

# COMPARAÇÃO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DA ESTABILIDADE DA FERRAMENTA NA OPERAÇÃO DE TORNEAMENTO INTERNO

## THEORETICAL AND EXPERIMENTAL COMPARISON OF TOOL STABILITY IN INTERNAL TURNING OPERATIONS

Wallyson Thomas Alves da Silva<sup>1, i</sup>

Leonardo Avane<sup>2, ii</sup>

Marcus Vinicius Begossi<sup>3, ii</sup>

### RESUMO

O torneamento interno é um processo altamente suscetível a vibrações devido à baixa rigidez da ferramenta, favorecendo a ocorrência do fenômeno chatter. Essas vibrações comprometem o acabamento superficial, reduzem a vida útil da ferramenta e afetam a precisão dimensional. Este estudo investiga a estabilidade da ferramenta a partir da análise da rugosidade superficial em diferentes rotações, comparando os resultados experimentais ao Diagrama de Lóbulos de Estabilidade (DLS). Os resultados indicam que o aumento da rotação reduz a rugosidade superficial, evidenciando maior estabilidade dinâmica. O DLS construído identificou regiões de estabilidade e instabilidade, permitindo ajustar parâmetros de corte para evitar vibrações indesejadas.

**Palavras-chave:** estabilidade da ferramenta; diagrama de lóbulos; vibrações.

### ABSTRACT

Internal turning is highly susceptible to vibrations due to the low stiffness of the tool, which promotes the occurrence of chatter. Such vibrations compromise surface finish, reduce tool life, and affect dimensional accuracy. This study investigates tool stability through surface roughness analysis at different spindle speeds, comparing the experimental results to the Stability Lobe Diagram (SLD). Results indicate that increasing spindle speed reduces surface roughness, demonstrating greater dynamic stability. The constructed SLD identified stable and unstable regions, enabling the adjustment of cutting parameters to avoid undesirable vibrations

**Keywords:** tool stability; stability lobe diagram; vibrations.

## 1 INTRODUÇÃO

O torneamento interno apresenta elevada sensibilidade a vibrações devido à baixa rigidez do conjunto ferramenta–porta-ferramenta, favorecendo a ocorrência de chatter. Esse fenômeno degrada o acabamento superficial, reduz a vida útil da ferramenta e

---

<sup>1</sup> Professor Adjunto II. Faculdade SENAI “Roberto Mange”. E-mail: wallyson.silva@sp.senai.br

<sup>2</sup> Projetista Mecânico. Faculdade SENAI “Roberto Mange”. E-mail: leonardoavane@gmail.com

<sup>3</sup> Coordenador de Atividades Técnicas. Faculdade SENAI “Roberto Mange”. E-mail: mbegossi@sp.senai.br

compromete a precisão dimensional do processo.

Neste contexto, o presente estudo busca correlacionar a variação da rotação do eixo principal com a estabilidade da ferramenta, analisando a rugosidade superficial resultante e comparando os dados obtidos com o Diagrama de Lóbulos de Estabilidade (DLS).

### 1.1 Problema de pesquisa

Como a variação da rotação do eixo principal influencia a estabilidade dinâmica da ferramenta e, conseqüentemente, a rugosidade superficial no torneamento interno?

### 1.2 Objetivo(s)

Investigar a estabilidade da ferramenta no torneamento interno por meio da análise experimental da rugosidade superficial em diferentes rotações, comparando os resultados obtidos com as previsões teóricas do DLS.

### 1.3 Justificativa

A estabilidade da ferramenta é determinante para a qualidade superficial e para a durabilidade do ferramental. A aplicação combinada de ensaios experimentais e análise via DLS permite definir parâmetros de corte mais seguros, prevenindo chatter e aprimorando o desempenho do processo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A estabilidade da ferramenta no torneamento interno depende de parâmetros como rigidez estrutural (máquina, porta-ferramenta e ferramenta), balanço da ferramenta, avanço, profundidade de corte e rotação da peça. Fatores adicionais, como ângulo de ataque e geometria da aresta de corte, influenciam diretamente o comportamento dinâmico (FALLAH et al., 2012; ALTINTAS, 2012).

Quando a ferramenta opera em condições estáveis, o perfil da rugosidade superficial tende a ser mais uniforme e regular. Por outro lado, em regimes instáveis, o chatter provoca padrões irregulares, aumento da rugosidade e redução da vida útil da ferramenta (STÉPHANE, 2005; TUNC; ALTINTAS, 2006).

Assim, a definição dos limites de estabilidade deve considerar as propriedades do material usinado, o setup da máquina e a seleção adequada dos parâmetros de usinagem, buscando manter o processo dentro da região estável do DLS.

