

## **XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS**

# **ANÁLISE ENTRE VELOCIDADE DE AVANÇO E RUGOSIDADE SUPERFICIAL NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO TANGENCIAL PLANA**

**Giovani Conrado Carlini**  
**Hector Di Maiochi**  
**Cassiano Rodrigues Moura**  
**Eduardo Fodi**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Geraldo Werninghaus  
Rua dos Imigrantes nº445 – Rau – Jaraguá do Sul/SC  
giovani.carlini@gmail.com

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho consiste em analisar a influência da velocidade de avanço longitudinal na rugosidade superficial proporcionado por dois tipos de ferramentas, denominadas rebolos, diferentes no processo de retificação plana tangencial. Utilizam-se um rebolo de  $Al_2O_3$  branco e outro de  $Al_2O_3$  rosa, ambos indicados para materiais que tenham elevada resistência a tração. O equipamento utilizado para o desenvolvimento das amostras foi uma retificadora plana tangencial. O material retificado foi um aço AISI D6 tratado termicamente e as atenuantes para sua escolha foram que o mesmo possui uma elevada resistência mecânica ao desgaste, temperabilidade, e boa tenacidade, sendo muito utilizado para fabricação de ferramentas de corte. As retificações foram realizadas com lubrificação e refrigeração por meio de emulsão de 10% de concentração. Os ensaios de retificação foram realizados com velocidade de avanço diferentes para cada tipo de rebolo. Os experimentos foram estruturados pelo teste estatístico de análise de variância ANOVA. Os resultados mostraram que a diminuição da velocidade de avanço longitudinal foi determinante na redução da rugosidade superficial e a influência do tipo de abrasivo mediante as altas tensões e temperaturas é decisiva para a melhoria na rugosidade em operações de desbaste não rigorosas.

**Palavras-Chave:** Rebolo, óxido de alumínio, aço AISI D6 endurecido.

**ABSTRACT:** The goal of this report consists in analyzing the influence of the speed of longitudinal advance in superficial roughness proportioned by two types of tools, called grinding wheels, different in grinding tangential process. A white  $Al_2O_3$  grinding wheel and a pink  $Al_2O_3$  one both indicated for materials with high traction resistance. The equipment utilized in the development of the samples was a tangential surface grinder. The rectified material was a AISI steel D6 treated thermally and its simplifying factors were that they possess elevated mechanical resistance to abrasion, hardenability and good tenacity, being utilized in production of cutting tools. As a subtract for rectification one inch circular samples were used with thickness of 20 mm, grinded in both flat surfaces. The rectifications were realized with lubrication and cooling by 10% concentrated emulsion. The rectification tests were realized with different speed of advance for each type of grinding wheel. The experiments were structured by the statistical test of analysis of variance ANOVA. The results show that with the decreasing of the longitudinal speed of advance the reduction of superficial roughness was decisive and the influence of the abrasive type through high tension and temperatures is determinate to the improvement in roughness and in non-rigorous thinning operations.

**Keywords:** Grinding wheel, oxide aluminum, Steel AISI D6 hardened .

## **INTRODUÇÃO**

Mesmo com o avanço da modernidade industrial, novas tecnologias, máquinas e ferramentas desenvolvidas para melhorar o acabamento de peças e componentes, o processo de usinagem por retificação ocupa uma colocação muito importante no contexto atual. Proporciona à peça as medidas finais, o acabamento e a qualidade superficial diferenciada, requisito este não alcançado por outros tipos de máquinas deste segmento (Machado *et al.* 2011). O mesmo método de usinagem acaba sendo um dos últimos processos da cadeia produtiva, e requer muita cautela, pois se não executado de forma eficaz, resultará em perdas de alto custo e desperdício de todo trabalho e tempo envolvido no processo.

Atualmente grande parte das máquinas de retificação convencional não dispõe de elementos confiáveis para regulação da velocidade de avanço, vindo a disponibilizar apenas a exatidão de quando a válvula de acionamento da

velocidade está toda acionada. Até o aquecimento do óleo hidráulico responsável pelo deslocamento longitudinal da mesa interfere a indicação da máxima de velocidade disponível, dependendo assim da experiência dos operadores em regular estas velocidades. Essa imperfeição da característica da velocidade do movimento de avanço longitudinal vem a causar má qualidade no acabamento superficial, tornando a peça inutilizável a processos posteriores.

