



Workshop de Pesquisa  
em Manufatura

# ANAIS DO V WORKSHOP DE PESQUISA EM MANUFATURA



Workshop de Pesquisa  
em Manufatura

# ANAIS DO V WORKSHOP DE PESQUISA EM MANUFATURA



EDITORA  
OMNIS SCIENTIA

Editora Omnis Scientia

**ANAIS DO V WORKSHOP DE PESQUISA EM MANUFATURA**

Volume 1

1ª Edição

TRIUNFO – PE

2021

## **PROMOÇÃO:**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEMec/UFSCar)

### **Apresentadores (as):**

Adailton Gomes Pereira

Alana Carla Miranda Araújo

Bruna Oliveira da Silva

Bruno Alexandre Roque

Caique de Castro Gonçalves

Cassiano da Silva Tavares

Cristie Luis Kugelmeier

Gustavo Roberto dos Santos

Henrique A. C. Durello

Hugo Emanuel de Andrade Costa

Jonatan Augusto da Silva

Leones Contini Junior

Marco Gabriel Lorenzoni

Matheus Luis Manfredo

Paulo De Tarso Durigan

Rafael Fernando Teixeira

Talia Gibim

Tony Emerson Marim.

### **Participantes do painel:**

Carlos Eiji Hirata Ventura

Danielle Cristina Camilo Magalhães

Rodrigo da Silva (“PPGEMec: Presente e futuro”).

### **Palestrante:**

Yayue Pan - University of Illinois Chicago (“Field-assisted Photopolymerization-based Additive Manufacturing for Productions of Multi-Functional Materials and Devices”)

### **Comitê científico:**

Alexandre Tácito Malavolta

Carlos Eiji Hirata Ventura

Danielle Cristina Camilo Magalhães

Flávio Yukio Watanabe

Marcos Roberto Monteiro

Rodrigo da Silva

Sérgio Henrique Evangelista.

### **Comissão organizadora:**

Adailton Gomes Pereira

Armando Ítalo Sette Antonialli

Bruna Oliveira da Silva

Edson Bruno Lara Rosa

Sidney Bruce Shiki.

**Imagem de Capa**

Freepik

**Edição de Arte**

Vileide Vitória Larangeira Amorim

**Revisão**

Os autores



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

O conteúdo abordado nos artigos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

W912a Workshop de Pesquisa em Manufatura (5 : 2021)  
Anais do [...] / V Workshop de Pesquisa em Manufatura, 10  
dezembro 2021. – Triunfo, PE: Omnis Scientia, 2021.  
52 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-88958-78-0

DOI 10.47094/978-65-88958-78-0

1. Engenharia mecânica – Brasil – Congressos. 2. Manufaturas.  
I. Título.

CDD 621.7

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

**Editora Omnis Scientia**

Triunfo – Pernambuco – Brasil

Telefone: +55 (87) 99656-3565

[editoraomnisscientia.com.br](http://editoraomnisscientia.com.br)

[contato@editoraomnisscientia.com.br](mailto:contato@editoraomnisscientia.com.br)



## PREFÁCIO

A exemplo do ensino e da extensão, a pesquisa no âmbito da Engenharia Mecânica apresenta-se bastante ampla e diversificada. A ramificação mais canônica dessa modalidade de engenharia aponta para três áreas fundamentais: Projeto de Sistemas Mecânicos, Ciências Fluidotérmicas e Processos de Fabricação. Outras subdivisões, como Dinâmica e Vibrações, Mecatrônica e Metrologia, flutuam entre as três grandes áreas. Sendo assim, a nucleação e o crescimento do Grupo de Pesquisa em Manufatura Inteligente (GPMI), devidamente registrado no Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq e reconhecido pela UFSCar, têm sido salutar no sentido da consolidação do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMec) e do curso de graduação em Engenharia Mecânica. Da mesma forma, O GPMI se mostra essencial enquanto alicerce para o recém-criado curso de mestrado acadêmico dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEMec), conferindo-lhe vocação e identidade. Finalmente, a comunicação e a difusão dos resultados obtidos pelo grupo propiciam o alinhamento do mesmo ao lema da UFSCar: excelência acadêmica e compromisso social. O objetivo geral do "V Workshop de Pesquisa em Manufatura" consiste em disseminar os trabalhos em andamento dentro do Grupo de Pesquisa em Manufatura Inteligente (GPMI) e de outros grupos afins à área de Manufatura, promovendo discussões profícuas e de alto nível com o público interno e externo à universidade. Como objetivos específicos, destacam-se a exposição dos estudantes de graduação e pós-graduação a um ambiente de conferência científica sem sair de casa e a oportunidade de contar com convidados com grande potencial de contribuição a essa área do conhecimento. O evento foi realizado ao longo do dia 10 de dezembro de 2021, de forma online, de maneira a viabilizar e fomentar a participação de uma parcela significativa de estudantes.

