

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**TAMARA FERNANDA TORRES DE OLIVEIRA MARTINS**

**Adaptação e Validação de Bancada de Teste para Retificação**

Juiz de Fora

2018

**TAMARA FERNANDA TORRES DE OLIVEIRA MARTINS**

**Adaptação e Validação de Bancada de Teste para Retificação**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Dr. Prof. Raphael Fortes Marcomini

Juiz de Fora

2018

TAMARA FERNANDA TORRES DE OLIVEIRA MARTINS

**Adaptação e Validação de Bancada de Teste para Retificação**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em 06 de Novembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Prof. Raphael Fortes Marcomini - Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Professor Dr. Carlos Renato Pagotto  
Universidade Federal de Juiz de Fora

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Solange e Fernando, pelo apoio emocional durante o curso. Aos meus amigos Jéssica, Thais, Victor e Gustavo, que estiveram presentes em todas as dificuldades dando suporte e encorajamento.

Agradeço ao meu marido, Bruno, por fornecer toda a estrutura, compreensão, incentivos e amor, fazendo a jornada ser mais leve.

Agradeço aos técnicos de laboratório Matheus e Guilherme, e a estagiária Danielle pelo auxílio durante os trabalhos em laboratório. Ao Leonardo com sua parceria durante este trabalho.

E por último mas não menos importante, agradeço a Deus, que me permitiu errar para aprender e me tornar quem sou, e que nunca me desamparou.

"Cada um terá a vista da montanha que subir." Icaro Fonseca

## RESUMO

Este trabalho trata-se da adaptação de uma bancada de teste de desgaste para uma bancada de teste de retificação. Um estudo prévio de funcionamento da bancada foi feito para escolher a melhor configuração de retificação, sendo feito o uso de materiais como parafusos, abraçadeiras e porcas para adequar a fixação do rebolo e corpo de prova. Após definida a configuração, quatro rebolos foram fabricados, variando a porcentagem (80% de abrasivo para 20% de ligante e 60% de abrasivo para 40% de ligante) e adicionando lubrificação em dois rebolos distintos. Para o processo foi escolhido como corpo de prova o aço 1045, sendo cortado com comprimento de 50 cm e adaptando-o para fixá-lo na bancada e para a medição do parâmetro de temperatura. Com a ferramenta abrasiva e o corpo de prova prontos, iniciaram-se os testes medindo parâmetros como a temperatura (termopar inserido na ferramenta), rugosidade e razão G. Esses parâmetros retornaram resultados satisfatórios para a retificação na bancada adaptada, o acabamento ficou melhor que o esperado, a temperatura se manteve baixa ao ponto de não danificar o processo, a rugosidade melhorou e a razão G indicou um desgaste satisfatório para os tipos de rebolo fabricados.

Palavras-chave: Rebolo. Retificação. Bancada de Teste.

## ABSTRACT

This work is about adapting a wear test bench to a grinding test bench. A preliminary study to analyse the test bench operation was done to choose the best grinding configuration using some materials as screw and clamp to fit the grinding wheel and testing materials. After defined the configuration, four grinding wheels were manufactured changing the percentage (80% abrasive to 20% binder and 60% abrasive to 40% binder) and adding lubrication on two different grinding wheels. It was chosen for the process as testing material the 1045 steel with size of 50 cm of length and adapting to fix on the test bench and on the temperature parameter. With the grinding wheel 1 and material test prepared, the tests were started measuring parameters as temperature (thermocouple inserted in the tool), roughness and G ratio. These parameters returned satisfactory results for the rectification in the adapted test bench, the result was better than as expected, the temperature remained low does not damaging the process, the roughness improved and the G ratio indicated satisfactory wear for the types of grinding wheels manufactured.

Keywords: Grinding Wheel. Rectification. Test Bench.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de Retificação . . . . .	14
Figura 2 – Retificação Plana Tangencial . . . . .	15
Figura 3 – Retificação Plana Frontal . . . . .	16
Figura 4 – Retificação Cilíndrica Externa Longitudinal . . . . .	17
Figura 5 – Retificação Cilíndrica Externa de Mergulho . . . . .	17
Figura 6 – Retificação Cilíndrica Sem Centros . . . . .	18
Figura 7 – Retificação Cilíndrica Sem Centros . . . . .	18
Figura 8 – Características do Rebolo . . . . .	19
Figura 9 – Medida Rugosidade . . . . .	22
Figura 10 – Fluxograma da Metodologia . . . . .	23
Figura 11 – Bancada de Desgaste . . . . .	24
Figura 12 – Bancada de Retificação . . . . .	25
Figura 13 – Fixação do Rebolo . . . . .	26
Figura 14 – Corpo de Prova . . . . .	26
Figura 15 – Embutidora EFD 40 . . . . .	27
Figura 16 – Teste de Retificação . . . . .	28
Figura 17 – Gráfico de Temperatura . . . . .	30
Figura 18 – Gráfico de Rugosidade . . . . .	31
Figura 19 – Retificação Rebolo 600 . . . . .	33
Figura 20 – Retificação Rebolo 610 . . . . .	33
Figura 21 – Retificação Rebolo 800 . . . . .	34
Figura 22 – Retificação Rebolo 810 . . . . .	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos Rebolos . . . . .	27
Tabela 2 – Rugosidade . . . . .	31
Tabela 3 – Razão G . . . . .	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

