. Rugosidade.

ABSTRACT: This study aims to evaluate the machining quality obtained in a flat grinding machine based on pre-established operational parameters. Therefore, the surface roughness of specimens ground using two types of transverse axis drive was compared: manual and pneumatic. The translation dive speed (V_w) promoted by the transverse axis was measured through video analysis. Machining was performed on eleven specimens with two faces each, made of hot forged steel, heat-treated to achieve a minimum surface hardness of 60 HRC. Twelve faces were machined to characterize the manual process, where dive speed is imposed by four different operators. Nine other faces were divided into three pneumatically driven machining operations, with a nominal dive speed of 12 m/min. The results of speed (V_w) and roughness R_a measurements confirmed the expectation of greater uniformity provided by pneumatic actuation compared to manual actuation of the transverse axis. During machining, the other machine parameters remained constant, being: the grinding wheel used Al_2O_3 , the grinding wheel speed 20 m/s, working penetration 15 μm , and finally, the cutting fluid Ultracut 360 in a concentration of 1.5 %.

Keywords: Flat grinding. Machining. Dive speed. Roughness.

¹ Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade de Caxias do Sul (UCS). Lattes <http://lattes.cnpq.br/4893182892447238> E-mail: fbongoski@ucs.br.

² Professor titular da Universidade de Caxias do Sul e coordenador do projeto Baja SAE na mesma instituição. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Mecânica dos Sólidos e Projetos Mecânicos. Atua principalmente nos seguintes temas: modelagem CAD, modelagem/análise estática e dinâmica de esforços mecânicos, análise estrutural, método dos elementos finitos e projeto mecânico. Mestrado em Engenharia Automotiva pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade de Caxias do Sul (UCS). Lattes <http://lattes.cnpq.br/2095644369937397>.

INTRODUÇÃO

O acabamento superficial é essencial onde visa-se reduzir o contato entre duas ou mais peças, a sua mensuração se dá através das grandezas de rugosidade superficial, que pode ser definida como um conjunto de desvios micrométricos, gerados pela presença de picos e vales ao longo da superfície usinada. Para expressar os valores numéricos de rugosidade, utiliza-se as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a qual adota o sistema M ou sistema de linha média, em que todas as grandezas de medição são definidas a partir dessa linha, conforme as Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR), *International Organization for Standardization* (ISO) 4287/2002 e NBR, ISO 8404/1988.

Um parâmetro amplamente utilizado nos processos de fabricação industrial é denominado R_a e se baseia nas medidas de profundidade da rugosidade. A definição desse parâmetro, é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil analisado, em relação à linha média, considerando um determinado comprimento de amostragem. Esse requisito de rugosidade fornece resultados estáveis, pois não é amplamente afetado por arranhões ou imperfeições (GUIMARÃES, 1999).

Quando uma peça é usinada, ocorre a modificação da sua superfície e com isso, as características de rugosidade passam a ser compatíveis com seu grau de acabamento. Assim, superfícies melhores acabadas tendem a ser mais resistentes a fadiga e a corrosão, devido a alteração do coeficiente de atrito entre as peças. A usinagem por retificação minimiza a rugosidade, assim os valores apresentam medidas na casa de micrômetros, mas mesmo assim, observa-se atrito entre os elementos montados durante o seu funcionamento (NORTON, 2013).

VELOCIDADE DE AVANÇO E SUA INFLUÊNCIA NA RUGOSIDADE

A faixa de velocidade imposta no rebolo produzido com características abrasivas convencionais, variam entre 10 m/s e 45 m/s, já os valores aplicados para velocidade de avanço durante a usinagem utilizam grandezas menores, atuando entre 10 m/min até 25 m/min. Um ponto importante na definição do processo, é a relação da camada de material a ser retirada da peça, ou seja, a penetração de trabalho. Esta, por sua vez, depende do processo imposto e pode variar de centésimo de milímetro a décimo de milímetro, sendo

esses valores de penetração conservadores que contribuem para alcançar as apertadas tolerâncias (MACHADO et al., 2009).