## SUMÁRIO

INFLUÊNCIA DA SENSIBILIDADE DE PARÂMETROS DOS MODELOS DE AVRAMI NAS CINÉTICAS DE RECRISTALIZAÇÃO SOBRE O TAMANHO DE GRÃO EM UM PROCESSO DE LAMINAÇÃO A QUENTE DE LIGA DE AÇO SAE 4140.....	10
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA EXTRUSÃO EM CANAL ANGULAR COM TORÇÃO (ECA-T): INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA NA DEFORMAÇÃO.....	13
OTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA APLICADA NO CONTEXTO DE PRÓTESES HUMANAS.....	15
PROCESSO DE DOBRAMENTO A FRIO DE CHAPAS FINAS METÁLICAS: ANÁLISES POR ELEMENTOS FINITOS, EXPERIMENTOS E MODELO MATEMÁTICO PARA COMPENSAÇÃO DO RETORNO ELÁSTICO.....	17
FORÇAS NA ESTAMPAGEM INCREMENTAL DE CHAPA FINA METÁLICA POR MEIO DE EXPERIMENTOS E ANÁLISES POR ELEMENTOS FINITOS.....	19
MODELAGEM DE CURVAS DE FLUXO PLÁSTICO DE UM AÇO BIFÁSICO UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	22
APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE MACHINE LEARNING PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PEÇAS IMPRESSAS EM 3D.....	24
ESTUDO DA PREVISIBILIDADE DO ERRO DE TRANSMISSÃO DE ENGRENAGENS DE DENTES RETOS PARA PROJETO DE MODIFICAÇÕES DE MICROGEOMETRIA.....	26
CONTRIBUIÇÃO DO PRÉ-AQUECIMENTO DO SUBSTRATO NA PREVENÇÃO DE TRINCAS EM REVESTIMENTOS GERADOS POR LASER CLADDING.....	28
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CORTE SOBRE O ESTADO DE SUPERFÍCIE NO TORNEAMENTO DA LIGA TI-6AL-4V ELI.....	30
INFLUÊNCIA DO TAMANHO DO GRÃO DO REBOLO NA QUALIDADE SUPERFICIAL DO INSERTO DE CORTE DE METAL DURO RETIFICADO.....	36
INVESTIGAÇÃO DOS MECANISMOS DE REMOÇÃO DE MATERIAL NA RETIFICAÇÃO DE INSERTOS DE CORTE.....	38
SHUNT PIEZOELÉTRICO PARA CONTROLE PASSIVO DE CHATTER NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DE LIGAS DE TITÂNIO.....	40
AVALIAÇÃO DE TEXTURAS INDUZIDAS POR VIBRAÇÃO NO TORNEAMENTO DURO DE UM AÇO FERRAMENTA.....	42
INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO CONTROLE TÉRMICO ATIVO SOBRE A RESISTÊNCIA MECÂNICA E QUALIDADE SUPERFICIAL DE PEÇAS IMPRESSAS PELA TÉCNICA FPM.....	44

ATUALIZAÇÃO DE MÁQUINAS-FERRAMENTA ANTIGAS ATRAVÉS DE INSTRUMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO: UM ESTUDO SOBRE O EFEITO DO MONITORAMENTO DO PROCESSO DE TORNEAMENTO NA QUALIDADE SUPERFICIAL.....	46
AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DO AÇO INOXIDÁVEL LEAN DUPLEX 2404 APÓS SIMULAÇÕES DE CICLOS TÉRMICOS DE ZONAS TERMICAMENTE AFETADAS REALIZADAS POR GLEEBLE.....	48
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO 1020 EM BIODIESEL E SUAS MISTURAS COM ÓLEO DIESEL.....	50

## SHUNT PIEZOELÉTRICO PARA CONTROLE PASSIVO DE CHATTER NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DE LIGAS DE TITÂNIO

Adailton Gomes Pereira

Armando Ítalo Sette Antonialli

Sidney Bruce Shiki

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís, km 235, São Carlos, SP, 13565-05, Brasil  
adailton.goh@gmail.com, antonialli@ufscar.br, bruce@ufscar.br

**Resumo:** Uma das principais limitações para o aumento da produtividade dos processos de usinagem é o surgimento de vibrações autoexcitadas. Esse tipo de fenômeno, comumente chamado de chatter, surge em razão da interação da ferramenta de corte com a superfície ondulada da peça a ser usinada. Uma das estratégias para mitigar esses efeitos reside no uso do controle passivo de vibrações utilizando o dispositivo shunt piezoelétrico, que consiste em um circuito elétrico conectado a material piezoelétrico acoplado na estrutura. Na qual, o piezoelétrico converte as vibrações em energia elétrica para ser dissipada no circuito elétrico constituído por uma resistência e um indutor. Este trabalho propõe o uso deste dispositivo para controle de chatter no processo de torneamento da liga Ti-6Al-4V ELI. Analisando os resultados adquiridos foi possível observar a eficiência do dispositivo em mitigar chatter, no qual, houve um aumento do limite de estabilidade de profundidade de usinagem de 0,23mm, sem o dispositivo, para 0,70mm com o shunt piezoelétrico acoplado ao sistema. Assim como, o dispositivo demonstrou reduzir a amplitude da vibrações na região de ressonância.