MQL *Mínima Quantidade de Lubrificação*

## LISTA DE SÍMBOLOS

m/s	Unidade de velocidade (metros por segundo)
Mohs	Medida que quantifica a dureza de um material
%	Percentual
°C	Unidade de temperatura
$I_r$	Comprimento mínimo de amostragem
G	Razão G
$Z_x$	Volume do material usinado
$Z_s$	Volume do rebolo retificado
cm	Unidade de medida (centímetros)
mm	Unidade de medida (milímetros)
g	Unidade de peso (gramas)
$R_a$	Rugosidade Média
$\mu\text{m}$	Unidade de medida (micro-metros)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS . . . . .	13
1.1.1	<b>Objetivo Geral . . . . .</b>	13
1.1.2	<b>Objetivo Específico . . . . .</b>	13
1.1.3	<b>Organização do Trabalho . . . . .</b>	13
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .</b>	<b>14</b>
2.1	RETIFICAÇÃO . . . . .	14
2.1.1	<b>Retificação Plana . . . . .</b>	15
2.1.2	<b>Retificadora Cilíndrica . . . . .</b>	16
2.1.2.1	<i>Retificação Cilíndrica Externa . . . . .</i>	16
2.1.2.2	<i>Retificação Cilíndrica Sem Centros . . . . .</i>	17
2.1.2.3	<i>Retificação Cilíndrica Interna . . . . .</i>	18
2.2	REBOLOS . . . . .	19
2.2.1	<b>Material Abrasivo . . . . .</b>	19
2.2.2	<b>Granulometria . . . . .</b>	20
2.2.3	<b>Material Ligante . . . . .</b>	20
2.2.4	<b>Dureza . . . . .</b>	20
2.2.5	<b>Estrutura . . . . .</b>	20
2.3	LUBRIFICAÇÃO . . . . .	21
2.4	USINAGEM DE MATERIAIS . . . . .	21
2.5	PARÂMETROS DA RETIFICAÇÃO . . . . .	21
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>23</b>
3.1	MODIFICAÇÃO DA BANCADA DE DESGASTE PARA BANCADA DE RETIFICAÇÃO . . . . .	23
3.2	DEFINIÇÃO DO MATERIAL A SER SUBMETIDO A RETIFICAÇÃO	26
3.3	DEFINIÇÃO E PRODUÇÃO DO REBOLO . . . . .	27
3.4	EXECUÇÃO DOS TESTES DE RETIFICAÇÃO . . . . .	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES . . . . .</b>	<b>30</b>
4.1	TEMPERATURA . . . . .	30
4.2	RUGOSIDADE . . . . .	31
4.3	RAZÃO G . . . . .	32
4.4	RESULTADOS VÍSÍVEIS . . . . .	32
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>35</b>

5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros . . . . .	35
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>36</b>
	<b>APÊNDICE A – Rugosidade e Razão G . . . . .</b>	<b>38</b>
	<b>ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE . . . . .</b>	<b>39</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata-se da adaptação de uma bancada de desgaste para uma bancada de retificação. Essa adaptação será validada através da retificação do aço 1045, comparando os parâmetros do processo com outros em retificadoras comumente usadas.

O conceito básico da retificação consiste em ser um processo de usinagem onde o material de uma peça é removido através do contato entre esta e uma ferramenta abrasiva, geralmente denominada rebolo, que gira em torno de seu próprio eixo a uma alta velocidade. A retificação é o processo de usinagem mais usado para acabamento de peças de alta precisão, possuindo melhor resultado quanto ao acabamento superficial, geométrico e dimensional. Entretanto, dentre os demais processos de usinagem, este é o que se tem menos conhecimento, exigindo experiência dos operadores e melhores estratégias para as condições de trabalho. O fato de ser um processo de finalização, exige também maior cuidado, devido a sua complexidade e alto custo.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 **Objetivo Geral**

Consiste em adaptar uma bancada de desgaste para ser usada como uma retificadora e torná-la válida.

### 1.1.2 **Objetivo Específico**

Fabricar o rebolo para a retificação e medir seus parâmetros durante o processo com a bancada adaptada, afim de comparar com parâmetros de retificadoras usuais para justificar a validação do projeto.

### 1.1.3 **Organização do Trabalho**

Primeiramente será feita uma revisão bibliográfica, afim de que se esclareça o processo de retificação, bem como as características da ferramenta usada neste processo. Após apresentação do processo, será apresentada a metodologia, constando preparação, escolha de materiais, execução, apresentação de resultados e validação do trabalho. Por fim, serão apresentadas as conclusões e possíveis melhorias para futuros trabalhos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Durante a Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, foram desenvolvidos novos e melhores métodos para produção industrial. Maquinários novos puderam acelerar processos e ferramentas novas auxiliavam operadores facilitando o trabalho manual pesado.

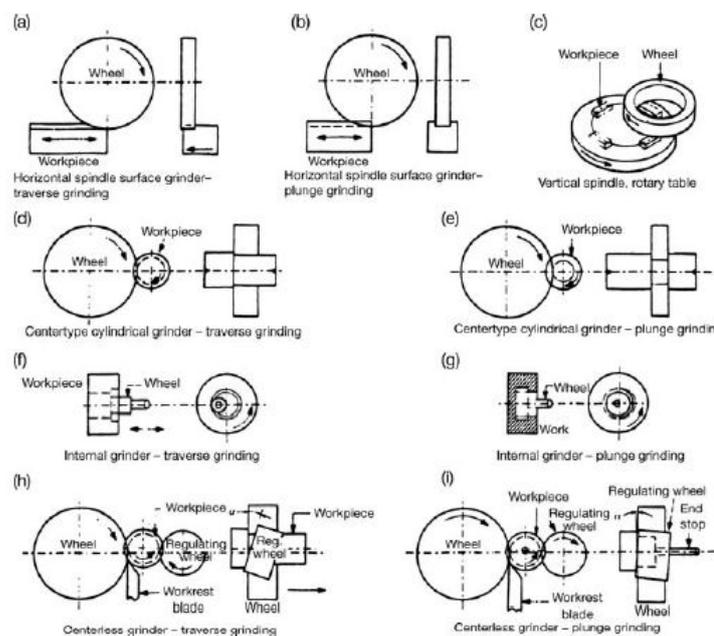
Em 1774, John Wilkinson construiu uma máquina para mandrilar cilindros de máquinas a vapor, os quais anteriormente eram mandrilados com ferramentas impróprias não garantindo a exatidão do processo (McGEOUGH, 1988). Ainda que tenha sido considerado um avanço, para os dias de hoje o método é considerado rústico, uma vez que o processo de mandrilamento de um cilindro poderia demorar dias.

Em 1797 foi construído o primeiro torno por Henry Maudslay, em seguida veio a plainadora, e finalmente em 1860 surgiu a retificadora.

