

ANÁLISE DO ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE NO TORNEAMENTO DO AÇO AISI 52100 COM FERRAMENTAS DE PCBN E METAL-DURO*

Clarianne Natali de Campos¹
João Vitor Rego Muniz²

Resumo

Um dos critérios para avaliar a condição da superfície usinada é o processo de remoção do material utilizado. No caso específico de materiais endurecidos, nas operações de acabamento, o processo de torneamento está se tornando uma alternativa à retificação. Mas obter peças com rugosidade R_a menor que $0,2 \mu\text{m}$ no torneamento de materiais endurecidos sempre foi um desafio para a indústria metal-mecânica. Diante deste cenário, o objetivo do presente trabalho é analisar o acabamento da superfície em torneamento do aço AISI 52100 em dois diferentes valores de dureza - 35 HRC e 55 HRC - com ferramentas de PCBN e de metal duro, a fim de verificar se o acabamento superfície obtida utilizando uma ferramenta de menor custo é igual ao obtido com as ferramentas PCBN. Verificou-se que tanto o PCBN quanto a ferramenta de metal duro obtiveram valores de rugosidade muito próximos para a usinagem do aço AISI 52100 com dureza de 35 HRC. No entanto, em um nível mais elevado de dureza, observou-se uma disparidade no desempenho das duas ferramentas, obtendo a ferramenta de PCBN valores mais baixos de rugosidade.

Palavras-chave: Rugosidade; Acabamento da superfície; Torneamento de materiais endurecidos.

ANALYSIS OF SURFACE FINISHING IN HARD TURNING OF AISI 52100 STEEL WITH PCBN AND CEMENTED COATED CARBIDE TOOLS

Abstract

One of the criteria to evaluate the condition of the machined surface is the process of removal of material used. In the specific case of hardened materials, in finishing operations, the turning process is becoming an alternative to grinding. But obtaining parts with roughness R_a smaller than $0.2 \mu\text{m}$ in the hard turning has always been a challenge for the metal-mechanic industry. In this scenario, the objective of the present work is to analyze the surface finish in turning of AISI 52100 steel in two different hardness values - 35 HRC and 55 HRC - with PCBN and cemented coated carbide tools, in order to verify if the finishing the surface obtained using a tool of lower cost is equal to the result achieved with PCBN tools. It was verified that both the PCBN and cemented coated carbide tools obtained very close roughness values for the machining of the AISI 52100 steel at 35 HRC hardness. However, at a higher level of hardness, a disparity was observed in the performance of the two tools, obtaining the tool of PCBN lower values of roughness.

Keywords: Roughness; Surface finish; Hard turning.

- ¹ *Graduada em Engenharia Mecânica, Mestre em Engenharia Mecânica, professora da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e da Universidade CEUMA (UNICEUMA), São Luís Maranhão, Brasil.*
- ² *Graduando em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Maranhão, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Há décadas a especificação de projetos para componentes mecânicos restringiu-se aos critérios de tolerâncias geométricas - de forma e posição. Entretanto, as exigências e os patamares de rendimento das máquinas e componentes evoluíram de escala, em que somente as tolerâncias clássicas não fornecem informações suficientes para garantir o bom desempenho de um componente. Assim, cada vez mais os fenômenos que atuam sobre a superfície do material têm conquistado maior importância, principalmente pelo fato de que, independentemente do processo de fabricação empregado, a remoção de material produz condições que afetam diretamente o estado microgeométrico da superfície [1].

A avaliação da textura da superfície tradicionalmente tem sido realizada pela verificação da rugosidade. A rugosidade ou textura primária é formada por sulcos ou marcas deixadas pelo agente responsável pela remoção de material no processo de usinagem (ferramenta, rebolo, partículas abrasivas, ação química etc.) e se encontra superposta a um perfil de ondulação provocado pelos movimentos da máquina-ferramenta, deformações oriundas do tratamento térmico, tensões residuais de forjamento ou fundição etc. [2].

