



# ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03  
de dezembro 2021

## Avaliação das propriedades mecânicas em diferentes combinações de parâmetros de manufatura aditiva

**Marcus Vinicius Machado Kling**

Estudante – Faculdade SENAI JOINVILLE

**Anderson Onofre**

Estudante – Faculdade SENAI JOINVILLE

**Anderson de Carvalho Fernandes**

Núcleo de Cursos Superiores e Pós-Graduação – Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville

**Bruna de Freitas Zappelino**

Núcleo de Cursos Superiores e Pós-Graduação – Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville

**Resumo:** O presente trabalho tem como objetivo analisar quais os tipos de padrões e densidades de preenchimento são os melhores parâmetros na manufatura aditiva para peças aplicadas na indústria, usando o material ABS. Foram fabricados 9 corpos de provas de tração, alterando dois parâmetros: a densidade do preenchimento e o padrão de preenchimento. Após a fabricação dos corpos de provas, onde foram fabricados três para cada condição, totalizando 27 corpos de provas, foram realizados os ensaios de tração com a finalidade de conhecer as propriedades mecânicas de cada combinação de parâmetros. Com a análise dos resultados de tração, constatou-se que o padrão de preenchimento tem interferência nos resultados e que quanto maior a porcentagem de preenchimento mais força a peça precisa para tracionar.

**Palavras-chave:** ABS, ensaios de tração, manufatura aditiva, preenchimento

## Evaluation of mechanical properties in different combinations of additive manufacturing parameters

**Abstract:** The present work aims to analyse which types of patterns and infill densities are the best parameters in additive manufacturing for parts applied in industry, using ABS material. Nine tensile test specimens were manufactured, changing two parameters: infill density and infill pattern. After the fabrication of the specimens, where three were manufactured for each condition, totalling 27 specimens, traction tests were carried out in order to know the mechanical properties of each combination of parameters. With the analysis of the tensile results, it was found that the infill pattern interferes in the results and that the higher the infill percentage, the more force the part needs to pull.

**Keywords:** ABS, tensile tests, additive manufacturing, infill

## 1. Introdução.

A manufatura aditiva vem ganhando espaço atualmente, onde vários setores estão usando essa tecnologia, como: industriais, médicos e makers em geral. Uma área em pesquisa é a bioimpressão 3D, especialmente na produção de tecidos humanos, onde uma pesquisa de prospecção de patentes realizadas em 2019 por Do É et. al 2020, apresenta mais de 2600 patentes sobre bioimpressão 3D de tecidos humanos, pesquisa realizada nos bancos de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), European Patent Office (EPO) e World Intellectual Property Organization (WIPO).

O mercado de manufatura aditiva tem crescido 75% a cada ano na última década. Os principais países que investem neste setor são China, EUA, Japão e Alemanha. A China detém grande fatia desse mercado, três vezes mais que os Estados Unidos. As previsões de receitas para produtos e serviços que envolvem MA em todo mundo são de US\$ 15,8 bilhões em 2020. Estimando-se que a receita prevista suba para US\$ 23,9 bilhões em 2022 e US\$ 35,6 bilhões em 2024 (WHOLERS REPORT, 2019).

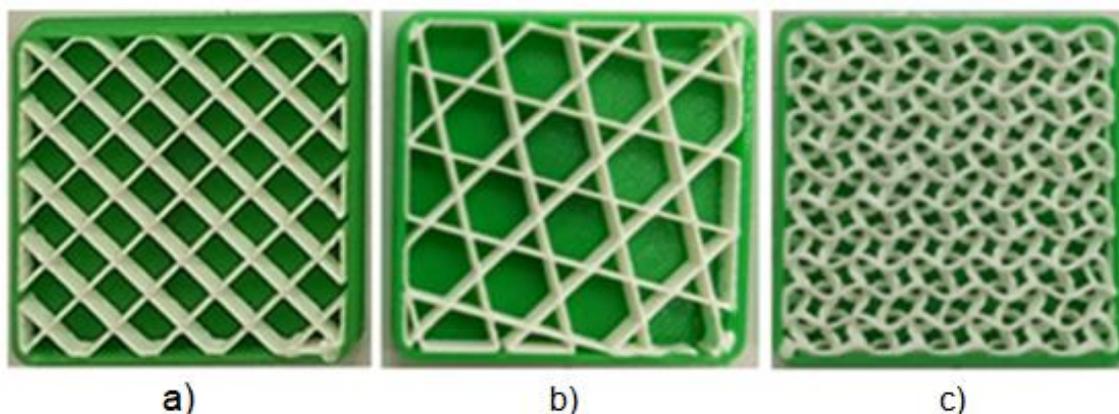
No Brasil ainda são encontradas algumas barreiras para disseminação dessa tecnologia como custo da máquina, custo da matéria-prima, disponibilidade de mão-de-obra qualificada, parâmetros de processo e a escala de produção. A tecnologia de fusão e deposição de material (FDM) é conhecida como um dos processos de manufatura aditiva, sendo a mesma escolhida para viabilizar a proposta de pesquisa deste edital.