### 2.1 RETIFICAÇÃO

A retificação é um dos tipos de usinagem por abrasão. Esse processo consiste em usinar uma peça através de uma ferramenta abrasiva denominada rebolo, a qual vai retirar o material por meio de seus grãos abrasivos. MALKIN (2008) afirma que a retificação corresponde de 20 a 25% do total das despesas em operações de usinagem, um valor considerado alto quando comparado a quantidade de processos a serem feitos antes, já que a usinagem por abrasão é um processo de acabamento. Para MALKIN (2008) há vários tipos de operação na retificação por abrasão, estes estão citados na figura a seguir:

Figura 1 – Tipos de Retificação



A imagem retrata os tipos de retificação mais usuais, sendo elas:

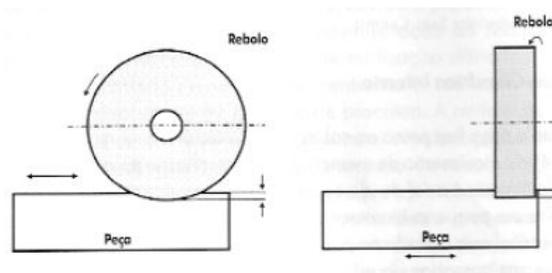
- Retificação Plana
  - a) Tangencial
  - b) Mergulho
  - c) Vertical
- Retificação Cilíndrica
  - c) Transversal
  - d) Mergulho
- Retificação Interna
  - e) Transversal
  - f) Mergulho
- Retificação Sem Centros
  - g) Transversal
  - h) Mergulho

Centralizando a ideia do autor sobre os tipos de retificação, podemos definir dois grandes grupos englobando os processos mais usuais: Retificação Plana e Retificação Cilíndrica.

### 2.1.1 Retificação Plana

Geralmente é uma mesa onde fixa-se a peça a ser retificada, a qual realiza movimentos transversais e longitudinais entrando em contato com o rebolo para a retirada de material. Para este tipo temos duas possibilidades. A primeira denominada Retificação Plana Tangencial:

Figura 2 – Retificação Plana Tangencial

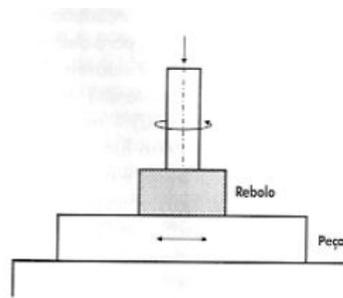


Fonte: Diniz, 1999

Neste caso, a mesa avança e recua transversalmente, enquanto o rebolo avança em profundidade retirando material da peça. Este processo é usado para peças de baixa produção devido ao fato de ser lento.

A outra possibilidade de Retificação Plana é denominada Frontal. Neste caso o eixo do rebolo encontra-se perpendicular ao plano da peça, e esta realiza movimentos transversais. Em geral o rebolo é muito maior que a peça para esses casos, sendo assim é possível usinar simultaneamente várias peças, uma evidente vantagem de produção em série. A figura a seguir ilustra este processo:

Figura 3 – Retificação Plana Frontal



Fonte: Diniz, 1999

## 2.1.2 Retificadora Cilíndrica

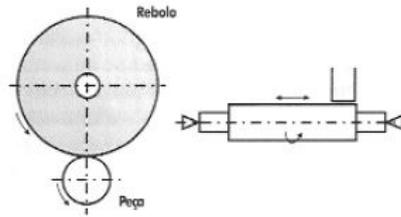
A retificadora cilíndrica consiste em dar acabamento em peças cilíndricas e cônicas tanto externamente como internamente. Este processo garante excelente acabamento e permite uma produção em série.

Esse tipo de processo se subdivide em três: Retificação Cilíndrica Externa, Retificação Cilíndrica Sem Centros e Retificação Cilíndrica Interna

### 2.1.2.1 Retificação Cilíndrica Externa

No tipo longitudinal, o rebolo avança em profundidade quando chega ao fim da primeira passada longitudinal, assim na próxima passada ocorre a retirada de material. A ilustração do processo está na figura a seguir:

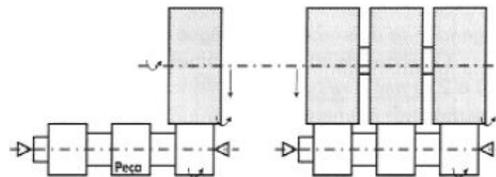
Figura 4 – Retificação Cilíndrica Externa Longitudinal



Fonte: Diniz, 1999

No tipo de retificação cilíndrica externa de mergulho o processo é mais rápido que o anterior. O rebolo retira material perpendicularmente a superfície da peça, a qual mantém uma rotação podendo ainda ter movimentos longitudinais

Figura 5 – Retificação Cilíndrica Externa de Mergulho



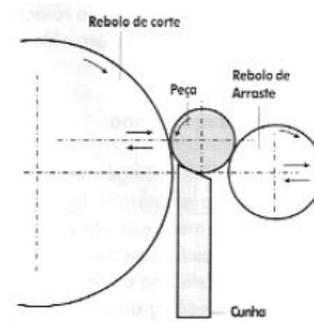
Fonte: Diniz, 1999

A parte mais a direita da figura, indica que pode ser feita retificação simultânea de mais de uma peça usando mais de um rebolo, por este motivo pode-se dizer também que trata-se de processo mais econômico que o anterior.

#### 2.1.2.2 *Retificação Cilíndrica Sem Centros*

Na figura seguinte, é possível ver este tipo de retificação. A peça está apoiada na cunha e rotaciona devido o contato com o rebolo de arraste que está em rotação. O rebolo que também possui esse movimento retira material da peça.

Figura 6 – Retificação Cilíndrica Sem Centros



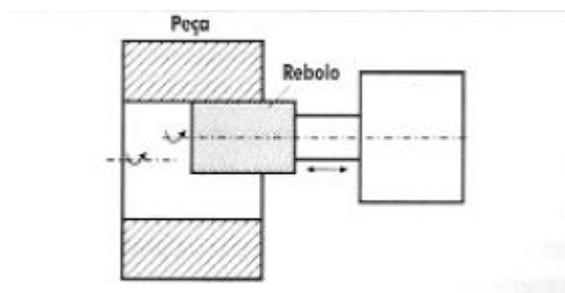
Fonte: Diniz, 1999

Esse tipo de retificação é específico para os casos em que a peça a ser retificada seja muito longa ou muito curta. No primeiro caso, a peça pode fletir quando fixada entre pontas, e no segundo caso a retificação possui grande dificuldade devido à baixa área de contato. Embora seja uma solução encontrada para estes casos específicos, ela não apresenta boa precisão, o que deve ser considerado baseando-se na finalidade da peça a ser retificada.