Os parâmetros de rugosidade 2D estão previstos na norma ISO 4287/2002 e são divididos em três critérios principais: amplitude, espaçamento e híbridos. Os primeiros avaliam o comportamento do perfil da superfície, ou seja, com que frequência vales e picos aparecem, bem como o distanciamento entre eles. Nesta categoria estão incluídos parâmetros como Ra, Rt, Rz e Rq, bem como os parâmetros que avaliam o comportamento tribológico da superfície e que encontram-se diretamente correlacionados com a curva de Abbott, como os parâmetros Rsk, Rku, Rpk e Rvk.

Os parâmetros de espaçamento avaliam as características presentes ao longo do comprimento longitudinal do perfil da superfície, sendo o parâmetro RSm o mais conhecido. Por fim, os parâmetros híbridos resultam da combinação da análise longitudinal do perfil da superfície e da distribuição e distanciamento de picos e vales, sendo o RΔq o único previsto na norma ISO.

Apesar da ampla aplicação dos parâmetros de rugosidade 2D e as diferentes informações que podem ser obtidas por meio deles, os mesmos são extraídos de uma única "linha" da superfície do componente, característica essa que pode mascarar detalhes e condições que abordam volume. Torna-se necessário, então, o uso de um método complementar, como a análise da rugosidade 3D, para obtenção de dados mais confiáveis.

A obtenção de peças com rugosidades Ra menores que 0,2 μm na usinagem de materiais endurecidos sempre foi um desafio para a indústria metal-mecânica, principalmente quando se deseja empregar o torneamento como uma alternativa ao processo de retificação. Além disso, aços endurecidos são empregados na fabricação de engrenagens, rolamentos, matrizes e demais componentes críticos de engenharia, os quais necessitam de elevada resistência ao desgaste, o que torna ainda mais relevante o estudo da rugosidade da superfície [3].

A usinagem de materiais endurecidos pelo processo de torneamento já é possível devido ao desenvolvimento de máquinas com elevada rigidez e estabilidade dinâmica, bem como a utilização de cerâmicas e PCBN como ferramentas de corte [4]. Além das ferramentas ultraduras citadas, tem sido desenvolvidas ferramentas de metal-duro com grãos menores que 1 μm, os quais, associados com novos materiais e tecnologias de revestimento, como com grãos epitaxiais e CBN, têm proporcionado

ao metal-duro propriedades compatíveis com o processo de torneamento de materiais endurecidos, especialmente no torneamento de aços de construção mecânica [5]. Apesar da tecnologia consolidada, ainda encontram-se restrições na aplicação industrial do processo, seja pelo elevado custo das ferramentas de PCBN, pelas restrições de propriedades das ferramentas de metal-duro, ou ainda, pelas dificuldades impostas em decorrência das propriedades e características microestruturais das diferentes ligas de aços endurecidos utilizadas industrialmente. Diante deste cenário, o presente trabalho tem por objetivo analisar o acabamento da superfície no torneamento do aço AISI 52100 em dois distintos valores de dureza – 35 HRC e 55 HRC – com ferramentas de PCBN e de metal-duro, de modo a verificar se o acabamento da superfície obtido utilizando-se uma ferramenta de menor custo se equipara ao resultado alcançado com ferramentas de PCBN.

2 DESENVOLVIMENTO

Para a realização deste trabalho foram utilizados dois corpos de provas de aço AISI 52100 no formato de disco, os quais primeiramente foram submetidos ao processo de tratamento térmico para que fossem obtidas as durezas desejadas, a saber, 35 HRC e 55 HRC. A adoção da geometria do corpo de prova mostrada na Figura 1 foi baseada em Diniz e Oliveira [7], a qual possibilita elevada rigidez aos experimentos, pois o comprimento em balanço se torna pequeno. Esta rigidez evita que as vibrações promovam irregularidades dimensionais, avarias nas ferramentas ou ainda imperfeições na superfície usinada. Além disso, o corte pode ser realizado em sentido radial, possibilitando maior aproveitamento do volume do corpo de prova.

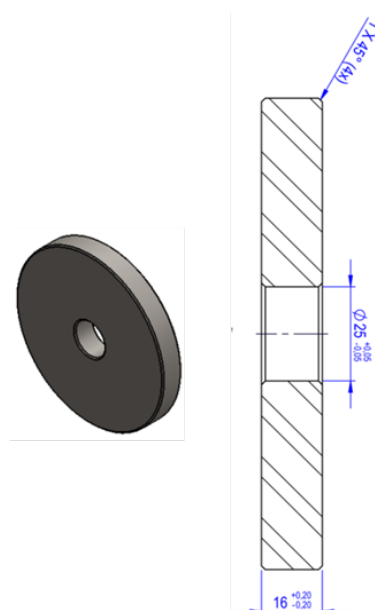


Figura 1. Geometria do corpo de prova utilizado no experimento.

