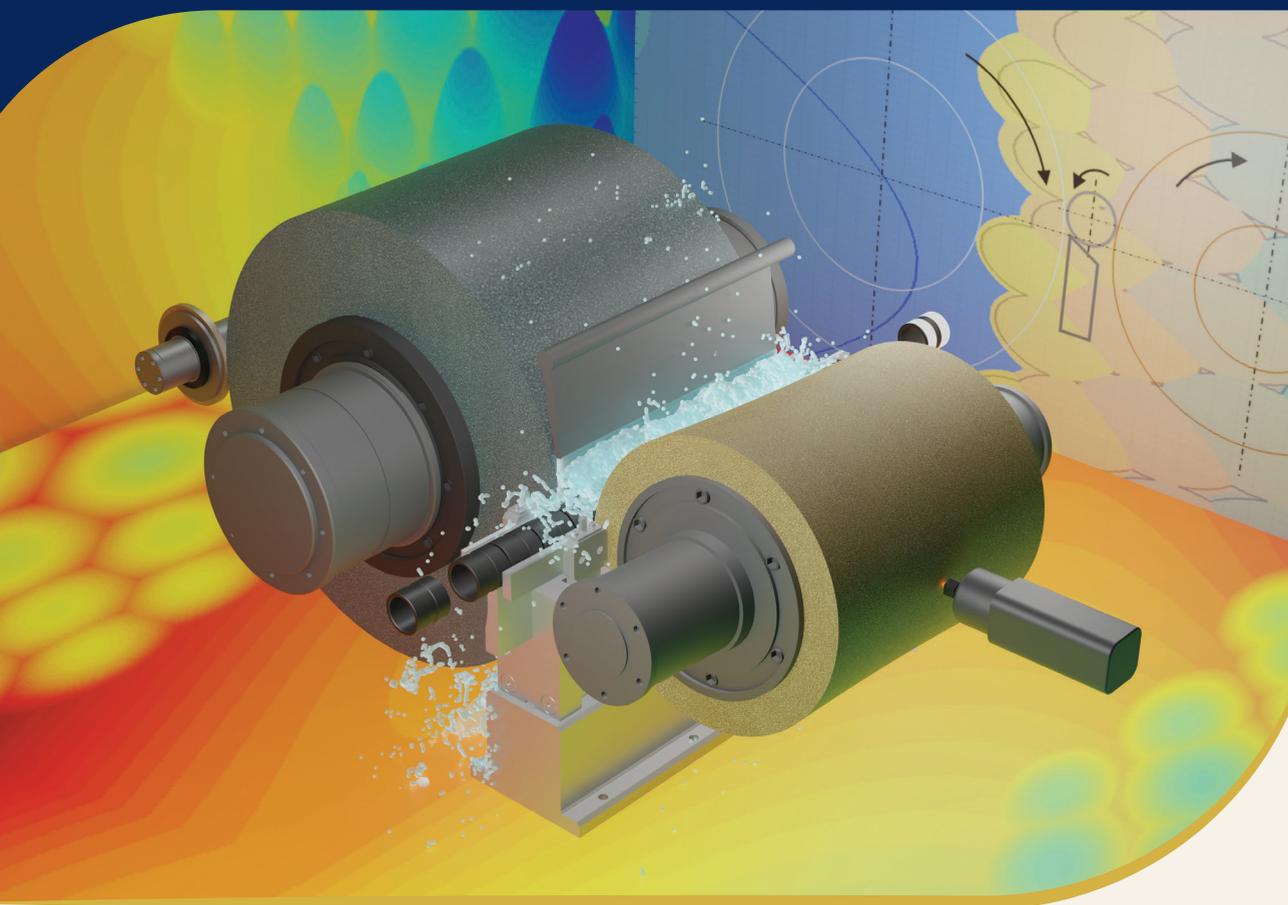


LUIZ MAURÍCIO GONÇALVES NETO

FUNDAMENTOS DOS PROCESSOS DE RETIFICAÇÃO *CENTERLESS*



Blucher

Luiz Maurício Gonçalves Neto

FUNDAMENTOS DOS PROCESSOS
DE RETIFICAÇÃO *CENTERLESS*

Fundamentos dos processos de retificação centerless

© 2023 Luiz Maurício Gonçalves Neto

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editores Eduardo Blücher e Jonas Eliakim

Coordenação editorial Andressa Lira

Produção editorial Rafael Cossetti

Preparação de texto Bárbara Waida

Diagramação Roberta Pereira de Paula

Revisão de texto Ana Lúcia dos Santos

Capa Leandro Cunha

Imagem da capa Wilson Cerdeira Maciulevicius e Luiz Otávio Antunes Gonçalves

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 6. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, julho de 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Gonçalves Neto, Luiz Maurício

Fundamentos dos processos de retificação centerless / Luiz Maurício Gonçalves Neto. – São Paulo : Blucher, 2023.