### 2.1.2.3 Retificação Cilíndrica Interna

O rebolo adentra ao interior da peça com movimentos axiais, em alguns casos este movimento é realizado pela peça. Quando o rebolo faz o movimento axial de saída do interior da peça, ele avança em profundidade retirando material. Durante todo o processo a peça está em movimento de rotação.

Figura 7 – Retificação Cilíndrica Sem Centros



Fonte: Diniz, 1999

A desvantagem desse processo é a imprecisão devido ao movimento do rebolo. Este por precisar ter um tamanho reduzido para adentrar ao interior da peça, necessita de uma alta rotação.

## 2.2 REBOLOS

O rebolo é uma ferramenta abrasiva cortante usada para a remoção de material em uma peça (REBEYKA, 2016). Sua geometria é geralmente cilíndrica e sua rotação varia entre 45 m/s até 100 m/s para os convencionais, e no caso de superabrasivos pode chegar ao valor de 120 m/s. Para sua fabricação são consideradas características que podem ser adaptadas de acordo com a necessidade do processo, tais como o material abrasivo, granulometria, material ligante, dureza e estrutura. A figura a seguir pode ilustrar melhor essas características, em seguida uma breve explicação facilitará a compreensão.

Figura 8 – Características do Rebolo



Fonte: Machado, 2009

### 2.2.1 Material Abrasivo

Os grãos abrasivos são extremamente duros, pois tem o objetivo de desgastar a peça a ser usinada através do atrito, por isso cada grão abrasivo pode ser considerado uma ferramenta de corte (STOETERAU, 2006).

Os abrasivos mais usados antigamente eram os naturais, constituídos de 60 % de óxido de alumínio e 40 % de óxido de ferro, com uma dureza abaixo de 9 na escala de Mohs (sendo 10 a maior dureza nessa escala, referente ao diamante). Entretanto, com os avanços trazidos pela Revolução Industrial, pode-se fazer uso dos abrasivos artificiais que possuem uma maior dureza. Esses abrasivos possuem duas classes: Silicosos e Aluminosos.

- Silicosos: Sua base é carboneto de Silício possuindo dureza 9,6 na escala Mohs
- Aluminosos: Sua base é a bauxita possuindo dureza 9,4 na escala Mohs

A escolha do melhor abrasivo é feita considerando a finalidade do seu processo, e principalmente as características do material a ser usinado.

### 2.2.2 Granulometria

A granulometria trata-se da classificação do grão abrasivo, ou seja, se ele é grosso. Para determinar tal característica é feito o peneiramento dos grãos, onde em um intervalo de 6 até 14 aberturas por polegada linear de uma peneira os grãos que passam em 6 e ficam retidos em 14 são considerados muito grossos. E para um intervalo de 40 até 80 aberturas por polegada linear, os grãos que passam em 40 e ficam retidos em 80 possuem granulometria média. Quanto mais grosso o grão, menor sua numeração, ou seja, para o primeiro caso de peneiramento temos grão 10, já para o segundo caso temos grão 60. A faixa de classificação varia para cada abrasivo.

### 2.2.3 Material Ligante

O ligante é o material que liga os grãos entre si tomando o formato cilíndrico do rebolo. O importante do material ligante não é apenas manter unidos os grãos, mas também expelir grãos desgastados e expor grãos novos, ou seja, com o contato entre a peça e o rebolo, os grãos que estão desgastados se prendem do ligante expondo grãos novos cortantes (SOUZA, 2009). Estes dois fatores sugerem que o ligante deve ser dosado para a constituição final do rebolo. Os ligantes são classificados em vitrificados e resinoides:

- Liga Vitrificada: Feita numa faixa alta de temperatura (em torno de 1200 °C) com a combinação de argila, quartzo e feldspato. Essa liga apesar de rígida, apresenta menor resistência a impactos, mas em contrapartida oferece um menor aquecimento entre ferramenta e peça durante o processo. Esta última característica, permite um menor tempo de manutenção da ferramenta.
- Liga Resinoide: É formada por um composto orgânico sintético. Sua característica forte é a alta resistência ao impacto, podendo assim ser usada em ferramentas com altas rotações

### 2.2.4 Dureza

A dureza do rebolo está ligada a resistência dos grãos e material ligante quando submetidas às tensões do processo. Durante o processo de retificação, os grãos abrasivos do rebolo podem ser retirados quando a dureza não é a mais adequada, o que acarreta a um desgaste da ferramenta. No caso da retificação desgastar a ferramenta implica em menor exatidão do resultado, o que torna o processo inválido muitas vezes considerando que esse é um processo de acabamento.

### 2.2.5 Estrutura

A estrutura de um rebolo é o que pode-se chamar de espaçamento entre os grãos abrasivos. Esta característica pode ser adquirida sem maiores problemas adicionando

material que pode ser eliminado nos processos de cura ou queima do rebolo para espaçar os grãos. Essa característica auxilia a evitar o desgaste da ferramenta, uma vez que ao retificar a peça, o material retirado se aloja nesse espaçamento não interferindo no contato entre o rebolo e a peça.

### 2.3 LUBRIFICAÇÃO

A lubrificação no processo de retificação é geralmente feita por meio dos fluidos de corte, que garantem também a resfriabilidade no calor gerado entre a peça e a ferramenta de corte. Porém atualmente tem-se feito o uso da chamada MQL (Mínima Quantidade de Lubrificante), onde uma quantidade mínima de lubrificante é usada diretamente no contato entre ferramenta e peça, evitando desperdícios e tornando o processo mais ecológico uma vez que o lubrificante usado não é tóxico (MALKIN, 2008). Alguns lubrificantes sólidos como o grafite, são impregnados na ferramenta durante a sua produção (antes do embutimento).

### 2.4 USINAGEM DE MATERIAIS

As características da peça a ser retificada, como dureza, condutividade térmica, ductilidade e outras, influencia diretamente em qual processo e retificação seria o mais adequado. Um material com baixa dureza por exemplo, permite retificar em altas velocidades, outro com baixa ductilidade permite uma menor energia para retirada do cavaco, e cada característica traz um ônus e/ou um bônus para cada processo de retificação.