Devido ao avanço da tecnologia de manufatura aditiva, notou-se a importância dos conhecimentos dos parâmetros de processamento da manufatura aditiva, onde o uso correto desses parâmetros tem influência direta na qualidade dos produtos fabricados. Assim este trabalho tem como objetivo o estudo de dois tipos de parâmetros: padrão de preenchimento e a densidade de preenchimento.

## 2. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi escolhido três diferentes padrões de preenchimento, conforme apresentado na **Figura 1**, onde cada padrão tem uma forma diferente de depositar o material.

**Figura 1 - Padrões de preenchimento utilizados nos testes, a) grade, b) tri-hexágano e c) giróide**

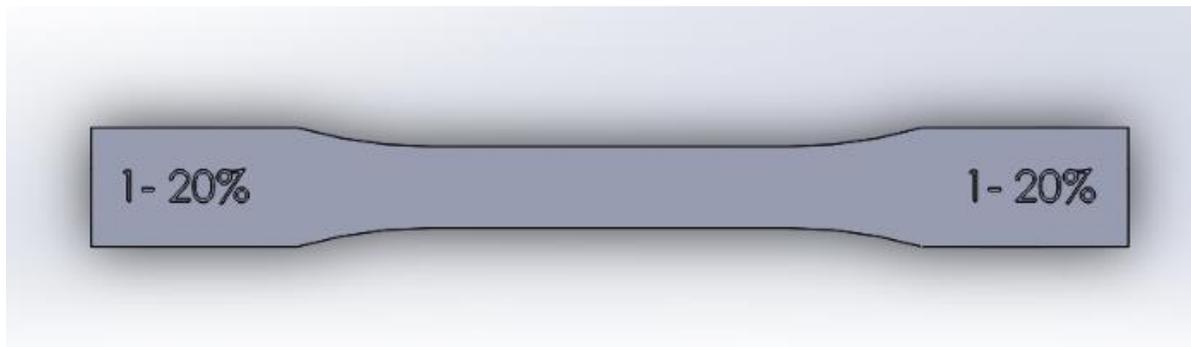


**Fonte: Os autores**

Com base nesses tipos de padrões de preenchimentos, foram definidas três densidades para as condições, sendo: 20%, 50% e 80% de preenchimento.

O corpo de prova, mostrado na **Figura 2**, foi projetado em software CAD3D conforme a norma ASTM D638-14 TIPO1.

**Figura 2 - Projeto 3D do corpo de prova**



**Fonte: Os autores**

Na **Tabela 1** mostra as configurações para cada condição, onde foram fabricados três corpos de prova para cada condição, totalizando vinte e sete corpos de prova.

**Tabela 1 - Configuração dos parâmetros para cada condição**

	<b>Tipo</b>	<b>Densidade (%)</b>
CP 01	Grade	20
CP 02	Grade	50
CP 03	Grade	80
CP 04	Tri-hexágono	20
CP 05	Tri-hexágono	50
CP 06	Tri-hexágono	80
CP 07	Giróide	20
CP 08	Giróide	50
CP 09	Giróide	80

**Fonte: Os autores**

O material utilizado a para a fabricação dos corpos de provas foi o ABS, o tipo de material influenciou na escolha do equipamento, pois este material necessita de mesa aquecida e cabine fechada, conforme mostra a **Figura 3**. O equipamento utilizado faz parte do laboratório de pesquisa da Faculdade SENAI Joinville.

