



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

## APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE *MACHINE LEARNING* PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PEÇAS IMPRESSAS EM 3D

**Gustavo Roberto Dos Santos**

**Moacir Godinho Filho**

**Gustavo Franco Barbosa**

**Sidney Bruce Shiki**

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil

*gsantosif@gmail.com*

*moacir@dep.ufscar.br*

*gustavofb@ufscar.br*

*bruce@ufscar.br*

**Resumo:** A qualidade das peças processadas pela tecnologia de manufatura aditiva (MA) ou impressão 3D, tem sido grande desafio para a indústria. Entre os tipos de métodos de MA, a modelagem por deposição fundida (FDM, do inglês Fused Deposition Modeling), utiliza como matéria prima filamentos termoplásticos. O monitoramento das variáveis durante o processo de impressão, contribuem para a visualização dos defeitos na qualidade das peças pós-processadas e a eliminação do desperdício de material e tempo. Este trabalho propõe um método para avaliar automaticamente a qualidade de peças impressas em 3D com o monitoramento das variáveis de saída do processo, utilizando o aprendizado de máquina supervisionado.

**Palavras-chaves:** Machine learning, qualidade, 3D printed, Manufatura aditiva

### 1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (MA) tornou-se uma opção viável para a fabricação nos últimos anos. MA, frequentemente conhecida como impressão 3D, permite mais opções de manufatura porque tem a capacidade de criar formas geométricas complexas com a ajuda de um software de design. Outras vantagens da MA incluem prototipagem rápida, redução de estoque e produção descentralizada. A impressão 3D já contribuiu significativamente para vários avanços tecnológicos na medicina e está surgindo em muitos outros campos, como design de moda e arquitetura, e até mesmo a Nike lançou recentemente o primeiro calçado esportivo incluindo componentes impressos em 3D (White, 2015).

Muitas máquinas de impressão 3D não possuem um sistema designado para rastrear e monitorar o progresso do processo de impressão. As impressoras 3D podem continuar a imprimir a peça até que todas as camadas tenham sido concluídas, mesmo que o filamento acabe ou haja qualquer defeito potencial na impressão. Detectar defeitos por meio da verificação de qualidade em vários estágios (críticos) do processo de impressão não apenas ajuda a garantir medidas corretivas, mas também elimina o desperdício de peças defeituosas de impressão. O monitoramento automático do processo é especialmente importante para a operação de impressão 3D em escala de produção, na qual centenas de máquinas de impressão 3D são usadas na produção em massa da mesma peça (Goh, 2021).

O aprendizado de máquina (ML), uma subárea da inteligência artificial (IA), está se tornando cada vez mais usada em pesquisa de manufatura aditiva (MA). O

aprendizado de máquina é definido como programa de computador para otimizar um critério de desempenho usando dados de exemplo ou experiência anterior (Alpaydin, 2020). Para o aprendizado de máquina em manufatura aditiva, além da típica aplicação de criação de previsões por meio do ajuste de dados, grupos de pesquisa estão explorando novos e inovadoras abordagens para integrar métodos de ML e IA em MA. Algoritmos de ML, aplicativos e plataformas estão ajudando os profissionais de MA a melhorar a qualidade do produto, otimizar os processos de fabricação e a redução de custos (Meng, 2020).

Este trabalho propõe um método para avaliar automaticamente a qualidade de peças impressas em 3D com o monitoramento das variáveis de saída do processo, utilizando o aprendizado de máquina supervisionado.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Será utilizado um sistema de manufatura aditiva para peças de grandes volumes, com a integração de uma extrusora mono-rosca da marca Miotto, modelo P2788 e um manipulador tipo Delta customizado (Figura 1). O processo de impressão 3D aplicado é Fused Deposition Modeling (FDM). As peças sendo impressas em 3D serão monitoradas em tempo real utilizando plataformas IoT como: acelerômetro, sensores de temperatura, câmera e sensor de umidade no ambiente. Os materiais de impressão a ser usado durante esta pesquisa será ABS em pellets, com temperatura de trabalho entre 200°C e 210°C. Este material apresenta propriedades mecânicas, o que influencia significativamente a qualidade dos produtos impressos. A linguagem de programação python será

usada para construir um código para automatizar o monitoramento em tempo real do processo de impressão. A biblioteca *Scikit-learn*, ambiente para fornecer implementações de algoritmos de aprendizado de máquina bem conhecidos, mantendo uma interface fácil de usar totalmente integrada com a linguagem Python (Pedregosa *et. al.*, 2011).

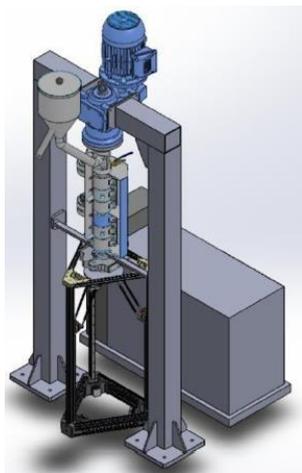


Figura 1: Célula MA para peças de grandes volumes.

### 3. RESULTADOS ESPERADOS E CONCLUSÃO

O método proposto, que integra a eficácia do processamento das variáveis do processo e o aprendizado de máquina supervisionado, atenderá ao propósito de monitoramento em tempo real de um processo de impressão 3D. O método será capaz de detectar defeitos de falha e identificar a sua origem, e defeitos estruturais ou geométricos.

### 4. REFERÊNCIAS

ALPAYDIN, Ethem. Introduction to machine learning. MIT press, 2020.

GOH, Guo Dong; SING, Swee Leong; YEONG, Wai Yee. A review on machine learning in 3D printing: applications, potential, and challenges. *Artificial Intelligence Review*, v. 54, n. 1, p. 63-94, 2021.

MENG, Lingbin et al. Machine learning in additive manufacturing: A review. *Jom*, v. 72, n. 6, p. 2363-2377, 2020.

PEDREGOSA, Fabian et al. Scikit-learn: Machine learning in Python. *the Journal of machine Learning research*, v. 12, p. 2825-2830, 2011.

WHITE, G. Industry analysis: the pros and cons of 3D printing. *Global Manufacturing*, v. 27, 2015.



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 