### 2.5 PARÂMETROS DA RETIFICAÇÃO

- Temperatura: Alguns métodos são usados para redução de custo da retificação, como o aumento da velocidade de corte ou do avanço. Porém esses métodos trazem algumas consequências indesejadas, uma delas é o excesso de calor gerado durante o processo, o que pode danificar a ferramenta e trazer mau acabamento para a peça, sendo portanto necessário controlar esse parâmetro. Existem várias maneiras de medir a temperatura durante a usinagem, o presente trabalho traz o método do termopar inserido na ferramenta (LIMA, 2017), pois por se tratar de uma bancada de teste há certas limitações quanto ao uso de alguns métodos.
- Rugosidade  $R_a$ : Esse parâmetro trata-se da irregularidade na superfície da peça a ser usinada. O indicado para se chegar a um bom valor desse parâmetro é fazer medidas subsequentes com o auxílio de um rugosímetro, e considerar como valor final a média destas medidas. Segundo a ABNT (2008) deve-se considerar que cada medida corresponde a um comprimento mínimo de amostragem ( $I_r$ ) chamado de

*cut-off*, ou seja, a peça que você deseja medir a rugosidade deve ter um comprimento mínimo considerando uma faixa de rugosidade, como mostra a seguinte figura:

Figura 9 – Medida Rugosidade

Ra	Comprimento de amostragem de rugosidade
$\mu\text{m}$	$l_r$ mm
$(0,006) < Ra \leq 0,02$	0,08
$0,02 < Ra \leq 0,1$	0,25
$0,1 < Ra \leq 2$	0,8
$2 < Ra \leq 10$	2,5
$10 < Ra \leq 80$	8

Fonte: ABNT, 2008

- Razão G: É o parâmetro que controla o desgaste do rebolo. Para MALKIN (2008) esse desgaste pode ocorrer através do atrito ferramenta-peça, pela fratura dos grãos abrasivos ou com o desprendimento dos grãos aglomerados no ligante. Um rebolo com alto desgaste torna o processo mais caro uma vez que a ferramenta necessita ser substituída em intervalos menores do que o desejado. Esse parâmetro é medido através da seguinte equação:

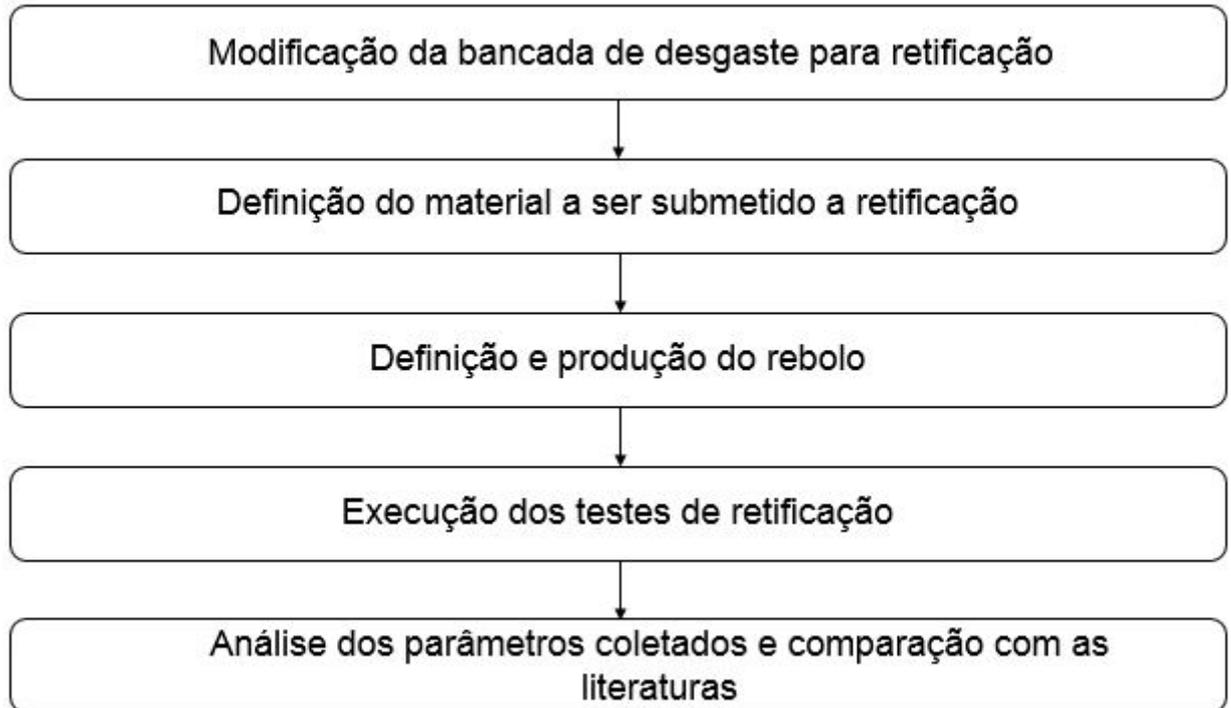
$$G = \frac{Z_w}{Z_s} \quad (2.1)$$

Onde  $Z_w$  trata-se do volume do material usinado, e  $Z_s$  o volume do rebolo retificado. Quando o valor de G é alto significa que temos um menor desgaste do rebolo.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho foi feita nas seguintes etapas:

Figura 10 – Fluxograma da Metodologia



Fonte: Elaborada pelo autor

#### 3.1 MODIFICAÇÃO DA BANCADA DE DESGASTE PARA BANCADA DE RETIFICAÇÃO

A bancada existente em laboratório apresentava a configuração de uma bancada de teste de desgaste, como mostra a imagem a seguir:

Figura 11 – Bancada de Desgaste



Fonte: Elaborada pelo autor

A peça indicada pelo número 1 é a chapa usada para desgastar o material a ser estudado, e a peça indicada pelo número 2 é onde ocorre a fixação do corpo de prova. Essa configuração dificultava a fixação do rebolo ou do material usado para a retificação, pois a chapa indicada em 1 não faria nenhum dos dois rotacionarem em torno do seu próprio eixo. Por esse motivo, a chapa de desgaste foi retirada, restando apenas o parafuso usado para sua fixação. Dentre as possibilidades de fixação do rebolo na máquina, a mais indicada foi justamente onde estava a chapa de desgaste, pois essa configuração permitiria manter a ferramenta no formato cilíndrico, o que já é usualmente feito, e manteria a face plana do rebolo para cima, tornando mais fácil o contato com o material a ser retificado.

A peça 2 da máquina, já usada para fixação do corpo de prova durante o processo de desgaste, foi mantida para a fixação do mesmo, porém precisou ser desparafusada e realocada de forma a ficar mais próxima do rebolo. Dessa forma, a configuração da bancada de retificação ficou pronta.