**Figura 3 - Equipamento de manufatura aditiva**



**Fonte: Os autores**

Após a fabricação dos corpos de provas, foi realizado o ensaio de tração para o conhecimento das propriedades mecânicas de cada condição. O equipamento utilizado foi uma máquina de ensaio INSTRON 3366 (Figura 4), usando uma taxa de aplicação da carga de 10mm/min.. Esse equipamento está disponível no laboratório de materiais da Faculdade SENAI de Joinville.

**Figura 4 - Máquina de ensaio de tração**



**Fonte: Os autores**

### 3. Resultados e Discussões

Após a realização do ensaio de tração, os resultados foram colocados e apresentados na Tabela 2. É possível verificar que o CP09 obteve uma maior força de tração, seguido pelos CP 6 e CP03 respectivamente.

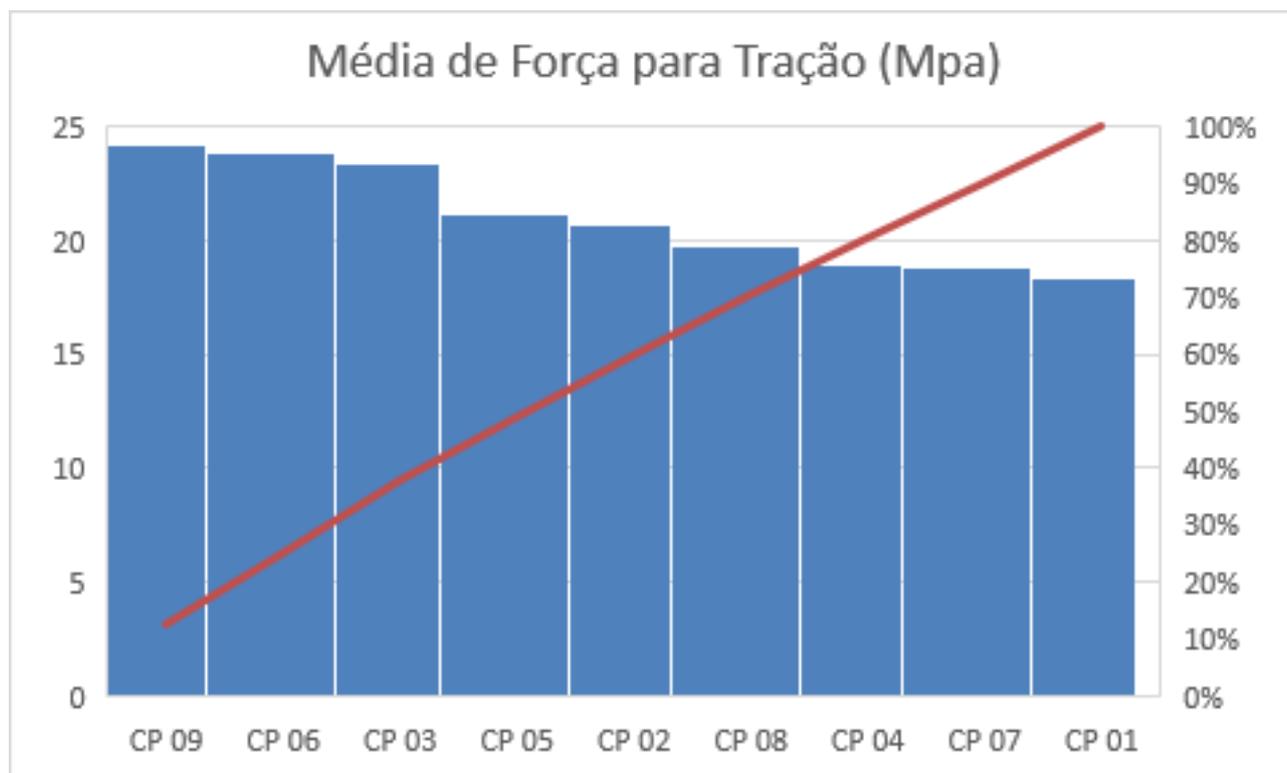
Tabela 2 - Resultados do ensaio de tração

	Média de Força para Tração (Mpa)	% média alongamento no rendimento (região elástica)	% média alongamento na ruptura (região plástica)
CP 01	18,3	0,77	1,29
CP 02	20,7	0,78	1,66
CP 03	23,4	0,49	1,18
CP 04	18,9	0,17	0,44
CP 05	21,2	0,67	0,31
CP 06	23,8	0,31	0,52
CP 07	18,8	0,23	0,63
CP 08	19,7	0,47	1,34
CP 09	24,2	0,23	1,40