Visto que a velocidade do rebolo permanece constante durante o processo de retificação, o avanço é determinante para definir a velocidade de corte. Definir a velocidade de avanço, depende de fatores como o material a ser retificado, penetração de trabalho, características do rebolo, entre outros (NUSSBAUM, 1998). Alguns valores orientativos da velocidade de avanço estão detalhados na Tabela 1.

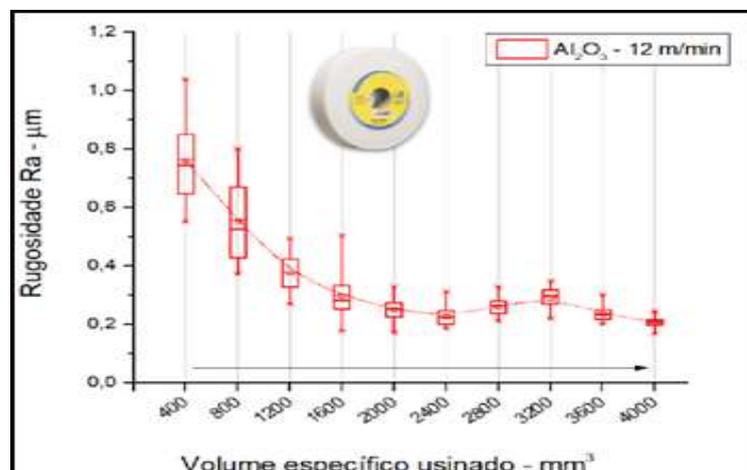
Tabela 1 - Valores orientativos da velocidade da mesa para diferentes materiais.

Material a retificar	Velocidade da mesa [m/min]
Aço comum	6 - 15
Aço liga	5 - 12
Ferro fundido	8 - 15
Bronze e Latão	10 - 16
Carburos metálicos	3 - 5

Fonte: Adaptado de Nussbaum (1988).

Conforme o estudo desenvolvido e apresentado por Ulbricht *et al.* (2020) em sua análise de comparação da rugosidade em relação à velocidade de avanço, utilizando rebolo abrasivo de Al_2O_3 . Os autores observaram os efeitos da rugosidade R_a , com a variação do volume usinado utilizando a velocidade de avanço 12 m/min. O resultado da rugosidade encontrado no experimento, é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Rugosidade superficial em relação ao volume usinado.



Fonte: Adaptado de Ulbricht *et al.* (2020).

O experimento conduzido por Mehl (2017) analisou valores de rugosidade R_a em relação à velocidade de avanço 12 m/min impostas durante a usinagem por retificação plana do aço ferramenta, ANSI D6 temperado com dureza entre 58 e 60 HR_C. O experimento foi conduzido analisando o volume específico de material usinado com limite de 157,4 mm³/mm, e a ferramenta utilizada foi um rebolo Al₂O₃.

A análise de Mehl (2017) comparando o melhor resultado encontrado para velocidade V_w de 12 m/min, demonstra que a capacidade de remoção de material para a ferramenta foi 110,2 mm³/mm de volume específico, após esse limite é necessário dresser o rebolo. A Tabela 2, apresenta o resultado da rugosidade R_a encontrado.

Tabela 2 - Parâmetros de retificação sugeridos.

$a_e = 0,03$ mm	Rebolo Al ₂ O ₃
Vel. Peça [m/min]	12
Vol. Específico [mm ³ /mm]	110,2
Rugosidade R_a [μm]	0,76 – 0,263

Fonte: Adaptado de Mehl (2017).

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido para analisar as rugosidades superficiais relacionando-as com as velocidades de avanço de uma retífica plana mecânica com avanço manual e após a mecanização pneumática do eixo, comparando a influência da velocidade de avanço sobre a rugosidade. Foram confeccionados 11 corpos de provas utilizados para desenvolver o experimento. O rebolo utilizado na usinagem foi o de Óxido de Alumínio (AA 80 J6 V387). Para analisar a velocidade de avanço da mesa porta peças, utilizou-se uma câmera Full HD e o software TRAKER *Video Analysis and Modeling Tool*. Na avaliação da rugosidade, utilizou-se um rugosímetro Mitutoyo, modelo SJ-301.