198 p.

Bibliografia

ISBN 978-65-5506-808-5

1. Engenharia mecânica 2. Usinagem I. Título

23-1193

CDD 620.1

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia mecânica

CONTEÚDO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS | 15 |
| 1. INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 Conceitos básicos dos processos de retificação | 20 |
| 2. INTRODUÇÃO AOS PROCESSOS DE RETIFICAÇÃO CENTERLESS | 29 |
| 2.1 Classificação dos processos de retificação <i>centerless</i> | 35 |
| 2.2 Classificação das retificadoras <i>centerless</i> quanto às suas formas construtivas | 47 |
| 2.3 Classificação das retificadoras <i>centerless</i> quanto ao movimento de avanço dos rebolos | 49 |
| 2.4 Vantagens dos processos de retificação <i>centerless</i> | 52 |
| 2.5 Remoção de material na retificação <i>centerless</i> | 53 |
| 2.6 Régua de apoio | 53 |
| 2.7 Sistemas automáticos de medição de diâmetro de peças nos processos de retificação <i>centerless</i> | 59 |

| | |
|--|------------|
| 3. GRANDEZAS NOS PROCESSOS DE RETIFICAÇÃO CENTERLESS | 63 |
| 3.1 Cálculo da velocidade da peça e dos rebolos na retificação centerless de passagem | 63 |
| 3.2 Cálculo do número de revoluções da peça durante o ciclo de retificação <i>centerless</i> | 68 |
| 3.3 Cálculo da taxa de remoção de material e da espessura equivalente de corte h_{eq} para os processos de retificação <i>centerless</i> de passagem e de mergulho | 71 |
| 3.4 Formação do desvio de circularidade na retificação <i>centerless</i> | 78 |
| 3.5 Estabilidade geométrica do processo de retificação <i>centerless</i> | 84 |
| 3.6 Cálculo da altura da peça (h_w) para o processo de retificação <i>centerless</i> | 91 |
| 3.7 Variação do desvio de circularidade em relação ao ângulo de tangência (γ) | 96 |
| 3.8 Variação do desvio de circularidade em relação ao ângulo da régua de apoio | 97 |
| | |
| 4. OPERAÇÕES DE DRESSAGEM NA RETIFICAÇÃO CENTERLESS | 99 |
| 4.1 Procedimento de dressagem dos rebolos | 99 |
| 4.2 Dressagem do rebolo de corte | 100 |
| 4.3 Dressagem do rebolo de arraste | 112 |
| | |
| 5. COMPORTAMENTO DINÂMICO DE UMA RETIFICADORA CENTERLESS | 135 |
| 5.1 Interferência da vibração no perfil do desvio de circularidade de componentes retificados | 136 |

| | |
|---|------------|
| 6. FLUIDOS DE CORTE E MODOS DE APLICAÇÃO NA RETIFICAÇÃO CENTERLESS | 141 |
| 6.1 Fluidos lubrificarrefrigerantes nos processos de retificação <i>centerless</i> | 141 |
| 6.2 Bocais mais empregados na retificação <i>centerless</i> | 144 |
| 6.3 Bocal para limpeza da superfície do reboło de corte | 148 |
| 6.4 Cálculo de velocidade, vazão e força do fluido aplicado a uma superfície | 149 |
| 7. QUEIMA DE RETIFICAÇÃO | 153 |
| 7.1 Tipos de queima de retificação | 153 |
| 7.2 Técnicas de detecção da queima de retificação em aços | 156 |
| 8. CARACTERÍSTICAS E PROBLEMAS DE QUALIDADE NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO CENTERLESS | 163 |
| 8.1 Características de qualidade controladas no processo de retificação <i>centerless</i> | 163 |
| 8.2 Possíveis causas de problemas de qualidade no processo de retificação <i>centerless</i> | 168 |
| 9. FERRAMENTAS ABRASIVAS NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO CENTERLESS | 173 |
| 9.1 Características dos rebolos de corte | 173 |
| 9.2 Definição do fator G de um reboło | 180 |
| 10. MONTAGEM DE REBOLOS E INSPEÇÃO DO EQUIPAMENTO DE RETIFICAÇÃO | 183 |
| 10.1 Montagem de rebolos <i>centerless</i> | 183 |
| 10.2 Inspeção periódica do equipamento | 187 |
| REFERÊNCIAS | 193 |