Figura 12 – Bancada de Retificação



Fonte: Elaborada pelo autor

A fixação do rebolo no parafuso que continha a chapa de desgaste foi um problema a ser estudado. Qualquer modificação brusca na estrutura do rebolo poderia trazer ineficiência nos testes, o que invalidaria a bancada. A solução mais viável para manter o rebolo na configuração já determinada, foi colocar uma porca juntamente com o rebolo durante o embutimento, dessa forma ele iria ser fixado diretamente no parafuso. Porém para evitar perder volume do rebolo, o que poderia causar sua quebra, e para tornar o processo de embutimento eficiente (uma vez que após o rebolo sair da embutidora era necessário ainda expor a porca retirando material), uma solução viável foi embutir apenas um rebolo com a porca e fixá-lo na bancada, e os demais rebolos usados para testes foram fixados em cima do rebolo fixo com o auxílio de uma abraçadeira, de modo que todo o conjunto rotacionasse em torno do mesmo eixo.

Figura 13 – Fixação do Rebolo



Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.2 DEFINIÇÃO DO MATERIAL A SER SUBMETIDO A RETIFICAÇÃO

O material do corpo de prova escolhido foi aço 1045, pois além de ser muito usado na produção de peças automobilísticas, equipamentos e eixos, é também fácil de ser encontrado no mercado. Cada corpo de prova foi cortado de uma barra de 1 m com uma serra de arco. Foram feitos com 5,0 cm de altura, sendo feito um furo 4,5 cm acima da base para fixação em bancada. Esses valores foram suficiente para manter o corpo de prova totalmente perpendicular em relação ao rebolo durante o processo de retificação. Um segundo furo foi feito 2 cm acima da base, sendo usado para encaixe do termopar para a medição de temperatura do processo. Por fim, a área que faz contato com o rebolo foi faceada no torno afim de diminuir a diferença de rugosidade entre os corpos após serem serrados. Foram feitos 4 corpos de prova com essas mesmas especificações.

Figura 14 – Corpo de Prova



Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.3 DEFINIÇÃO E PRODUÇÃO DO REBOLO

O rebolo usado possui 40 mm de diâmetro e 10 mm de espessura. A primeira medida é limitada pela embutidora, a qual faz apenas rebolos com essa especificação. Já a segunda medida se justifica pela quantidade necessária da mistura abrasivo-ligante para essa configuração de bancada de laboratório onde 30 g da mistura confere ao rebolo menor esfarelamento, possibilitando um maior tempo de retificação (SIQUEIRA,2018). O material usado para a fabricação foi o abrasivo de óxido de alumínio e como ligante a baquelite. Dessa forma foram usados 4 rebolos, cada um sendo nomeado de acordo com suas especificações.

Tabela 1 – Classificação dos Rebolos

Classificação	%Abrasivo	%Ligante	%Lubrificação
600	60	40	0
610	60	40	1
800	80	20	0
810	80	20	1

Fonte: Elaborada pelo autor

A lubrificação foi feita com grafite sólido da marca VONDER. Este tipo de lubrificação tem sido usado frequentemente substituindo o fluido de corte pelo método MQL, além das suas característica de alta condutividade térmica, boa resistência química e compressibilidade maior que demais materiais (PEARSON, 1993).

Após realizada cada mistura abrasivo-ligante-grafite, a mesma foi levada até a embutidora EFD 40 onde mantendo uma pressão de 1000 psi a temperatura se eleva até aproximadamente 192 °C ocorrendo assim o embutimento da mistura.

Figura 15 – Embutidora EFD 40



Fonte: Elaborada pelo autor

Após a fabricação dos 4 rebolos com suas devidas especificações, foi possível a realização dos testes.

### 3.4 EXECUÇÃO DOS TESTES DE RETIFICAÇÃO

Antes de iniciar os testes algumas preparações foram necessárias para a coleta de dados.

**Rugosidade:** Inicialmente foram feitas medidas da rugosidade de cada corpo de prova com o rugosímetro do modelo RP-100 da fabricante INSTRUTHERM. Cada corpo de prova teve sua rugosidade medida 08 vezes, e o valor final considerado é a média desses valores com seu desvio padrão.

**Razão G:** Em seguida foram pesados os rebolos e corpos de prova em balanças com precisão de 0,01 g, afim de encontrar  $Z_s$  (Volume do Rebolo) e  $Z_w$  (Volume do Corpo de Prova) obtendo pela relação destes a razão G.

**Termopar:** Um termopar tipo K com módulo conversor MAX 6675 e máxima medição 800 °C, foi acoplado no corpo de prova e conectado em um arduíno.

Com os corpos de prova e rebolos devidamente prontos, iniciou-se os testes de retificação. Um peso de 2 kg foi encaixado em um parafuso na ferramenta que leva o corpo de prova, assim foi garantido o contato permanente entre rebolo e corpo de prova.

Figura 16 – Teste de Retificação



Fonte: Elaborada pelo autor

A bancada ficou em funcionamento até que a temperatura se estabilizasse, o que

ocorreu em torno de 20 minutos de retificação. Em seguida foram feitas novas medidas da rugosidade e peso afim de comparação de valores.

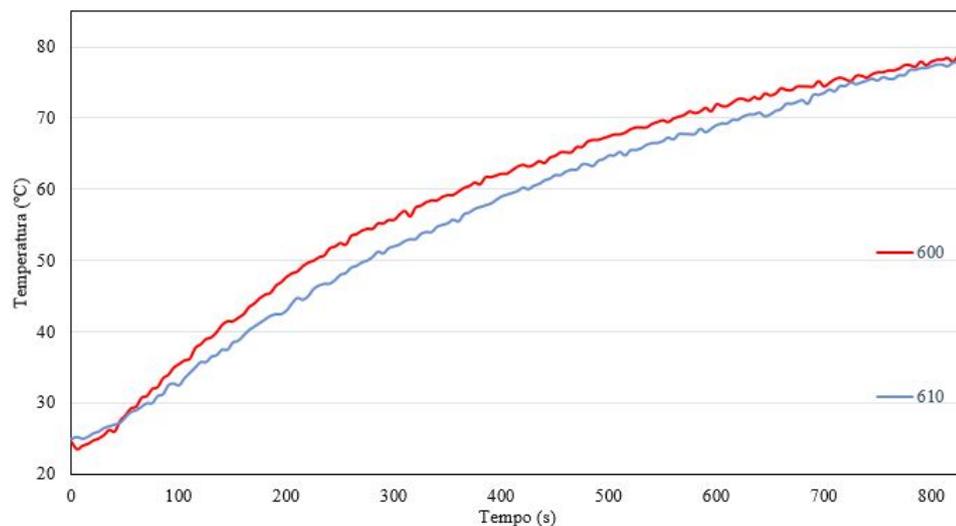
## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Após realizados os testes, foi possível observar visivelmente os efeitos positivos da retificação, onde a face retificada apresentou bom espelhamento, a temperatura manteve-se baixa e o rebolo não sofreu grandes perdas. A seguir estão representados os parâmetros obtidos.