Com o objetivo de minimizar os choques na entrada e saída da ferramenta, foram confeccionados chanfros no diâmetro externo e interno do corpo de prova (dimensão de 1 x 45°). O furo no centro do corpo de prova ($\varnothing = 25\text{mm}$) foi desenvolvido para permitir a manutenção da velocidade de corte constante programada. Concluída esta etapa, os corpos de provas foram submetidos ao processo de torneamento. Os experimentos foram realizados em um torno CNC de modelo

Heynumat 10U do fabricante Heyligenstaed com ferramentas de PCBN (ISO SNGA120408501030A-7025) e metal-duro (ISO SNMG 120408-GC4315) e porta-ferramentas (ISO DSBNR2020K) fornecidos pela empresa Sandvik Coromant®.

As ferramentas de corte utilizadas nos ensaios de torneamento são insertos de PCBN (Nitreto de Boro Cúbico Policristalino) e metal-duro. A ferramenta de PCBN empregada é composta 60% por CBN com uma distribuição bimodal de grãos (1 e 3 μm) em um ligante de cerâmica (TiN). Já a ferramenta de metal-duro é revestida com Al_2O_3 , cujo substrato é composto por grãos ultrafinos de carboneto de tungstênio, garantindo maior dureza à ferramenta. Por se tratarem de insertos quadrados, cada ferramenta apresenta oito gumes.

O processo foi realizado sem a utilização de fluido de corte. Para o processo de usinagem, os parâmetros de corte para acabamento (Tabela 1) foram utilizados e mantiveram-se constantes ao longo dos experimentos.

Tabela 1. Parâmetros de usinagem utilizados nos experimentos.

Parâmetro	Valor
Velocidade de corte (v_c)	150 m/min
Avanço (f)	0,08 mm
Profundidade de corte (a_p)	0,20 mm

Para a realização das medições de rugosidade utilizou-se o rugosímetro Mitutoyo® SJ-310 e comprimento de amostragem (λ_c) de 0,25 mm. Para obtenção dos valores de rugosidade, foram realizadas três medições em cada face usinada dos dois corpos de prova utilizados no experimento, totalizando assim, doze medições. O rugosímetro utilizado realiza o levantamento de diversos parâmetros de rugosidade 2D, segundo a norma ISO 4287/2002, bem como traça o perfil da superfície analisada e a sua respectiva curva de Abbott. A Figura 2 mostra a montagem do rugosímetro utilizado.

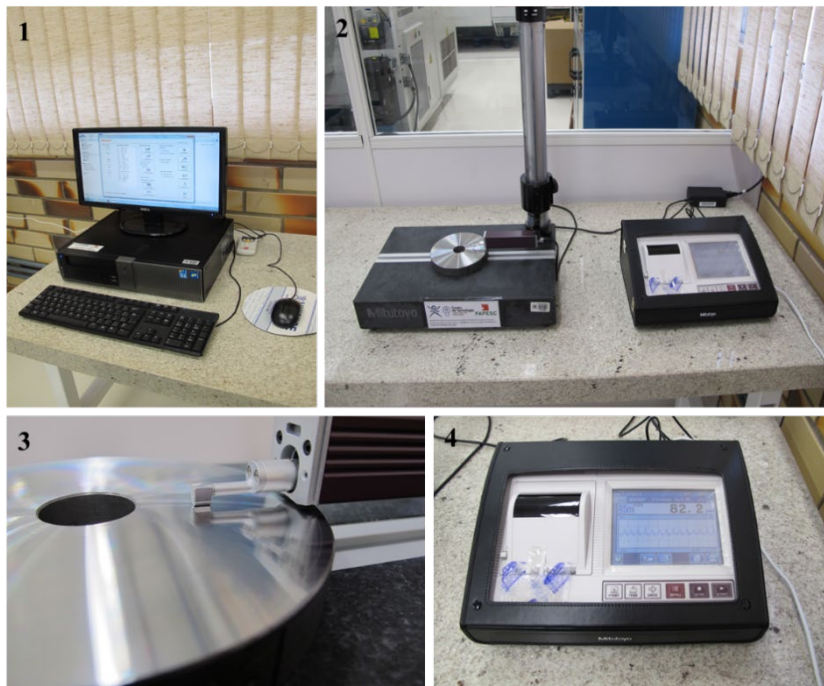


Figura 2. Avaliação da rugosidade durante os experimentos.