CAPÍTULO 1

Introdução

A modernização e a inovação dos processos de manufatura, o constante aperfeiçoamento pessoal e profissional, e a definição adequada das variáveis relacionadas aos processos produtivos trazem benefícios concretos para a rentabilidade e a solidez das empresas, em um mercado que se torna progressivamente mais competitivo. Dentre os processos de manufatura existentes, destaca-se a retificação “sem centros”, também conhecida como retificação *centerless*, processo de usinagem bastante utilizado na indústria metalmeccânica, principalmente para a produção seriada de peças cilíndricas que requerem tolerâncias dimensionais e geométricas de elevada exatidão, combinadas com um ótimo grau de acabamento. A aplicação de metodologias e tecnologias modernas nos processos de remoção de material torna-se, sob essa perspectiva, primordial para inovar os processos, de modo a aumentar a capacidade competitiva em diferentes países e mercados, garantindo a qualidade exigida e uma produtividade elevada, com respeito ao meio ambiente e ao ser humano e redução do custo final do produto.

A idealização deste livro nasceu da percepção da escassez, no Brasil, de referências bibliográficas, como artigos, livros, revistas e jornais científicos, sobre os processos de usinagem por abrasão e, em especial, o processo de retificação *centerless*. Nas áreas produtivas, são comuns dúvidas a respeito desse processo, principalmente no tocante à seleção de parâmetros e ajustes adequados das variáveis envolvidas. A eficiência de um processo de retificação de um certo material de uma peça depende da seleção e da combinação corretas de alguns fatores e vários parâmetros de corte, como rebolo (tipo, estrutura, granulometria, ligante), velocidade de corte, velocidade da peça,

profundidade de corte, condições de dressagem, fluido de corte (vazão, pressão e concentração), tipo e posicionamento do bocal para aplicação do fluido de corte e diversos parâmetros de ajustagem de uma retificadora.

A retificação *centerless* é considerada um processo de usinagem complexo em virtude do grande número de fatores e parâmetros que envolve. Assim, é muito comum deparar-se, nas áreas fabris, com a baixa produtividade desse processo, em virtude da falta de domínio tecnológico e de conhecimento a respeito da influência de fatores e parâmetros nas características de qualidade do produto retificado. Em várias situações, presencia-se nas áreas produtivas a definição de muitos parâmetros do processo de retificação *centerless* de maneira empírica, procedimento que, muitas vezes, não resulta na produtividade máxima do equipamento. Desse modo, o propósito deste livro é reunir em um único lugar um conjunto diversificado de informações e procedimentos particulares do processo de retificação *centerless*, de maneira a torná-lo uma fonte indispensável para ajustadores de retificadoras *centerless*, técnicos, engenheiros, estudantes e profissionais que desejam aprender e aprofundar os seus conhecimentos sobre tal processo. Além disso, este livro objetiva fornecer informações necessárias para o entendimento da influência dos principais parâmetros e variáveis nos resultados desse processo, tornando-o mais simples e rentável.

Os tópicos fundamentais, como a classificação e os principais elementos das retificadoras *centerless*, os parâmetros de ajuste, o mecanismo de geração do desvio de circularidade na retificação *centerless*, os diferentes bocais para aplicação de fluidos lubrificarrefrigerantes, as estratégias para dressagem do rebolo de arraste e de corte e as diferentes situações apresentadas para solucionar os diversos problemas de qualidade oriundos desse processo, são alguns dos assuntos abordados neste livro. Espera-se que, a partir de sua leitura, os profissionais das áreas de usinagem por abrasão se tornem mais motivados na busca pela obtenção de um processo de retificação *centerless* mais eficiente e de produtos retificados com melhor qualidade. Ademais, que a obra se torne uma fonte de consulta que possa contribuir para o fomento da pesquisa científica em universidades e instituições acerca dos processos de retificação *centerless*.

1.1 CONCEITOS BÁSICOS DOS PROCESSOS DE RETIFICAÇÃO

Processo de retificação é o termo mais comum para se referir aos processos de usinagem que utilizam ferramentas rotativas de corte, geralmente chamadas de rebolos. Os rebolos são compostos por uma quantidade numerosa de grãos abrasivos de elevada dureza, sendo aleatoriamente posicionados e ancorados entre si por um aglutinante (WARNECKE e WESTKÄMPER, 2001; GONÇALVES NETO, 2013). O princípio de ação do rebolo no processo de retificação consiste no desgaste causado pela penetração superficial de inúmeras arestas de corte dos grãos abrasivos na peça, ocasionando a remoção de pequenas partículas de material (cavacos) (BIANCHI, AGUIAR e PIUBELI, 2004), conforme demonstrado na Figura 1.1. De acordo com Malkin e Guo (2008), os grãos abrasivos são mais duros que o material da peça a ser retificado.