**Palavras-chave:** Piezoelétrico, circuito shunt, chatter, rugosidade.

### 1. INTRODUÇÃO

O chatter é um dos tipos de vibrações que surgem no processo de usinagem e como principais consequências desse efeito tem-se o aparecimento de ondulações superficiais nas peças usinadas, além da redução do tempo de vida útil da ferramenta de corte e da produtividade do processo (Quintana e Ciurana, 2011). Em vista disso, essas vibrações são indesejadas, com grande dificuldade de serem controladas e podendo levar o processo de corte à instabilidade.

De modo a obter um processo mais estável podem-se utilizar de técnicas de controle passivo de vibrações, as quais têm o propósito de aumentar o amortecimento do sistema e assim dissipar as vibrações geradas durante o processo de usinagem (Munoa *et al.*, 2016). Uma das técnicas de controle passivo de vibrações frequentemente utilizadas em processos de usinagem reside no uso de materiais piezoelétricos acoplados a um circuito elétrico para dissipação de energia mecânica, conhecido como shunt piezoelétrico.

Em se tratando de controle de chatter na usinagem de titânio, existe um impacto especialmente significativo

sobre a qualidade superficial, a acurácia dimensional e a vida da ferramenta. Sua elevada resistência mecânica e reduzida condutividade térmica impactam significativamente em sua usinabilidade (Pimenov *et al.*, 2021).

Uma alternativa para minimizar a baixa produtividade das operações envolvendo usinagem de titânio é o controle de vibrações autoexcitadas características do chatter regenerativo, que permite a utilização de parâmetros mais agressivos e, portanto, maior taxa de remoção de material, apesar das baixas velocidades de corte necessárias para

prolongar a vida útil da ferramenta Taylor *et al.* (2010).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo investigar a eficiência no uso do shunt piezoelétrico para mitigar chatter no torneamento da liga Ti-6Al-4V ELI.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para que o objetivo da pesquisa seja alcançado, inicialmente um estudo numérico das vibrações autoexcitadas foi realizado para entender seu funcionamento durante o processo de corte utilizando a abordagem apresentada por Altintas (2012). Nesta, utiliza-se a parte real da função de resposta em frequência (FRF) do sistema, que representa a resposta do sistema a uma dada entrada/excitação, para o cálculo do diagrama de lóbulos de estabilidade (DLE). Esse diagrama determina faixas operacionais do processo de corte a partir do qual o mesmo passa a apresentar chatter. O limite de estabilidade é determinado utilizando a Eq. 1, onde  $K_f$  é a pressão específica de corte e  $G(\omega)$  é a parte real da FRF.

$$a_{lim} = \frac{-1}{2K_f G(\omega)} \quad (1)$$

Para determinar os parâmetros da máquina foi realizado teste modal, onde é acoplado um acelerômetro no porta-ferramenta e utilizado um martelo de impacto para excitar as frequências no porta-ferramenta. São utilizados no estudo o CNC Romi Centur 30D, o acelerômetro PCB 333B30, martelo de impacto PCB 086C03 e Chassi cDAQ-9178 da National Instruments para aquisição dos sensores. E assim, com a força de excitação e a resposta do sistema é possível determinar a FRF e posteriormente gerado o DLE. Dessa forma, o teste modal sem a utilização do

*shunt* piezoelétrico na máquina é usado para encontrar os parâmetros equivalentes da máquina e determinar os valores de resistência e indutância do circuito elétrico. Assim, foram geradas as FRF e DLE do sistema com e sem o *shunt* piezoelétrico acoplado com os parâmetros equivalentes e resistência e indutância, para comparar com os gerados a partir do experimento.

### 3. RESULTADOS PRELIMINARES

A Figura 1 mostra uma comparação entre as FRF em cada situação analisada. Pode-se observar uma redução na amplitude das vibrações na região próxima a frequência de ressonância. Além disso, é possível notar que ao acoplar o dispositivo o sistema apresenta dois picos de ressonância. Isso devido ao fato que dispositivo adiciona mais um grau de liberdade ao sistema fazendo o mesmo apresentar duas frequências de ressonância, no entanto, com amplitudes menores.