CORPO DE PROVA

Os corpos de prova são feitos de aço liga laminado, forjado a quente com dimensões de 30 mm de diâmetro e 132 mm de comprimento. Esse material foi usinado em um torno mecânico para ficar com dimensões de 28 mm de diâmetro e 129 mm de comprimento. Após a usinagem, o cilindro foi cortado com um disco de corte de 3 mm, em 11 corpos de prova, totalizando 22 faces. Cada face recebeu uma numeração gravada através de punções

e foi retificada para garantir seu paralelismo processos necessários para facilitar o desenvolvimento do experimento. Os corpos de prova confeccionados, retificados e numerados foram encaminhados para tratamento térmico, processos necessários para a superfície alcançar uma dureza mínima de 60 HR_c a uma profundidade máxima de 0,6 mm.

AQUISIÇÃO DE DADOS

A fim de compreensão, o processo foi dividido em dois grupos, ambos tiveram a profundidade de usinagem igual a 0,15 mm. O grupo 1, do experimento, contempla doze faces que foram usinadas com acionamento manual visando a velocidade de avanço 12 m/min, da seguinte maneira: a usinagem de três faces com o avanço da mesa porta peças imposto por quatro operadores diferentes. No Grupo 2, nove faces foram divididas em três usinagens, através do acionamento pneumático com avanço de 12 m/min. O Quadro 1, apresenta os grupos do experimento e seus respectivos parâmetros.

Quadro 1 - Grupos dos experimentos e seus parâmetros.

	Faces	Experimento	V _w [m/min]	Volume/Dressagem [mm ³]	a _e [μm]	V _s [m/s]	liq. Ultracut 360
Grupo 1	3	Operador 1	12	277	0,15	20	Sim
	3	Operador 2					
	3	Operador 3					
	3	Operador 4					
Grupo 2	3	Pneumático 1	12	277	0,15	20	Sim
	3	Pneumático 2					
	3	Pneumático 3					

Fonte: O autor (2021).

AQUISIÇÃO DE DADOS COM ACIONAMENTO MANUAL

Antes de cada operador iniciar a usinagem, realizou-se o dressamento do rebolo. O avanço para a retirada de material durante o processo ocorreu de forma manual. A velocidade do rebolo utilizada foi igual a 20 m/s, e a profundidade de dressagem ocorreu com oito passes de 50 μm, totalizando 0,4 mm, utilizando um dressador de ponta única.

Depois de dressar o rebolo, a mesa portam peças foi limpa e os corpos de prova foram posicionados com os números de identificação voltados para a frente do operador. A posição escolhida visa forçar o operador a utilizar todo o comprimento da mesa, definindo o sentido de usinagem e perpendicularmente o sentido de medição da rugosidade. A Figura 2, demonstra o posicionamento dos corpos de prova e o sentido da usinagem.

Figura 2 - Sentido da usinagem e posicionamento dos corpos de prova.



Fonte: O autor (2021).

Para determinar a velocidade imposta por cada operador, realizou-se a filmagem. A câmera foi posicionada na mesma altura e horizontalmente à mesa porta peças que conta com uma marca circunferencial de 20 mm. O círculo é necessário para que o *software* responsável por registrar a velocidade consiga identificar um ponto de massa. A filmagem foi realizada durante toda a usinagem, os valores de velocidade do processo foram calculados com a média de nove passes, divididos entre o início, meio, e final do processo de usinagem. A Figura 3, apresenta uma imagem do *software* durante a análise.

Figura 3 - Alinhamento e posicionamento da câmera durante a análise.