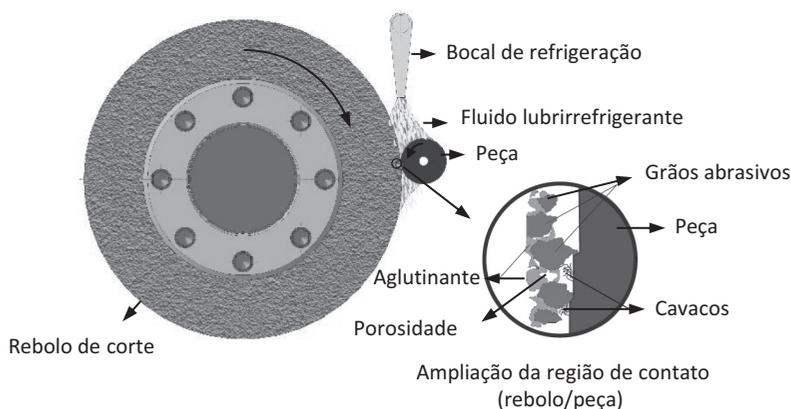


Figura 1.1 – Representação esquemática da ação dos grãos abrasivos na peça durante a retificação.

Fonte: adaptada de Gonçalves Neto (2013).

Conforme Bianchi, Aguiar e Piubeli (2004), durante o processo de retificação, um elevado consumo de energia é necessário para realizar a remoção de material. A quantidade de energia requerida no processo de retificação depende principalmente da relação das grandezas cinemática e geométrica entre o rebolo de corte e a peça, bem como da especificação do rebolo de corte e do fluido lubrificante-refrigerante utilizados (WINTER, 2016). As grandezas cinemáticas e geométricas relacionadas aos processos de retificação *centerless* serão apresentadas detalhadamente no Capítulo 3.

A remoção de material por partículas abrasivas é um dos mais antigos processos de usinagem, utilizada para definir as características de qualidade superficial das peças retificadas. Geralmente, os processos de retificação são empregados quando as características geométricas e de rugosidade de um componente não são alcançadas em outros processos de fabricação, como os de torneamento e fresamento. No processo de retificação, o cavaco gerado é extremamente pequeno, motivo pelo qual as superfícies dos componentes usinados apresentam ótimo acabamento e tolerâncias dimensionais estreitas, que normalmente não podem ser obtidas por outros processos convencionais de usinagem (MALKIN, 1989; MARINESCU *et al.*, 2004; VIEIRA *et al.*, 1999).

No ramo metalmeccânico, os processos de retificação geralmente definem a precisão e a qualidade superficial dos trabalhos, encerrando a etapa da fabricação de um componente (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999). Dessa forma, o valor agregado ao material nessa fase é elevado em virtude das etapas antecedentes de produção, como torneamento, furação, fresamento, tamboreamento, tratamentos térmicos, dentre outras. Assim, é de grande valia manter uma atenção especial na definição adequada dos parâmetros e nos procedimentos de ajuste desse tipo de processo, para que se atinjam melhores indicadores de produtividade.

Os processos de retificação envolvem diversas variáveis que devem ser combinadas simultaneamente, de maneira adequada, a fim de promover o seu bom desempenho,

ou seja, para que resultem uma melhor qualidade do produto retificado e menores custos de fabricação (GONÇALVES NETO, 2008). Está representada na Figura 1.2 uma estrutura da relação simultânea entre as principais variáveis de entrada, as variáveis envolvidas no processo de remoção de material e os resultados obtidos na retificação.