## 3 METODOLOGIA

Foram realizados ensaios de torneamento interno em tarugos de alumínio liga 6351, utilizando um torno convencional ROMI T20. As velocidades de rotação adotadas foram: 355, 550, 700, 900, 1400 e 1800 rpm. A rugosidade superficial foi medida com um rugosímetro Mahr modelo 300C. As vibrações foram observadas e registradas nos regimes estável e instável Figura 1. Com base nos dados obtidos, construiu-se o DLS para relacionar o comportamento dinâmico da ferramenta às diferentes condições de rotação. Os parâmetros utilizados no modelo foram: modo de vibração:  $\beta_1 = 1,875$ ;  $\beta_2 = 4,694$ , comprimento (L): 100 mm, módulo de elasticidade (E): 70 GPa, diâmetro ( $\emptyset$ ): 8 mm, momento de inércia (I):  $(\pi \cdot \emptyset^4)/64$  e massa (m): 39,2 g.

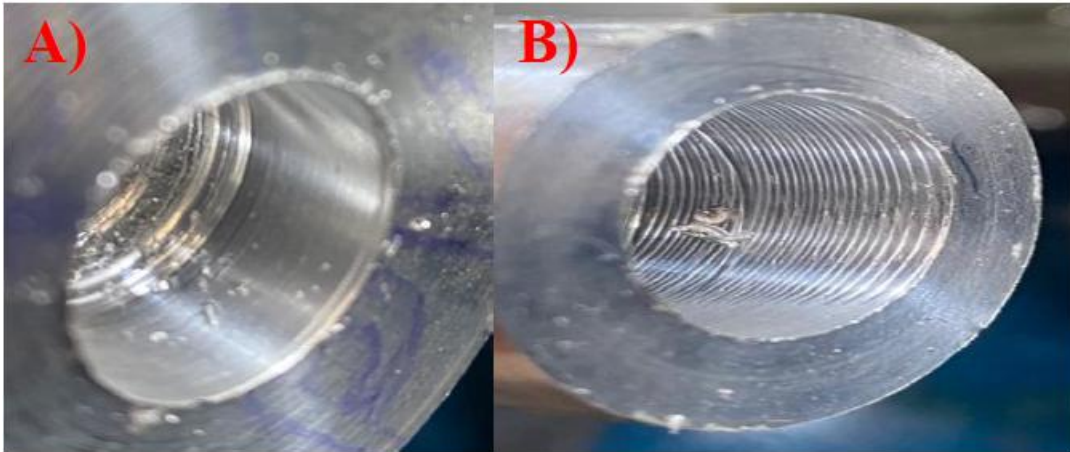


Figura 1. Comparação da estabilidade no torneamento no regime (A) estável e (B) instável.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tabela 1 apresenta os valores de rugosidade média ( $R_a$ ) e altura máxima do perfil ( $R_z$ ) para cada condição de rotação, considerando a ferramenta em balanços de 15 mm e 24 mm. Em ambas as configurações, a profundidade de corte foi mantida constante em  $a_p = 0,2$  mm.

Verifica-se que, nas menores rotações (355 e 550 rpm), os valores de  $R_a$  (6,396  $\mu\text{m}$  e 6,765  $\mu\text{m}$ , respectivamente) e  $R_z$  (28,33  $\mu\text{m}$  e 31,11  $\mu\text{m}$ ) são elevados, caracterizando condições instáveis associadas à presença de chatter. À medida que a rotação aumenta, observa-se redução progressiva da rugosidade: para 900 rpm,  $R_a$  cai para 1,659  $\mu\text{m}$  e  $R_z$  para 8,931  $\mu\text{m}$ ; e no maior valor testado (1800 rpm),  $R_a$  atinge 0,984  $\mu\text{m}$  e  $R_z$  5,353  $\mu\text{m}$ .

Tabela 1. Valores de rugosidade média ( $R_a$ ) e altura máxima do perfil ( $R_z$ ) obtidos em diferentes rotações no torneamento interno.

Posições	Rotação (rpm)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )
x1	355	6,396	28,33
x2	550	6,765	31,11
X3	700	4,431	25,32
x4	900	1,659	8,931
x5	1400	1,646	7,739
x6	1800	0,984	5,353

Essa tendência confirma que o aumento da rotação do eixo principal, quando dentro dos limites previstos pelo Diagrama de Lóbulos de Estabilidade (DLS), resulta em maior estabilidade dinâmica e melhor acabamento superficial. A análise do DLS evidenciou zonas bem delimitadas de estabilidade e instabilidade para os balanços de 15 mm e 24 mm, conforme ilustrado na Figura 2, reforçando sua utilidade como ferramenta de previsão para otimizar parâmetros de corte e prevenir vibrações indesejadas.