Para obter uma rugosidade superficial dentro dos parâmetros exigidos para acabamento no processo de retificação plana tangencial com rebolos de óxido de alumínio é fundamental que se faça a utilização de velocidades de avanço adequadas juntamente às ferramentas abrasivas de granulometria indicada pelos fabricantes. Nos dias atuais há uma realidade tecnológica inovadora, todavia o operador ainda detém o controle sobre a realização dos processos, e deve-se fazer o uso destas tecnologias existentes para padronizar métodos e buscar a realização eficaz garantindo a integridade da peça.

O objetivo deste trabalho foi analisar a rugosidade encontrada em função da velocidade de avanço, para comparação com resultados encontrados anteriormente, vindo a contribuir para determinação de parâmetros de usinagem empregados nesse tipo de processo, assim como definição de ferramentas a serem utilizadas em relação a resultados a serem alcançados, minimizando os efeitos negativos na usinagem do componente ou até mesmo sua perda.

## METODOLOGIA

### Máquinas e ferramentas

Para efetuar a análise entre a velocidade de avanço ( $V_f$ ) e a rugosidade superficial, foi utilizada uma máquina de Retificação plana tangencial marca/modelo P 25 AUTOMÁTICA, do fabricante MELLO. Como objeto de estudo, foram efetuados três tipos de velocidades diferentes com uma profundidade de corte ( $h$ ) de 0,01 mm, totalizando 0,03 mm divididos em 3 passes com um incremento de 3 mm em  $V_f$  transversal da máquina.

Foram selecionados para teste dois tipos de rebolos, um de óxido de alumínio branco e outro de óxido de alumínio rosa ( $Al_2O_3$ ), ambos nas dimensões de 254 mm de diâmetro externo, com 25,4 mm de espessura e 76,2 mm diâmetro interno, a granulometria para ambos os rebolos foi de tamanho 46, conforme mostra a figura 1.



**Figura 1.** Rebolos utilizados

O rebolo  $Al_2O_3$  branco, conforme Alcar (2013) tem sua utilização em retificações que requerem nível baixo de calor, gerado entre o rebolo e a peça, e ao mesmo tempo boa qualidade de acabamento em superfície com menor tempo de execução. Porém, conforme Elfusa (2017) tem como definição que o rebolo  $Al_2O_3$  rosa é ideal para operações em ferramentaria e cutelaria, onde proporciona corte frio e quebradiço, e para materiais que foram submetidos ao processo de tempera ou revenido. Conforme Oliveira (1988), todo rebolo após sofrer desgaste precisa ser afiado, este processo é conhecido como dressagem ou dressamento, pois o mesmo faz a remoção mecânica do volume do rebolo, gerando uma nova forma dos grãos abrasivos. Nas operações de dressamento dos rebolos foi utilizado um dressador monocristalino nas dimensões de 2 mm de diâmetro. Foi mantida uma velocidade constante em todas as operações de 5 metros por minutos divididos em três passes de modo a resultar em uma renovação completa dos grãos de corte em sua área de contato com a peça.

### Materiais

O material utilizado neste estudo foi um aço ABNT D6 (SAE D6, GERDAU D6, VC 131, AISI D6, DINW.NR 1,2436, X210CrW12) nas dimensões de 24 mm de comprimento e 25,4 mm de diâmetro. Conforme Villares Metals (2017) este material é utilizado em matriz de corte, facas e tesouras de alto rendimento, para cortes de chapas de aço

silício e chapas de aço e em estampo para corte de precisão na indústria de papel, em geral, materiais que exigem a máxima resistência a abrasão e retenção de corte.

Para obter igualdade quanto ao seu comprimento de espessura, foi feito o torneamento dos corpos de prova, deixando todos com 20 mm. Foi realizado um pré-acabamento na retificação em ambas as faces para remoção de tensões internas e eliminar imperfeições do torneamento, e encaminhadas para têmpera, aumentando assim sua dureza entre 58 e 60 Rockwell (HRC).

### Procedimentos experimentais

De acordo com Baradie (1996), para que se obtenha uma maior durabilidade na vida útil do rebolo, uma melhora na rugosidade e na precisão dimensional e a diminuição do calor gerado na região dos cortes, faz-se necessário a utilização efetiva dos fluidos de corte. Para realização dos testes em questão foram utilizados fluidos lubrificantes emulsificáveis em água, aplicado com um sistema de alimentação tipo tubeira tubo esmagado e emulsão de 10%. Seu principal objetivo é de vencer a barreira aerodinâmica causada pela velocidade periférica do rebolo, garantindo que o fluido de corte entre em contato com o rebolo, diminuindo as temperaturas inerentes ao processo e preservando a integridade e rugosidade da peça.