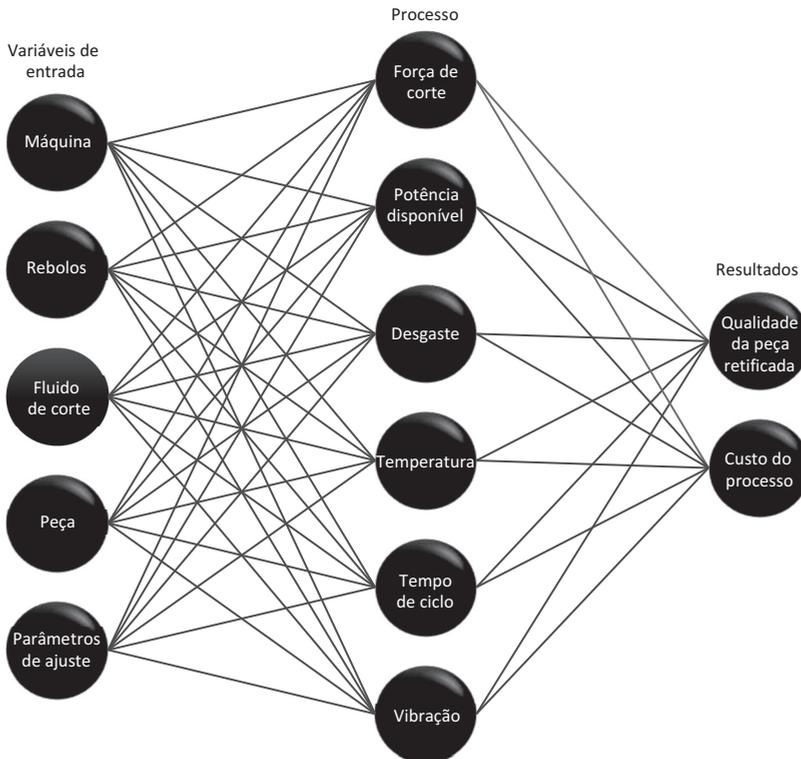


Figura 1.2 – Principais variáveis relacionadas aos processos de retificação.

Fonte: o autor.

Conforme a Figura 1.2, as variáveis de entrada do processo de retificação estão relacionadas a: tipo de máquina utilizado; tipo e especificação das ferramentas de corte (rebolos); tipo, características e propriedades químicas do fluido de corte utilizado na lubrificação da peça; sobremetal do material; e condições da peça a ser retificada. Também estão relacionadas aos parâmetros de ajuste de uma retificadora.

Durante o processo de retificação, são levados em consideração a força de corte necessária para remover material, as potências disponível e consumida da máquina, o desgaste dos componentes da máquina (decorrente do processo), a temperatura gerada tanto no equipamento como na zona de corte, o tempo de ciclo de retificação e os fenômenos indesejáveis no processo, como a vibração e a deformação elástica dos componentes da máquina-ferramenta.

No que tange aos resultados de um processo de retificação, estes estão relacionados aos aspectos tecnológicos e econômicos do processo. A consideração tecnológica diz respeito às características de qualidade da peça retificada, como desvios de circularidade, rugosidade, isenção de danos termomecânicos (queima de retificação), cilindridade, ondulação, dentre outras. Quanto aos aspectos econômicos, são levados em consideração o tempo dos ciclos de retificação e os custos de fabricação.

Existem no mercado diversos tipos de retificadoras, desenvolvidos para possibilitar a retificação das mais variadas configurações e geometrias de componentes. Conforme Machado *et al.* (2015), as retificadoras são classificadas de acordo com a superfície a ser usinada (cilíndrica externa, cilíndrica interna ou plana) e com o movimento relativo entre a peça e o rebolo (mergulho, longitudinal ou de passagem). A seguir, serão ilustradas as principais operações de retificação utilizadas nos segmentos da indústria metalmeccânica.

1.1.1 RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA EXTERNA ENTRE CENTROS

Neste processo, a peça é mantida apoiada entre pontas, as quais rotacionam a peça durante a retificação. O sentido de giro da peça em relação à rotação do rebolo de corte pode ser discordante ou concordante. A remoção de material pode ser realizada pelo processo de mergulho ou pelo processo de avanço longitudinal do rebolo, conforme representado esquematicamente nas Figuras 1.3a e 1.3b.

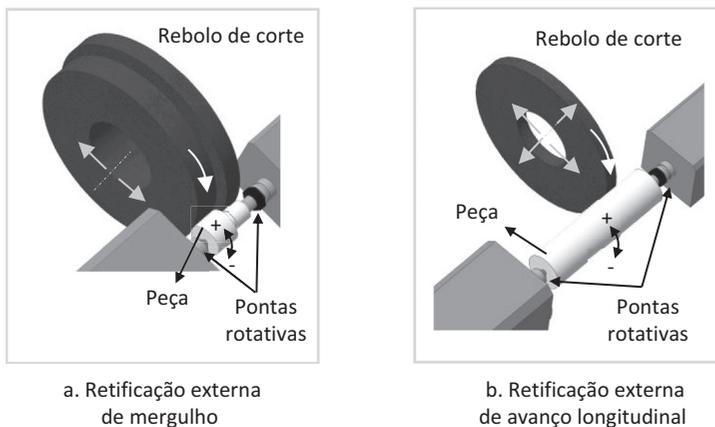


Figura 1.3 – Representação esquemática de retificadoras cilíndricas externas entre centros.