3 RESULTADOS

A partir da Figura 3, verifica-se que os dados de rugosidade para ambas as ferramentas são muito similares entre si, tomando-se como referência a dureza de 35 HRC. Entretanto, tal afirmação já não pode ser feita no que tange aos valores obtidos para dureza de 55 HRC, em que foram percebidos valores maiores de rugosidade para a ferramenta de metal-duro, apresentando diferenças superiores a 1 μm em relação a ferramenta de PCBN. Tal comportamento está diretamente relacionado à microestrutura do material, o qual apresenta carbonetos eutéticos dispersos em sua matriz [8].

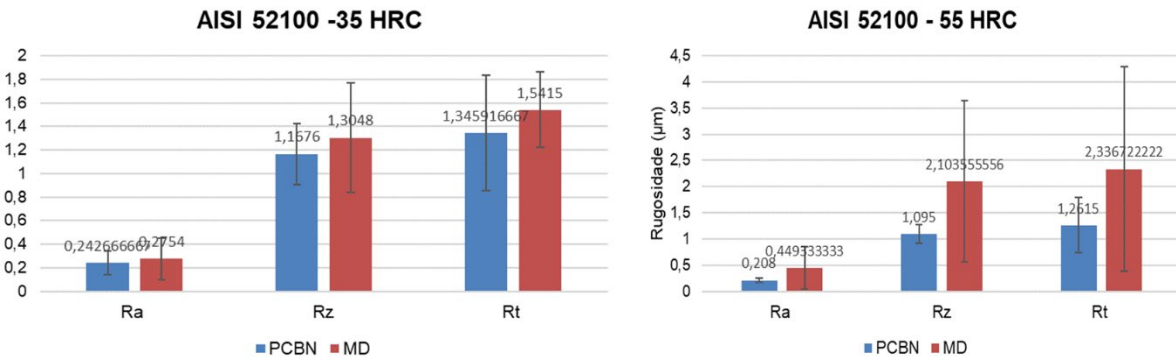


Figura 3. Valores de rugosidade para o aço AISI 52100 com durezas de 35 HRC e 55 HRC, com ferramentas de PCBN e metal-duro.

Além disso, verifica-se que os valores de rugosidade para a ferramenta de PCBN tende a ser menores na usinagem do corpo de prova de 55 HRC. Isso se deve principalmente ao comportamento plástico do corpo de prova com 35 HRC ser maior quando comparado ao de maior dureza [7].

Complementando a análise dos parâmetros de amplitude, as Figuras 4 e 5 mostram a curva de Abbott para as quatro condições ensaiadas (foram realizadas três medições em cada corpo de prova, e por isso mostra-se três curvas para cada condição).