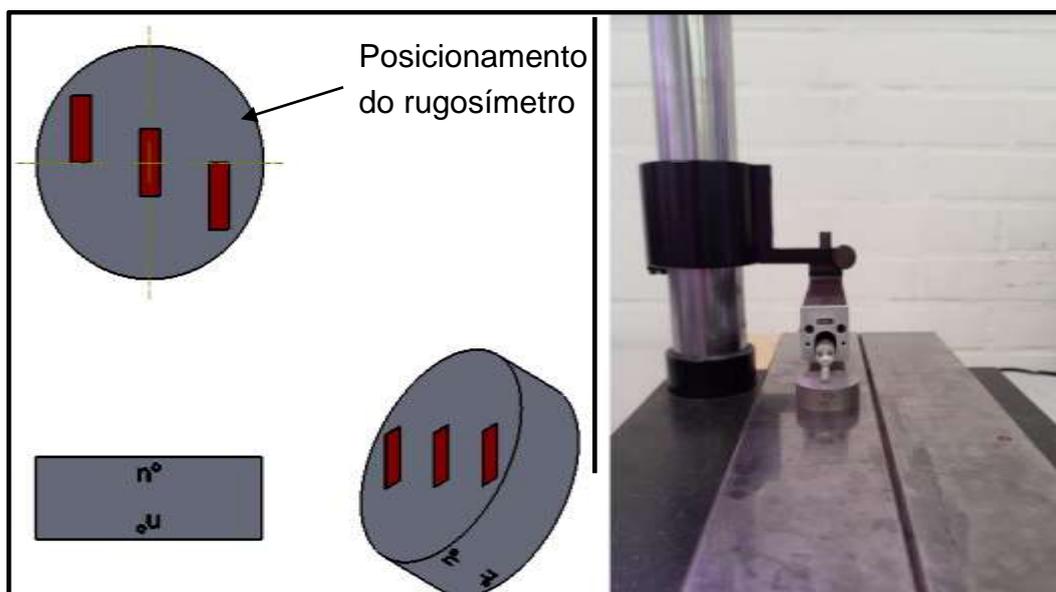
Fonte: O autor (2021).

Com os parâmetros de dressagem, posicionamento dos corpos de prova e posicionamento da câmera para filmagem concluídos, iniciou-se a usinagem. Cada operador determinou o ponto zero da máquina no eixo Z necessário, para que o primeiro toque do rebolo aconteça retirando o mínimo de material possível. Após essa etapa, o eixo Z foi zerado novamente, e iniciou-se a retificação dos corpos de prova e a filmagem.

Os passes do rebolo ocorreram da seguinte maneira: o operador acrescenta uma penetração de trabalho igual a $15\ \mu\text{m}$, e realiza o passe uma vez no sentido concordante; após esse passe, retorna usinando no sentido discordante sem movimentar o eixo longitudinal. Como o rebolo possui uma espessura de 20 mm, e os corpos de prova possuem um diâmetro de 28 mm, cada corpo de prova recebeu dois passes concordantes, e dois passes discordantes em cada penetração de trabalho, até alcançar a profundidade de corte igual a 0,15 mm.

Após a retificação dos corpos de prova, realizou-se a análise da rugosidade. O processo ocorreu efetuando três medições em cada amostra no sentido perpendicular a usinagem. A avaliação do parâmetro de rugosidade R_a foi definida utilizando o rugosímetro. Como os valores de rugosidade encontrados foram inferiores a $2\ \mu\text{m}$, utilizou-se um comprimento de *cutoff* igual a 0,8 mm, conforme as normas ABNT NBR ISO 4288 e ABNT NBR ISO 4287. A Figura 4, mostra o procedimento para aquisição de dados de rugosidade.

Figura 4 - Posição do rugosímetro durante a análise de rugosidade.



Fonte: O autor (2021).