A retificadora cilíndrica externa de mergulho possibilita a retificação de componentes com diâmetros variados e ocorre pelo movimento de avanço em uma direção perpendicular à superfície retificada. Já a retificação externa de avanço longitudinal possibilita o processo em peças longas, sendo a retificação realizada pelo movimento longitudinal do rebolo ou da mesa da retificadora (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).

1.1.2 RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA EXTERNA *CENTERLESS*

Neste processo, a peça é posicionada entre dois rebolos e apoiada sobre uma régua de apoio. Durante a retificação, o rebolo de arraste rotaciona e/ou promove o movimento de passagem da peça, e o rebolo de corte é responsável pela remoção de material. A retificação da peça pode ser realizada por mergulho (Figura 1.4a) ou por passagem longitudinal, na qual o rebolo de arraste é mantido inclinado para gerar o movimento de passagem da peça, conforme ilustrado na Figura 1.4b.

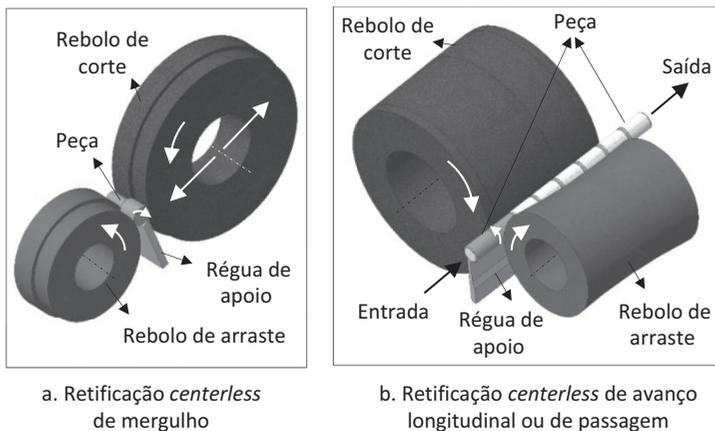


Figura 1.4 – Representação esquemática de retificadoras cilíndricas externas *centerless*.

Fonte: o autor.

1.1.3 RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA INTERNA

As retificadoras internas são classificadas como de mergulho ou *centerless*. No processo de retificação interna de mergulho (Figuras 1.5a e 1.5b), a peça é acionada pela placa de fixação, que pode ser tanto por garras como por placa magnética. Na retificadora interna *centerless* (Figura 1.5c), a peça é apoiada, durante a retificação, pelos rolos de apoio e de pressão, e rotacionada pelo rolo regulador.

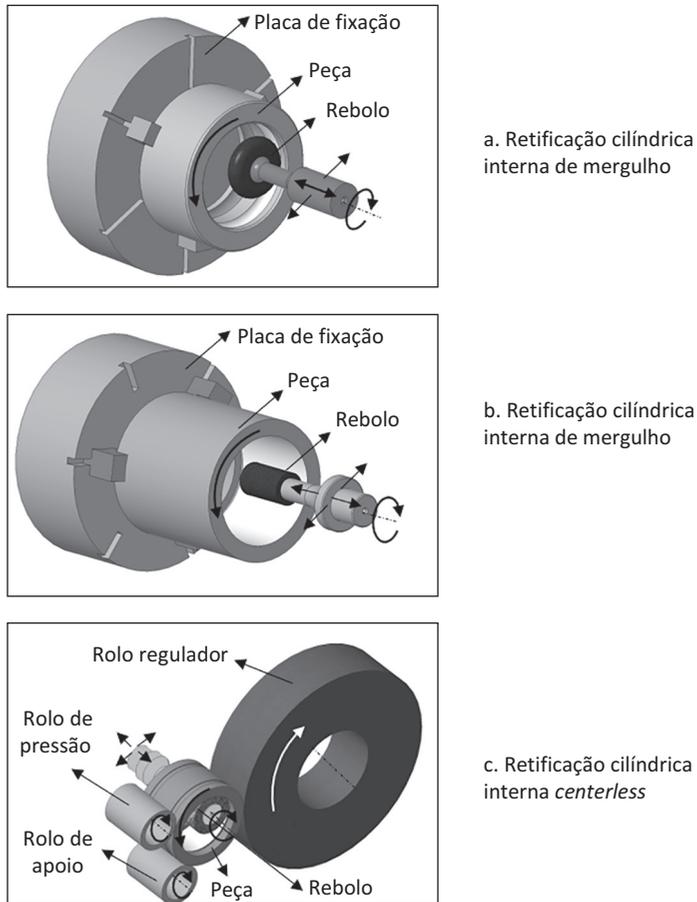


Figura 1.5 – Representação esquemática de retificadoras cilíndricas internas.