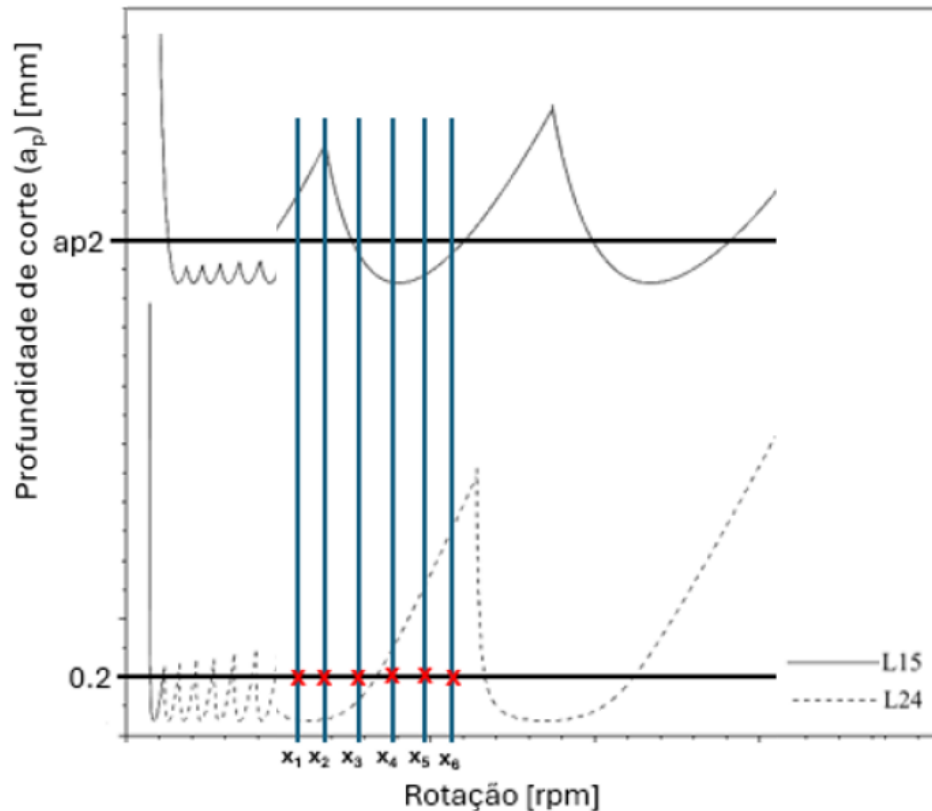


Figura 2. Diagrama de estabilidade de lóbulos para balanços de 15 mm e 24 mm com profundidade de corte constante  $a_{p2} = 0.2$  mm.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo confirmou que o aumento da rotação do eixo principal, quando realizado dentro dos limites definidos pelo DLS, melhora a estabilidade dinâmica da ferramenta e reduz a rugosidade superficial no torneamento interno.

A comparação entre os dados experimentais e o modelo teórico demonstrou a coerência da abordagem, fornecendo subsídios para a seleção de parâmetros de corte que previnam chatter e garantam melhor acabamento superficial.

## REFERÊNCIAS

FALLAH, A. et al. Stability analysis of turning processes considering tool dynamics and regenerative chatter. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 54, p. 1–11, 2012.

ALTINTAS, Y. *Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

STÉPHANE, Y. Machine tool chatter: stability analysis and suppression methods. *CIRP Annals*, v. 54, n. 2, p. 104-119, 2005.

TUNC, L. T.; ALTINTAS, Y. Prediction of dynamic machining stability using semi-discretization and harmonic balance methods. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 46, n. 9, p. 865–875, 2006.

## **SOBRE O(S)AUTOR(ES)**

### **Sobre os autores:**

---

#### **i WALLYSON THOMAS ALVES DA SILVA (Autor 1)**



Possui Pós-doutorado em Engenharia Mecânica no Karlsruhe Institute of technology (KIT) na Alemanha em 2025. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Usinagem dos metais. É Professor Adjunto II da Escola e Faculdade SENAI “Roberto Mange” em Campinas - SP.

#### **ii LEONARDO AVANE (Autor 2)**



Graduando em Tecnologia Mecatrônica pela Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". Analista de qualidade na empresa OPTIMA.

#### **iii MARCUS VINICIUS BEGOSSI (Autor 3)**



Possui graduação em Ciência da Computação pela Faculdade Anhanguera (2000), Especialização em MBA em Gestão de projetos pela ela Faculdade Anhanguera (2009) e Mestrado (2015) em Engenharia da Produção pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Atualmente é Coordenador Técnico da Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". Tem experiência na área de Automação, com ênfase em Gestão de projetos.