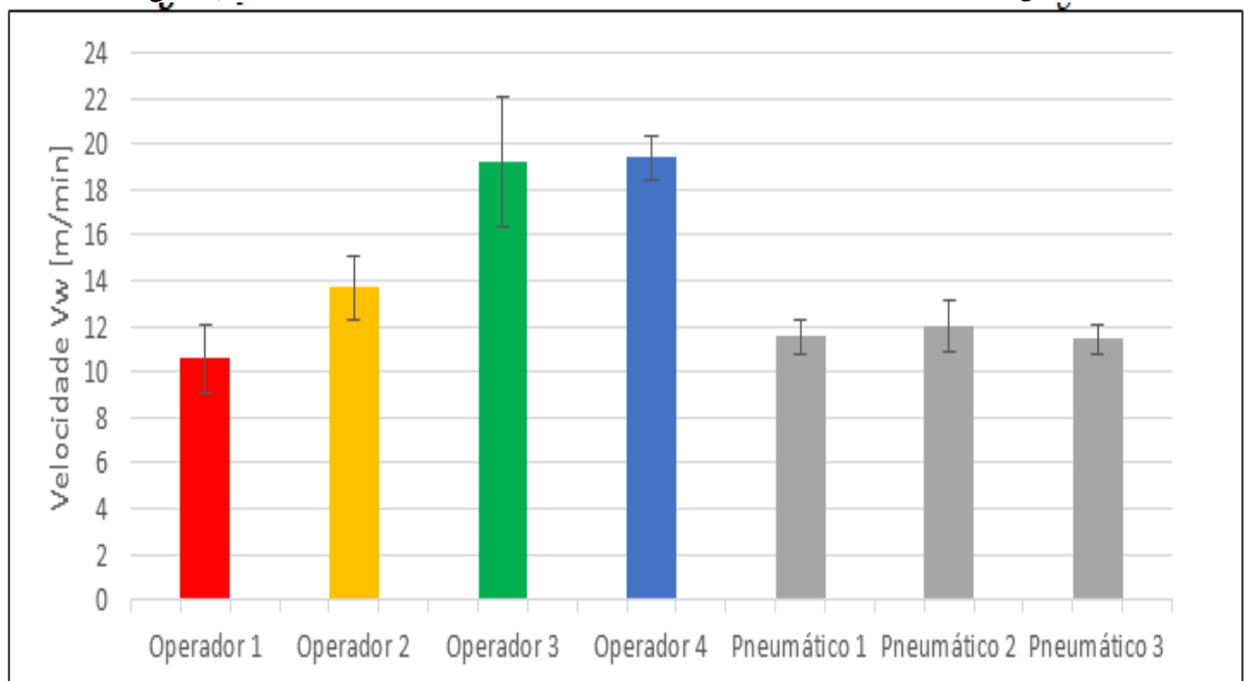
AQUISIÇÃO DE DADOS COM ACIONAMENTO PNEUMÁTICO

Como o estudo visa avaliar a influência da velocidade do avanço na rugosidade, os parâmetros de dressamento do rebolo, a posição dos corpos de prova, processo de usinagem e as características de avaliação da rugosidade, permaneceram iguais a etapa do experimento com acionamento manual. A mudança nesta etapa é a utilização da mecanização pneumática do eixo transversal da máquina. Considerando que o deslocamento máximo do eixo é igual a 520 mm, e o comprimento útil da mesa magnética é igual a 400 mm, a análise foi desenvolvida dentro da faixa em que o rebolo se encontra na parte útil para usinagem, entre 60 e 460 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