### 4.1 TEMPERATURA

O termopar utilizado mediu a temperatura no corpo de prova em um ponto a 2 cm da base. Os rebolos 600 e 610 foram mantidos em teste por cerca de 20 min, tempo suficiente para a temperatura estabilizar. Porém, foi encontrada uma dificuldade em esperar o tempo de estabilização dos rebolos 800 e 810, pois por se tratarem de rebolos com uma estrutura mais aberta que os demais, seu desgaste foi maior, sendo necessário finalizar o teste antes. O gráfico mostra a comparação entre as temperaturas dos rebolos 600 e 610.

Figura 17 – Gráfico de Temperatura



Fonte: Elaborada pelo autor

Observando o gráfico nota-se que o rebolo que contém lubrificante apresenta menor temperatura durante o processo de retificação quanto ao sem lubrificante. Esse resultado já era o esperado, uma vez que a lubrificação garante a resfriabilidade do processo.

Vale ressaltar que foi observado que embora a temperatura dos rebolos 800 e 810 não puderam ser medidas até sua estabilização, para o mesmo tempo de retificação do rebolo 600 ou 610, a temperatura variava em torno de 5 ou 6 °C, ou seja, se em 10 min de retificação a temperatura do rebolo 600 estivesse 40 °C, a temperatura do rebolo 800 estaria em torno de 45 °C.

Segundo MACHADO (2009), a retificação do aço em geral pode chegar a uma temperatura de 1100 °C na região retificada, devendo ser garantido uma ferramenta abrasiva de qualidade que suporte esse valor. Ainda que as proporções de retificação consideradas pelo autor sejam bem maiores do que para bancadas de testes em laboratório e que o termopar inserido estivesse acima do contato peça-ferramenta, pode-se considerar que a temperatura atingiu um patamar satisfatório uma vez que os valores atingidos, quando houve estabilização, não foram suficiente para danificar a peça ou o rebolo e permitiram um resultado satisfatório no corpo de prova.

## 4.2 RUGOSIDADE

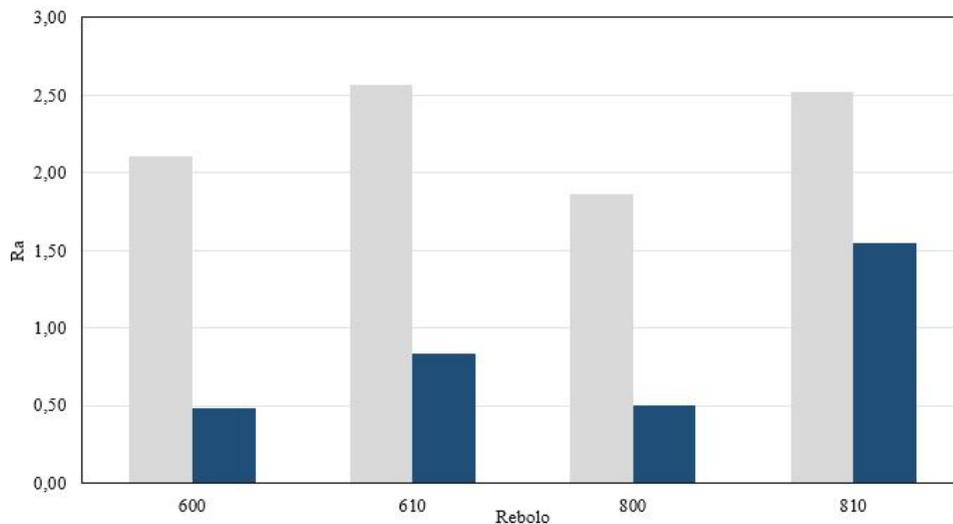
A rugosidade foi medida antes do processo e após o processo afim de comparar a qualidade da retificação (Valores encontrados no Apêndice A). Foram feitas 08 medidas e foi considerado como valor final a média entre elas com seu desvio padrão. A tabela e o gráfico a seguir mostram esse comparativo:

Tabela 2 – Rugosidade

Rebolo	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) Antes	$\sigma$	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) Depois	$\sigma$
600	2,11	0,16	0,48	0,08
610	1,80	0,15	0,53	0,08
800	1,87	0,19	0,50	0,16
810	1,70	0,17	0,90	0,20

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 18 – Gráfico de Rugosidade



Fonte: Elaborada pelo autor

É possível observar graficamente e pelos valores da tabela que a retificação melhorou o parâmetro de rugosidade em todos os casos. Vale ressaltar ainda que os valores apresentados possuem baixo desvio padrão.

### 4.3 RAZÃO G

Este parâmetro é encontrado pela relação entre  $Z_w$  e  $Z_s$ . Para esse trabalho foram encontrados os seguintes valores:

Tabela 3 – Razão G

<b>Rebolo</b>	$Z_w$	$Z_s$	Razão G
600	0,08	0,06	1,333
610	0,03	0,03	1,0
800	0,05	0,28	0,18
810	0,37	5,68	0,54

Fonte: Elaborada pelo autor

Observa-se pelos valores encontrados que o maior desgaste ocorre com o rebolo 800 e o menor com o rebolo 600. Esses valores de desgastes são aceitáveis para a validação da bancada, pois observa-se que os rebolos que mais desgastaram foram o 800 e 810, o que indica que esse desgaste está diretamente ligado a estrutura do rebolo que nesse caso utilizou 80% de abrasivo, o que gerou esfrelamento do mesmo durante o processo.