As velocidades de avanço longitudinal utilizadas foram de 24 m/min, 18 m/min e 12 m/min, medidas a partir de um cronômetro que ao ser fixado na máquina pôde afirmar com precisão as velocidades em estudo. Pois sendo uma característica deste tipo de máquina retificadora, a mesma não possui um marcador eficiente, contando apenas com uma válvula de ajuste imprecisa, ou com a experiência do operador em ajustar esta velocidade. Todas as velocidades de avanço longitudinal foram testadas com os rebolos de óxido de alumínio branco e óxido de alumínio rosa, gerando um total de seis ensaios. Esses ensaios foram replicados sete vezes, na qual foi utilizado o software Minitab para a distribuição da ordem dos ensaios, de forma a não ficarem tendenciosos.

**Tabela 1.** Tabela do planejamento do experimento

Nº odem	Nº amostra	Rebolo	Vf
37	1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	12m/min
32	2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	18m/min
27	3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	24m/min
38	4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	18m/min
26	5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	18m/min
25	6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	12m/min
40	7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	12m/min
41	8	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	18m/min
17	9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	18m/min
15	10	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	24m/min
23	11	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	18m/min
12	12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	24m/min
8	13	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	18m/min
20	14	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	18m/min
9	15	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	24m/min
28	16	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	12m/min
29	17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	18m/min
31	18	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	12m/min
13	19	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	12m/min
10	20	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	12m/min
11	21	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	18m/min

Nº odem	Nº amostra	Rebolo	Vf
18	22	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	24m/min
33	23	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	24m/min
4	24	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	12m/min
34	25	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	12m/min
21	26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	24m/min
7	27	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	12m/min
22	28	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	12m/min
24	29	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	24m/min
19	30	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	12m/min
35	31	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	18m/min
36	32	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	24m/min
3	33	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	24m/min
2	34	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	18m/min
16	35	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	12m/min
1	36	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	12m/min
14	37	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	18m/min
5	38	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	18m/min
30	39	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	24m/min
6	40	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	24m/min
42	41	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rosa	24m/min
39	42	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Branco	24m/min

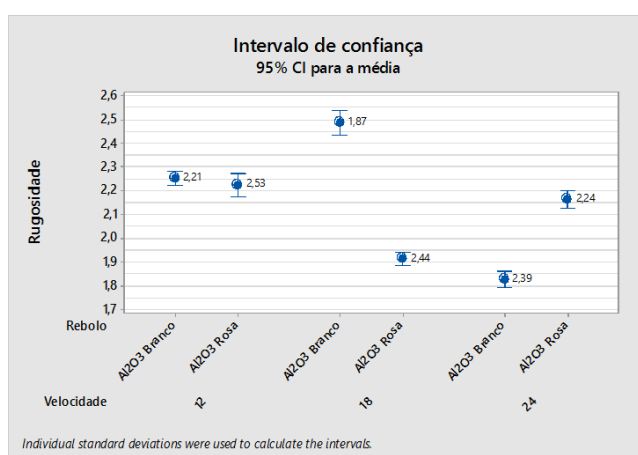
### Rugosidade

Foi analisada a rugosidade obtida através de um rugosímetro portátil marca TESA para a medição dos valores de rugosidade Ra dos corpos de prova, sendo essa medição feita no sentido transversal do movimento de avanço da mesa. Para o estudo dos resultados foi feita uma análise de variância ANOVA no software Minitab, para a indicação de influência dos parâmetros e suas interações no resultado final. Foi feito também um gráfico de interações e efeitos, além de um gráfico para intervalo de confiança dos resultados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

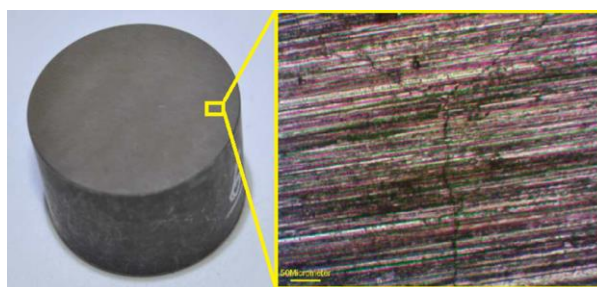
Notou-se que para ambos os rebolos a velocidade de avanço inicial de 12 m/min apresentou rugosidades semelhantes. Com o aumento da velocidade para 18 m/min, o rebolo de óxido de alumínio rosa proporcionou uma menor rugosidade, já para o rebolo de óxido de alumínio branco o resultado foi inverso, houve um aumento na rugosidade. Para a velocidade de avanço de 24m/min o rebolo de óxido de alumínio branco teve uma redução significativa de rugosidade se comparado com o valor de velocidade de avanço de 18m/min. O rebolo de óxido de alumínio rosa gerou uma rugosidade maior para a velocidade de 24m/min se comparado com rebolo de óxido de alumínio branco na mesma velocidade.