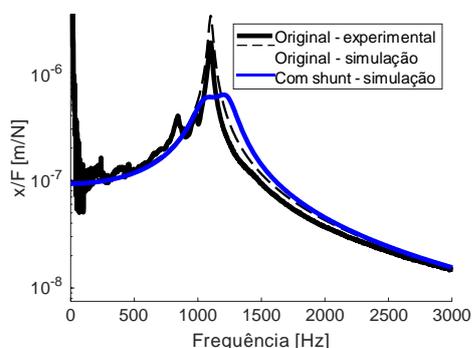


Figura 1: FRF com e sem *shunt* piezoelétrico

Portanto, com os dados obtidos a partir da FRF foi possível gerar o DLE da máquina-ferramenta analisada ilustrado na Figura 2. Esta mostra uma comparação entre os DLE quando *shunt* piezoelétrico esta ou não acoplado na estrutura. Na simulação utilizando o dispositivo foram utilizados os parâmetros ótimos de resistência (6,21 k $\Omega$ ) e indutância (2,89 H) necessários no circuito *shunt*. Pode-se observar que houve um aumento do limite de estabilidade da profundidade de usinagem de 0,23mm (experimento) e 0,18mm (simulação), sem o dispositivo, para 0,70mm com o *shunt* piezoelétrico acoplado ao sistema.

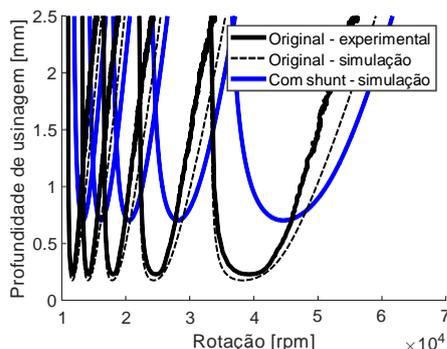


Figura 2: DLE com e sem *shunt* piezoelétrico

No decorrer da pesquisa, espera-se confeccionar o *shunt* piezoelétrico com os parâmetros ótimos determinados e realizar testes modais para comprovar a eficiência do mesmo em reduzir vibrações e mitigar *chatter*. Além do mais, é esperado realizar o processo de usinagem das ligas de titânio e coletar as vibrações da máquina-ferramenta durante o processo e analisa-las, assim como, coletar a rugosidade das peças usinadas e analisar o impacto que o dispositivo teve sobre elas.

### 4. CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos até o momento podemos concluir que o dispositivo *shunt* piezoelétrico pode de fato reduzir o nível de vibrações como aumentar o limite de estabilidade do processo, mitigando assim o surgimento de *chatter* durante o processo de usinagem. Isso foi possível observar com a simulação apresentadas onde foram utilizadas os parâmetros da máquina-ferramenta coletados no teste modal.

Especificamente no diagrama de lóbulos de estabilidade (DLE) houve um aumento do limite de estabilidade da profundidade de usinagem de 0,23mm, sem o dispositivo, para 0,70mm com o *shunt* piezoelétrico acoplado ao sistema. Permitindo utilizar parâmetros de corte mais robustos, o que é bastante interessante para atenuar a baixa produtividade tipicamente associada à usinagem de ligas de titânio.

### 5. REFERÊNCIAS

- Altintas, Y., 2012. *Manufacturing automation : metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design*. 6. Cambridge University Press, 2nd edição. ISBN 9780521172479. doi:10.1049/me:19940612.
- Munoa, J., Beudaert, X., Dombovari, Z., Altintas, Y., Budak, E., Brecher, C. e Stepan, G., 2016. "Chatter suppression techniques in metal cutting". *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 65, No. 2, pp. 785–808. ISSN 17260604.
- Pimenov, D.Y., Mía, M., Gupta, M.K., Machado, A.R., Tomaz, Í.V., Sarikaya, M., Wojciechowski, S., Mikolajczyk, T. e Kapłonek, W., 2021. "Improvement of machinability of ti and its alloys using cooling-lubrication techniques: A review and future prospect". *journal of materials research and technology*.
- Quintana, G. e Ciurana, J., 2011. "Chatter in machining processes: A review". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 51, No. 5, pp. 363–376.
- Taylor, C.M., Turner, S. e Sims, N.D., 2010. "Chatter, process damping, and chip segmentation in turning: A signal processing approach". *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 329, No. 23, pp. 4922–4935.



editoraomnisscientia@gmail.com 

<https://editoraomnisscientia.com.br/> 

@editora\_omnis\_scientia 

<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9> 

+55 (87) 9656-3565 



editoraomnisscientia@gmail.com   
<https://editoraomnisscientia.com.br/>   
@editora\_omnis\_scientia   
<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9>   
+55 (87) 9656-3565 