### 4.4 RESULTADOS VÍSIVEIS

Após a retificação e análise dos parâmetros já apresentados, pôde-se observar a situação final do rebolo e do corpo de prova.

- Os rebolos 600 e 610 apresentaram pouca modificação visível na estrutura do rebolo, e a face retificada do corpo de prova apresentou ótimo espelhamento.

Figura 19 – Retificação Rebolo 600



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 20 – Retificação Rebolo 610



Fonte: Elaborada pelo autor

- Os rebolos 800 e 810 apresentaram modificação visível na estrutura do rebolo, os grãos foram expostos e foram observadas irregularidades na face plana. O corpo de prova também apresentou superfície espelhada, portanto com mais ranhuras que os rebolos 600 e 610.

Figura 21 – Retificação Rebolo 800



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 22 – Retificação Rebolo 810



Fonte: Elaborada pelo autor

## 5 CONCLUSÕES

O trabalho permitiu desenvolver técnicas como a fabricação de rebolos e manuseio de um termopar que agregaram na formação acadêmica. Outro ponto importante foi a disponibilidade de uma bancada de teste de retificação para o laboratório de Metalografia da universidade, dando suporte prático para disciplinas importantes do curso de engenharia mecânica.

A bancada de retificação funcionou como o desejado apesar das dificuldades encontradas. Os parâmetros encontrados foram satisfatórios, não houve discrepâncias dos parâmetros encontrados em literatura, e o acabamento da peça ficou como o esperado para uma bancada de teste, podendo ainda ser melhorado variando o método de fabricação de rebolos.

### 5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos futuros destaca-se algumas melhorias:

- Estudo da fixação da mesa que leva a bancada de teste, de modo a diminuir a vibração durante o processo.
- Estudo sobre o acoplamento do termopar mais próximo do contato entre rebolo-peça podendo assim retornar valores mais exatos de temperatura no processo.
- Extensão para a fixação do corpo de prova, de modo que haja 100% de contato da face da peça com o rebolo quando houver necessidade.

## REFERÊNCIAS

MCGEOUGH, J.A. **Advanced Methods of Machining**, 1<sup>a</sup> ed., Springer Science+Business Media B.V, 1988. KANNAPPAN, S.; MALKIN, S. Effects of Grain Size and Operating Parameters on the Mechanics of Grinding. **ASME Journal of Engineering for Industry**, v. 94, p. 833-842, 1972.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15230: Ferramentas abrasivas — Uso, manuseio, segurança, classificação e padronização**. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6405 – Rugosidade das superfícies**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 4288 – Especificações Geométricas (GPS) - Rugosidade: Método do Perfil - Regras de Procedimentos para Avaliação da Rugosidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

DEWES, R. C. *et al.* Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 92, p. 293-301, 1999.

DINIZ, A.; MARCONDES, F.; COPPINI, N. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**, 1<sup>a</sup> ed., São Paulo: MM Editora, 1999.

FORTEL. **Prensa Embutidora Metalográfica 40 mm “EFD 40”**. Disponível em: <<https://fortel.com.br/produtos/detalhes-produtos/prensa-embutidora-metalografica-40-mm>>. Acesso em: 2 set. 2018.

LIMA, H. **Estudo sobre a temperatura no fresamento do aço ferramenta ABNT D2 empregando os métodos do termopar ferramenta/peça, termopar inserido e simulação numérica**. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

MACHADO *et al.* **Teoria da Usinagem dos Materiais**, 1<sup>a</sup> ed., São Paulo: Blucher, 2009.

MAGNANI, E. **Retificação cilíndrica externa do aço ABNT 1045 temperado e revenido utilizando diferentes rebolos e condições operacionais**. 2013. 91f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MALKIN, S.; GUO C. **Grinding Technology - Theory and Applications of Machining with Abrasives**. 2ª ed., New York: Industrial Press Inc., 2008.

REBEYKA, C. **Princípio dos Processos de Fabricação por Usinagem**, 1ª ed., São Paulo: Intersaberes, 2016.

SALMON, S.C. **Modern Grinding Process Technology**, New York: McGraw-Hill, 1992.

SCARI, A. **Trabalho de Conclusão de Curso: Orientações**. Disponível em : <[http://www.ufjf.br/mecanica/files/2008/07/Orienta%C3%A7%C3%B5es-Gerais\\_TCC.pdf](http://www.ufjf.br/mecanica/files/2008/07/Orienta%C3%A7%C3%B5es-Gerais_TCC.pdf)> Acesso em 2 set. 2018.

SIQUEIRA, L. **Fabricação e Testes de Rebolos com Uso de Grafite como Lubrificante Sólido**. Juiz de Fora: UFJF, 2018.

SOUZA, A. **Monitoramento da Dressagem no Processo de Retificação**. Dissertação de Mestrado. Bauru: UNESP, 2009.

STOETERAU, R. **Processos de usinagem com ferramentas de geometria não definida**. Curso de Introdução à Manufatura Mecânica. 2006. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

## APÊNDICE A – Rugosidade e Razão G

### Rugosidade $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )

Rebolo 600		Rebolo 610		Rebolo 800		Rebolo 810	
Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1,92	0,42	2,52	0,68	1,99	0,42	2,30	1,55
2,12	0,52	2,38	1,04	2,00	0,34	2,39	1,50
2,05	0,47	2,74	1,06	1,82	0,73	2,69	1,51
2,04	0,59	2,38	0,77	1,84	0,54	2,39	1,51
2,04	0,41	2,87	0,98	2,05	0,39	2,75	1,58
2,00	0,37	2,69	0,62	1,56	0,33	2,49	1,58
2,36	0,59	2,54	0,60	1,63	0,50	2,56	1,58
2,34	0,47	2,39	0,90	2,04	0,75	2,62	1,60

### Razão G

1ª linha: Rebolo, 2ª linha: Corpo de prova

Rebolo 600		Rebolo 610		Rebolo 800		Rebolo 810	
Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
30,16	30,10	30,22	30,19	22,80	22,52	29,96	24,28
74,19	74,11	70,36	70,33	75,02	74,97	74,90	74,53

**ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE****UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA****Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria**

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral<sup>1</sup> e criminais previstas no Código Penal<sup>2</sup>, além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 06 de Novembro de 2017.

---

Tamara Fernanda Torres de Oliveira Martins – Discente  
Matrícula: 201271104 – CPF: 35418523805

<sup>1</sup> LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

<sup>2</sup> Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.