**Tabela 2.** Média das rugosidades



Weingaertner (*apud* König, 1980), relata que aumentando a velocidade de avanço e mantendo as demais variáveis, tendem a obter um aumento da força de usinagem, consequentemente a um elevado aumento de temperatura e tensão na região do corte. Há dois mecanismos de desgaste que de certa forma podem ter contribuído para essas variações de rugosidades, um seria o cegamento dos grãos abrasivos isolados e a sua quebra integral ou em grupos.

O cegamento dos grãos abrasivos no rebolo de óxido de alumínio branco aumentou o esforço de corte, podendo constatar que os grãos abrasivos não retiraram material, apenas esmagaram o mesmo vindo a causar uma diminuição na rugosidade, porém houve um começo de queima nas amostras devido ao aumento de temperatura de contato entre grãos abrasivos e peça. Também foi observado microtrincas em perpendicular ao sentido de corte, podendo essas trincas ter sido causadas pelo mesmo motivo das queimas nas amostras conforme mostra a figura 2



**Figura 2.** Amostra queimada e ampliação na microtrinca (ampliação de 200x)

Segundo BERTALAM (1997), com o aumento da temperatura na região do corte, tende a diminuir a eficácia dos grãos de óxido de alumínio branco, ocasionando a um aumento das tensões térmicas no grão, ou seja, obteve-se uma diminuição na rugosidade, porém comprometeu a integridade da peça. Já nos rebolos de óxido de alumínio rosa conforme o aumento da velocidade de avanço houve uma diminuição na rugosidade da peça, sem causar danos ou queima a sua superfície. Percebe-se que comparado aos estudos realizados por Weingaertner (1980), a interligação destes dois fatores tenha de certa forma permitido que os grãos abrasivos rompessem do ligante no momento certo,

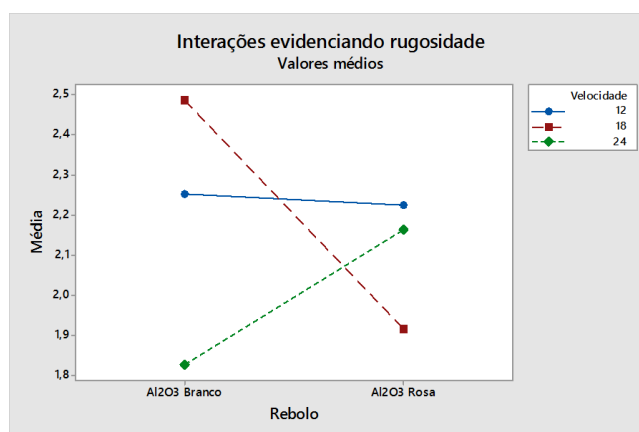
ocasionando uma nova forma de grão com a ação de novos gumes de corte, aumentando assim a rugosidade com o aumento da velocidade de avanço nas amostras.

A análise de variância feita com cada variável estudada e mais a interação entre elas mostrou que as mesmas influenciam diretamente nos resultados obtidos, pois conforme mostra na tabela 3 o valor de P foi menor que 0,05.