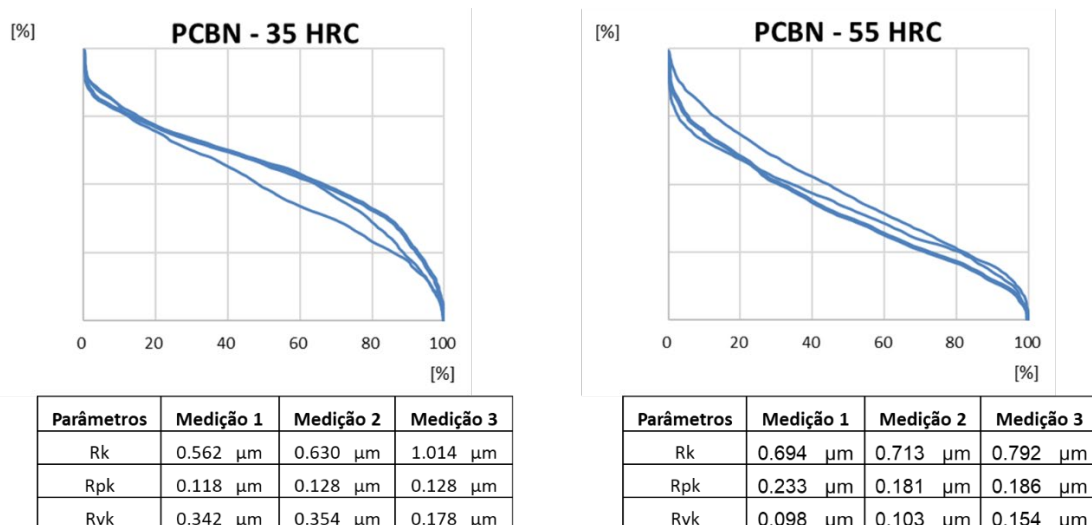


Figura 4. Comparação das curvas de Abbott dos experimentos e seus parâmetros obtidos pela ferramenta de PCBN.

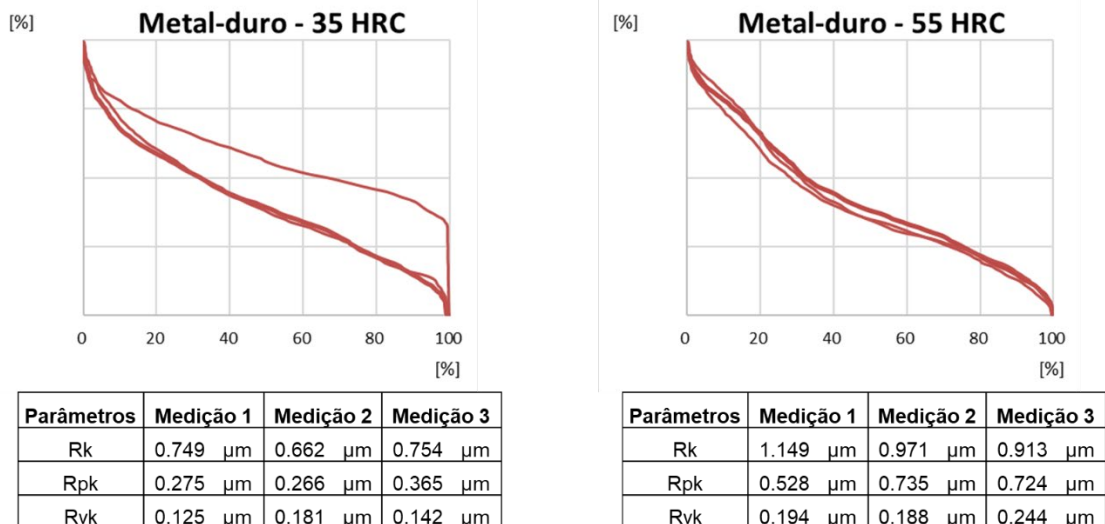


Figura 5. Comparação das curvas de Abbot dos experimentos e seus parâmetros obtidos pela ferramenta de metal-duro.

Analisando o perfil das curvas de Abbot mostradas nas Figuras 4 e 5, verifica-se uma aleatoriedade dos resultados. Ou seja, para a mesma condição de usinagem e utilizando os parâmetros e referências conforme descreve a norma (ISO) para a avaliação dos parâmetros de rugosidade, pode-se verificar que o equipamento utilizado não é suficientemente sensível para análise da rugosidade por meio de parâmetros relativamente mais complexos. Deste modo, os resultados quanto à curva de Abbott não fornecem informações confiáveis, bem como não é possível concluir algo em definitivo sobre a topografia da superfície e suas características tribológicas. Tal resultado permitiu verificar as limitações existentes no método de análise de rugosidade 2D. Isso pode ter ocorrido e estar relacionado a dois efeitos que tendem a modificar a aquisição do perfil analisado e, conseqüentemente, fornecer através do rugosímetro perfis de superfície que não retratem a realidade: a carga aplicada ao alpapador de leitura e o raio de ponta do apalpador [1]. No que tange ao primeiro efeito, pode-se afirmar que é praticamente impossível obter uma leitura de perfil por contato, sem que este não danifique a superfície em questão, portanto alterando o perfil analisado e diferenciando-o do registrado pelo aparelho. Com relação a distorção provocada pelo raio de ponta do apalpador, baseia-se no conceito de que, por menor que seja o raio utilizado para coletar este perfil de rugosidade, este sempre será maior que zero. Conseqüentemente, este apalpador não poderá reconhecer perfis de rugosidade cuja dimensão seja muito menor que a do seu raio [1], [3]. Deste modo, para a análise de situações similares, sugere-se a avaliação da rugosidade baseado em parâmetros 3D, para os quais, considera-se uma área usinada e não apenas uma linha sobre a superfície – com isso, informações complexas como as mostradas na Figura 4 podem tornar-se mais confiáveis.