Fonte: o autor.

1.1.4 RETIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIES PLANAS

As retificadoras de superfícies planas são classificadas como tangencial e frontal. Nas retificadoras planas tangenciais, o eixo do rebolo é paralelo à superfície retificada, e elas são classificadas, conforme Machado *et al.* (2015), em de mergulho e de passagem (Figuras 1.6a e 1.6b). Na retificação frontal, o eixo do rebolo é perpendicular à superfície retificada, conforme ilustrado na Figura 1.6c.

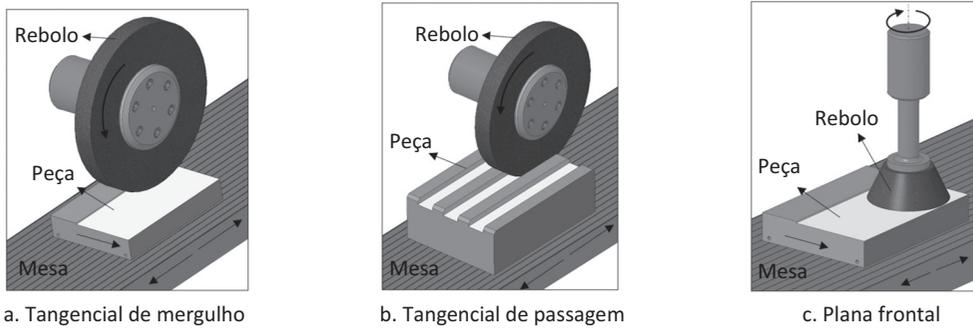


Figura 1.6 – Método de retificação de superfícies planas.

Fonte: o autor.

O processo de retificação plana tangencial também possibilita a retificação dupla de superfícies planas. Esse é um processo desenvolvido para a produção de superfícies planas paralelas em diversos componentes. O método de retificação pode ser tanto de passagem como de mergulho, conforme representado nas Figuras 1.7a, 1.7b, 1.7c e 1.7d.

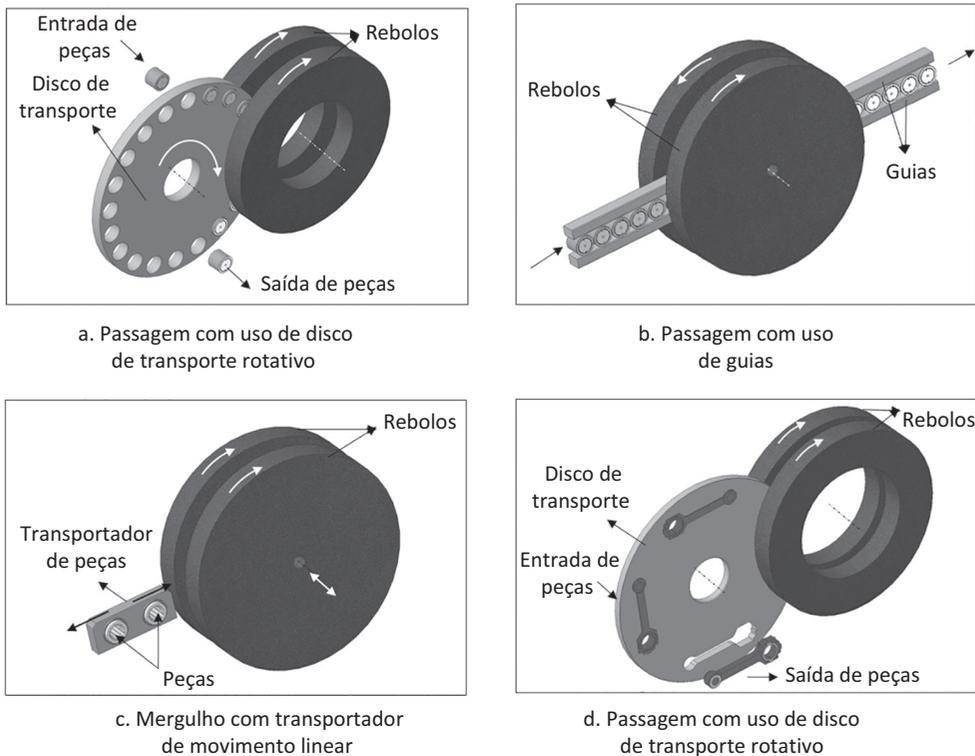


Figura 1.7 – Representação esquemática de retificadoras duplas de superfícies planas.