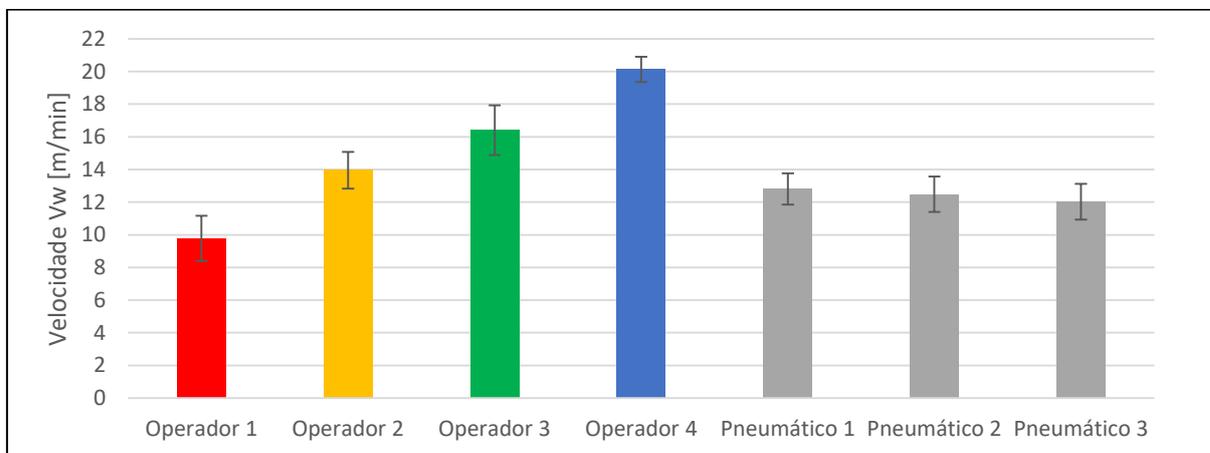
O experimento apresenta a usinagem manual como parâmetro para observar quanto a velocidade de avanço é afetada pela usinagem com diferentes operadores. Assim como, apresenta os dados da usinagem com acionamento pneumático, sendo possível comparar em ambos os meios de acionamento o nível de discrepância seguindo como base a velocidade de avanço nominal 12 m/min. As Figuras 5 e 6, apresentam os resultados das velocidades concordantes e discordantes obtidas durante as usinagens.

Figura 5 - Gráfico das velocidades V_w concordante durante as usinagens.



Fonte: O autor (2021).

Figura 6 - Gráfico das velocidades V_w discordante durante as usinagens.



Fonte: O autor (2021).

Primeiramente, pode-se perceber que o operador 3 apresenta uma variação maior do desvio padrão durante a usinagem concordante, isso devido a maneira que os dados foram abordados. Tendo em vista que o objetivo é observar a média da velocidade em toda a área útil da mesa, com a análise dos dados foi possível observar que o operador 3 inicia o avanço com uma velocidade mais baixa e aumenta durante o deslocamento intermediário, reduzindo-o novamente no final da usinagem. Esse comportamento é responsável pela variação maior do desvio padrão encontrado.

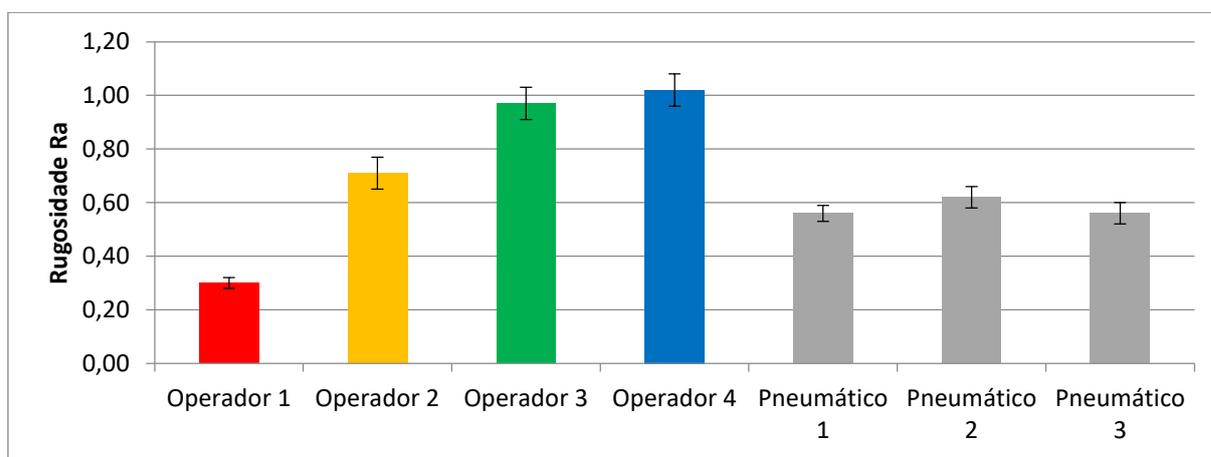
Observando os gráficos das Figuras 6 e 7, mais especificamente os valores das velocidades no processo pneumático, percebe-se uma pequena tendência de diminuir a velocidade durante a usinagem. Essa característica pode ser devido a rede de ar comprimido utilizada não ter uma estação de resfriamento. O aquecimento do ar pelo processo de compressão diminui sua densidade que provoca uma queda de pressão no sistema, refletindo em uma pequena variação de velocidade, conforme observado.