3 CONCLUSÃO

O processo de torneamento de materiais endurecidos é uma realidade, devido o desenvolvimento de máquinas com elevada rigidez e estabilidade dinâmica e de materiais ultraduros para a fabricação de ferramentas de corte, como cerâmicas e PCBN. Os elevados custos deste tipo de ferramenta tem sido um impedimento para a aplicação mais ampla deste processo. Entretanto, atualmente existem ferramentas de metal-duro com grãos menores que 1 μm , os quais associados com novos

materiais e tecnologias de revestimento, como com grãos epitaxiais e CBN, tem proporcionado ao metal-duro propriedades compatíveis com o processo de torneamento de materiais endurecidos.

Com o intuito de verificar se havia similaridades de desempenho entre as ferramentas e a partir dos resultados dos experimentos, verificou-se que tanto a ferramenta de PCBN quanto a de metal-duro obtiveram valores muito próximos de rugosidade para a usinagem do aço AISI 52100 a 35 HRC de dureza. Entretanto, a um nível mais elevado de dureza, notou-se uma disparidade no desempenho das duas ferramentas, obtendo a ferramenta de PCBN menores valores de rugosidade. Este resultado está diretamente relacionada à microestrutura do material, o qual apresenta carbonetos eutéticos dispersos em sua matriz. Este fator é associado à severidade das condições do processo, dificulta a remoção de material e, conseqüentemente, promove a elevação dos valores de rugosidade.

Além disso, após a comparação das curvas de Abbott de todas as medições realizadas, não foi possível chegar a conclusões precisas sobre a topografia das superfícies usinadas, bem como suas características tribológicas. Diante deste cenário, foi concluído que a análise da rugosidade 2D é um método ainda limitado quando necessita-se obter informações mais detalhadas e com maior confiabilidade. Assim, reafirma-se a importância da análise da rugosidade 3D, por meio da qual obtêm-se dados de uma área específica, bem como o mapeamento da superfície usinada.

Agradecimentos

Este trabalho contou com o financiamento e apoio da FAPESC (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina) e UNIEDU (Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina).

REFERÊNCIAS

- 1 GRIFFITHS, B. "Manufacturing surface technology". [S.l.]: Penton Press, 2001.
- 2 BOUACHA, K. et al. "Statistical analysis of surface roughness and cutting forces response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool". International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, p. 349-361, 2010.
- 3 FIELD, M.; KAHLES, J. F. "Review of surface integrity of machine components". CIRP Annals - Manufacturing Technology, p. 153-163, 1971.
- 4 KLOCKE, F.; BRINKSMEIER, E.; WEINERT, K. "Capability profile of hard cutting and grinding processes". CIRP Annals - Manufacturing Technology, v. 54, p. 22-45, 2005.
- 5 BOING, D. "Análise da adequação do sistema tribológico do par ferramenta-peça por meio da avaliação do desgaste da microgeometria de ferramentas de metal-duro e PCBN no torneamento de materiais endurecidos". 2015. 89f. Qualificação (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2015.
- 6 DINIZ, A. E.; OLIVEIRA, A. J. D. "Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools". Journal of Materials Processing Technology, p. 275-281, 2008.
- 7 TONSHOFF, H. K.; ARENDT, C.; AMOR, R. B. "Cutting of hardened steel". CIRP Annals - Manufacturing Technology, p. 547-566, 2000
- 8 CAMPOS, C. N. de. Análise da integridade da superfície no torneamento de materiais endurecidos com ferramentas de PCBN e metal-duro. 2016. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2016.