Fonte: o autor.

Além dos métodos de retificação citados, existem também outras operações específicas, como retificação de engrenagens, de roscas, de eixos entalhados, de esferas, de círculos excêntricos (virabrequins) e de cames.

Pelo fato de este livro tratar especificamente dos processos de retificação *centerless*, não serão realizados comentários de forma detalhada sobre os demais processos de retificação, embora também tenham a sua importância para as indústrias metal-mecânica, aeroespacial, automobilística, siderúrgica, médico-odontológica, cerâmica, eletroeletrônica, entre outras.

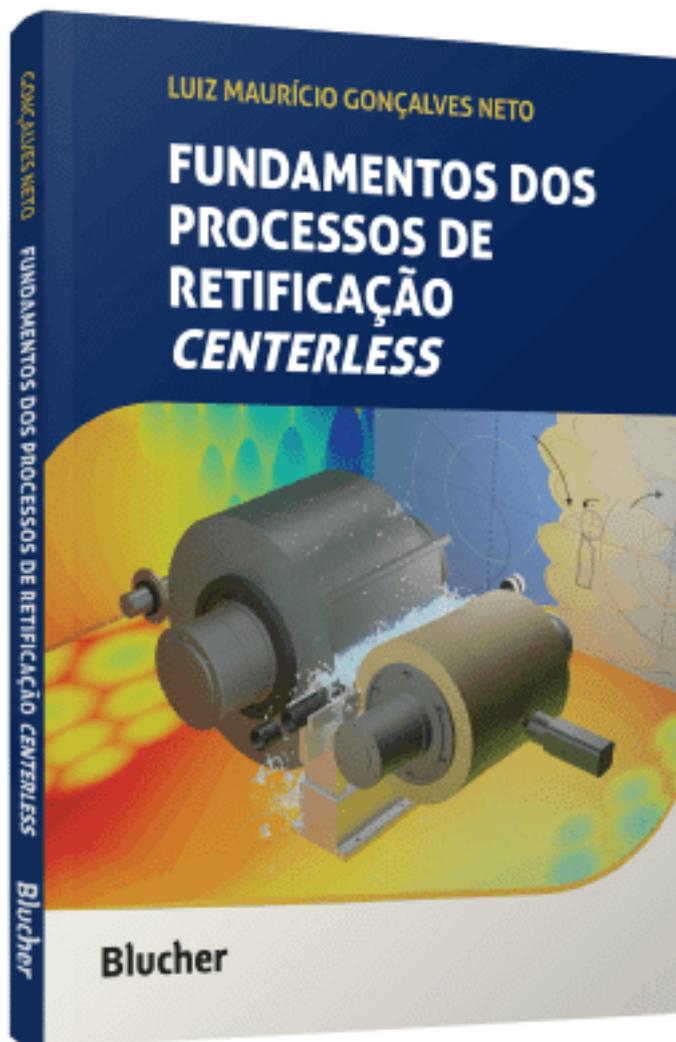
Dentre os processos de usinagem por abrasão, os processos de retificação *centerless* destacam-se pela capacidade de produção seriada de componentes cilíndricos que requerem tolerâncias dimensionais e geométricas de elevada exatidão. Amplamente utilizados nas indústrias metalmecânica, automobilística e aeroespacial, esses processos garantem um ótimo acabamento para as peças e podem promover ganhos significativos para as empresas que os utilizam.

Este livro contempla um conjunto diversificado de informações e procedimentos particulares dos processos de retificação *centerless*. Dessa maneira, é uma fonte indispensável para técnicos, engenheiros, estudantes e profissionais que desejam aprender ou aprofundar os conhecimentos a respeito desses processos e contribuir para o seu desenvolvimento e a sua otimização nas indústrias brasileiras.



www.blucher.com.br

Blucher



Clique aqui e:

[VEJA NA LOJA](#)

Fundamentos dos processos de retificação centerless

Luiz Maurício Gonçalves Neto

ISBN: 9786555068085

Páginas: 198

Formato: 17 x 24 cm

Ano de Publicação: 2023