**Tabela 3.** ANOVA – análise de variância das variáveis estudadas

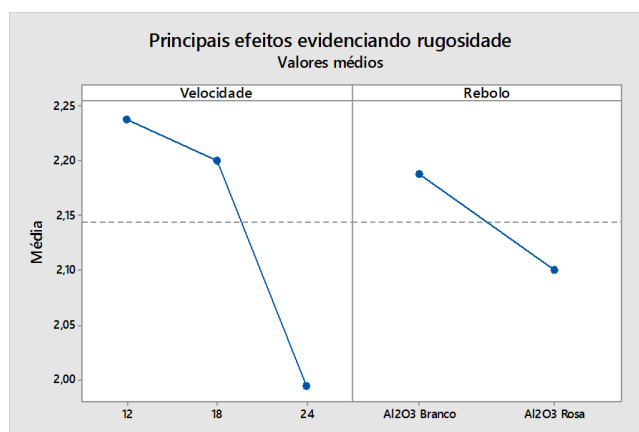
Grupo	Contagem	SS	MS	F	P
Rebolo	1	0,08061	0,08061	44,59	0,000
Velocidade	2	0,47804	0,23902	132,21	0,000
Rebolo*Velocidade	2	1,45929	0,72965	403,58	0,000
Error	36	0,06509	0,00181		
Total	41	2,08303			
S	0,0425198	R-Sq	96,88%	R-Sq(adj)	96,44%

A interação das variáveis em relação a rugosidade mostrou que houve uma melhora no acabamento superficial quando utilizado o rebolo de óxido de alumínio rosa em velocidade de avanço maiores, já com o rebolo de óxido de alumínio branco o resultado foi contrário, o resultado piorou com o aumento da velocidade de avanço. A figura 3 mostram o gráfico de interações.



**Figura 3.** Interações entre variáveis em relação a rugosidade

Entre os efeitos das variáveis, a análise gráfica mostrou que o aumento da velocidade de avanço traz resultados mais eficientes, quanto ao tipo do rebolo, o de óxido de alumínio rosa apresentou melhores resultados como é mostrado na figura 4.



**Figura 4.** Gráfico de efeitos das variáveis na rugosidade



## CONCLUSÃO

Concluiu-se que mediante dos parâmetros utilizados para realização dos testes o rebolo de óxido de alumínio rosa mostrou um melhor resultado para o trabalho de desbaste em uma velocidade média quando feita em peças que foram tratadas termicamente. Já os rebolos de óxido de alumínio branco, nas mesmas condições, evidenciaram o que se encontra em revisões de literatura e catálogos, que mediante a altas temperaturas na região de corte perdem sua eficácia nos grãos, causando danos à integridade do componente. Os rebolos de óxido de alumínio rosa também apresentaram uma maior influência nos valores de rugosidade, além de que velocidades de avanço mais altas também geram melhores acabamentos nesse tipo de rebolo. Já o rebolo de óxido de alumínio branco se mostrou melhor apenas na menor velocidade de avanço.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Tecnotêmpera pela valorosa atenção e ajuda na solução técnica no tratamento térmico das amostras e ao IFSC por viabilizar o incentivo à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Baradie, M.A. EL. Cutting Fluids: Part II. Recycling and Clean Machining. Journal of Material Processing Technology. Dublin. Ireland, 1996.
- Bertalan, C., Retificação com Rebolos de Nitreto de Boro Cúbico em Máquinas Ferramenta Convencionais, Dissertação (Mestrado) - UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 1997.
- Alcar Abrasivos. Catálogo Técnico. 2013. Disponível em: <<http://www.alcar.com.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2017.
- Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L. Tecnologia da usinagem dos materiais. Artiliber Editora Ltda, Campinas, SP, Brasil, 8a Edição, fevereiro de 2013.
- ELFUSA. Ficha Técnica. 2017. Disponível em: <<http://www.elfusa.com.br/pt/produtos/abrasivos/al>>. Acesso em: 14 jun. 2017.
- König, Wilfried. Retificação, Brunimento e Lapidação. Tradução de Weingaertner, Walter. Florianópolis: UFSC, 1980. 342p. Título original: Fertigungsverfahren Band 2: Schleifen, Honen, Läpen.
- MACHADO, Álisson Rocha (Coautor) et al. Teoria da usinagem dos materiais. 3. ed. rev. e atual. São Paulo: Blucher, 2015. 407 p., il. Inclui bibliografia. ISBN 9788521208464.
- Malkin, S. "Grinding Mechanisms" e "Grinding Temperatures and Thermal Damage". In: Malkin, S. Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives. 1 Ed. Chichester, Ellis Horwood Limited, 1989.
- Oliveira, J. F. G. Análise da Ação do Macroefeito de Dressagem de Rebolos no Desempenho do Processo de Retificação. Tese (Doutorado) - USP, São Carlos, São Paulo, Brasil, 1988.
- Souza, Gabriel Costa. Análise do desgaste radial de um rebolo de CBN com tubeira tipo sapata. Dissertação (Mestrado) - UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2012.
- VILLARES METALS (São Paulo). VC 131. 2017. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Trabalho-a-frio/VC131>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.