Os dados coletados durante o processo manual, apresentam uma variação considerável da velocidade V_w imposta pelos diferentes operadores com acionamento manual. Demonstra também, que o acionamento pneumático torna o processo mais estável. Isso pode ser observado, pela análise dos desvios padrões apresentados na usinagem com a mecanização pneumática. Percebe-se então, que na maioria dos pontos analisados, as velocidades de avanço encontram-se dentro do valor adotado como nominal de 12 m/min.

ANÁLISE DA RUGOSIDADE R_a

Para determinar como as velocidades, afetam os valores de rugosidade R_a nos corpos de prova, foram comparados o processo manual, com o processo de acionamento pneumático. Os dados estão apresentados no gráfico da Figura 7.

Figura 7 - Valores de rugosidade R_a .



Fonte: O autor (2021).

A rugosidade R_a obtida entre os operadores tem a tendência de aumentar com o aumento da velocidade de avanço. Comparando as velocidades de avanço do processo manual com o gráfico de rugosidade R_a , observa-se que velocidades de avanço mais baixas refletem em resultados menores. Isso devido ao rebolo permanecer por mais tempo em contato com a peça, favorecendo a retirada de material. Assim como, as velocidades de avanço maiores resultam em rugosidade R_a maiores pela ineficiência da retirada de corte durante a usinagem. O acionamento pneumático demonstra valores uniformes de rugosidade R_a nas três usinagens, ficando abaixo de $0,8 \mu\text{m}$ como esperado pela comparação com o estudo desenvolvido por Mehl (2017) e Ulbricht *et al.* (2020).

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo relacionando o efeito das velocidades de avanço promovidas pelo eixo transversal de uma retífica plana com as respectivas rugosidades superficiais obtidas em corpos de prova de aço liga laminado, forjado a quente com dureza superficial 60 HR_c. Avaliando as velocidades de avanço em comparação com a nominal de 12 m/min, com penetração de trabalho $15 \mu\text{m}$ chegando até a profundidade de corte de 0,15

mm. Utilizando o rebolo de Al_2O_3 com velocidade de corte 20 m/s e fluido de corte Ultracut 360 em concentração 1,5% durante a usinagem. O eixo transversal foi acionado manualmente por quatro operadores diferentes e também por meio de um sistema pneumático implementado no equipamento.

Durante a avaliação dos resultados, identificou-se que o aumento da velocidade de avanço apresentada pelos quatro operadores reflete em uma tendência de aumentar a rugosidade R_a , sendo que velocidades mais baixas apresentam valores de rugosidade mais baixos, assim como velocidades mais altas apresentam a tendência de rugosidades mais altas. A utilização do sistema pneumático apresenta valores de velocidade de avanço próximas da nominal 12 m/min refletindo na normalização da rugosidade R_a .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUIMARÃES, Vagner Alves. **Controle dimensional e geométrico: Uma introdução a metrologia industrial**. Passo Fundo: EDIUPF, 1999.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; SILVA, M. B.; COELHO, R. T. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher, 2009.

MEHL, Wagner Cabral. **Análise da influência da velocidade da peça sobre o acabamento superficial no processo de retificação**. 2017. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Educação, Ciência e Tecnologia, Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2017.

NORTON, Robert. L. **Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada**. 4. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NUSSBAUM, Guillaume. **Rebolos e Abrasivos**. São Paulo: Ícone, 1988.

ULBRICHT, Gerson *et al.* **Análise da influência da velocidade da peça sobre a rugosidade no processo de retificação plana tangencial**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 10., 2020, Ponta Grossa: Aprepro, 2020. p. 1-9. Disponível em: <https://aprepro.org.br/combrepo/2020/>. Acesso em: 22 abr. 2021.