Fonte: Os autores

Para o melhor entendimento da influência dos parâmetros foi gerado um gráfico de Pareto, dos resultados da força de tração, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Gráfico de Pareto - Força de tração

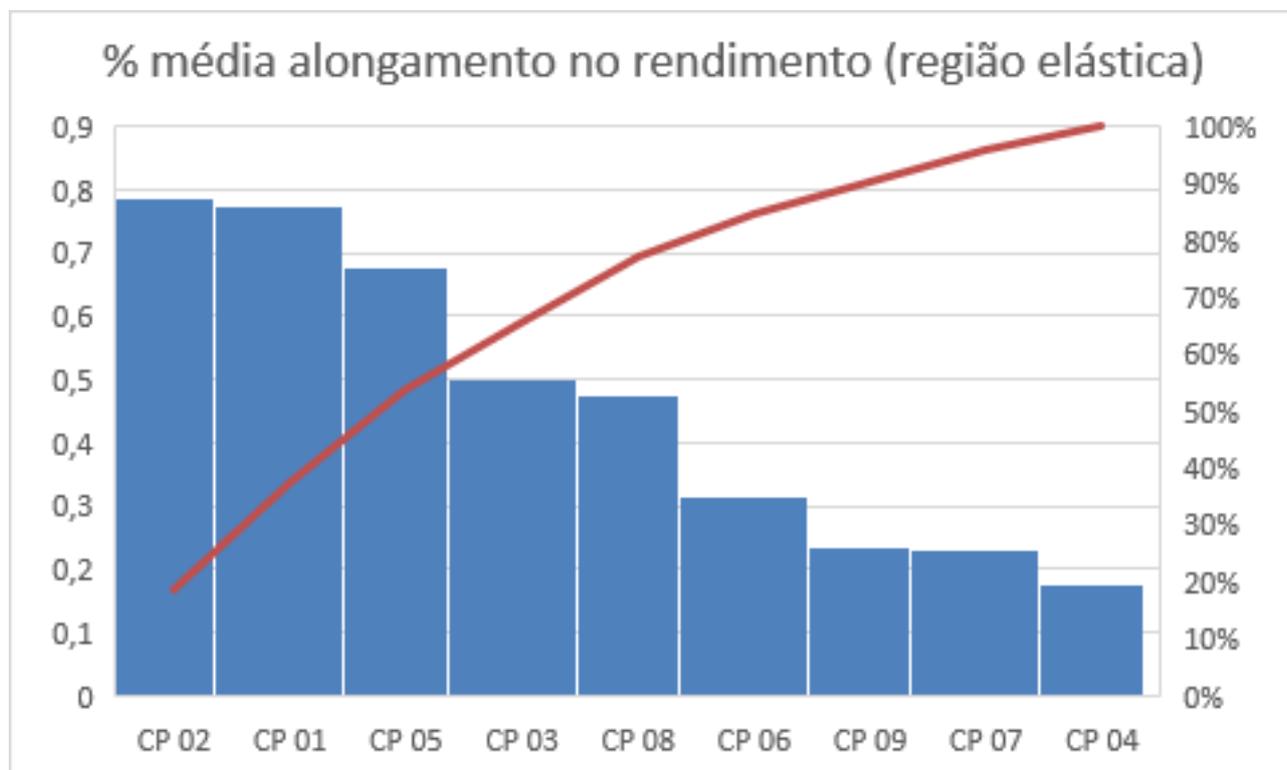


Fonte: Os autores

Analisando o gráfico sobre os resultados de força de tração, é possível verificar que a densidade de 80% de preenchimento obteve a maior resistência, visto que os CP 09, CP 06 e CP 03 tem essa densidade. Os demais CPs com maior resistência são os que tem 50% de preenchimento (CP 05, CP 02 e CP 08 respectivamente). Nessa propriedade não foi possível notar uma influência no tipo de preenchimento.

Foi avaliado de modo geral a média de deformação elástica de todos os corpos de prova, conforme mostra a **Figura 6**:

**Figura 6 - Gráfico de Pareto - Média alongamento**

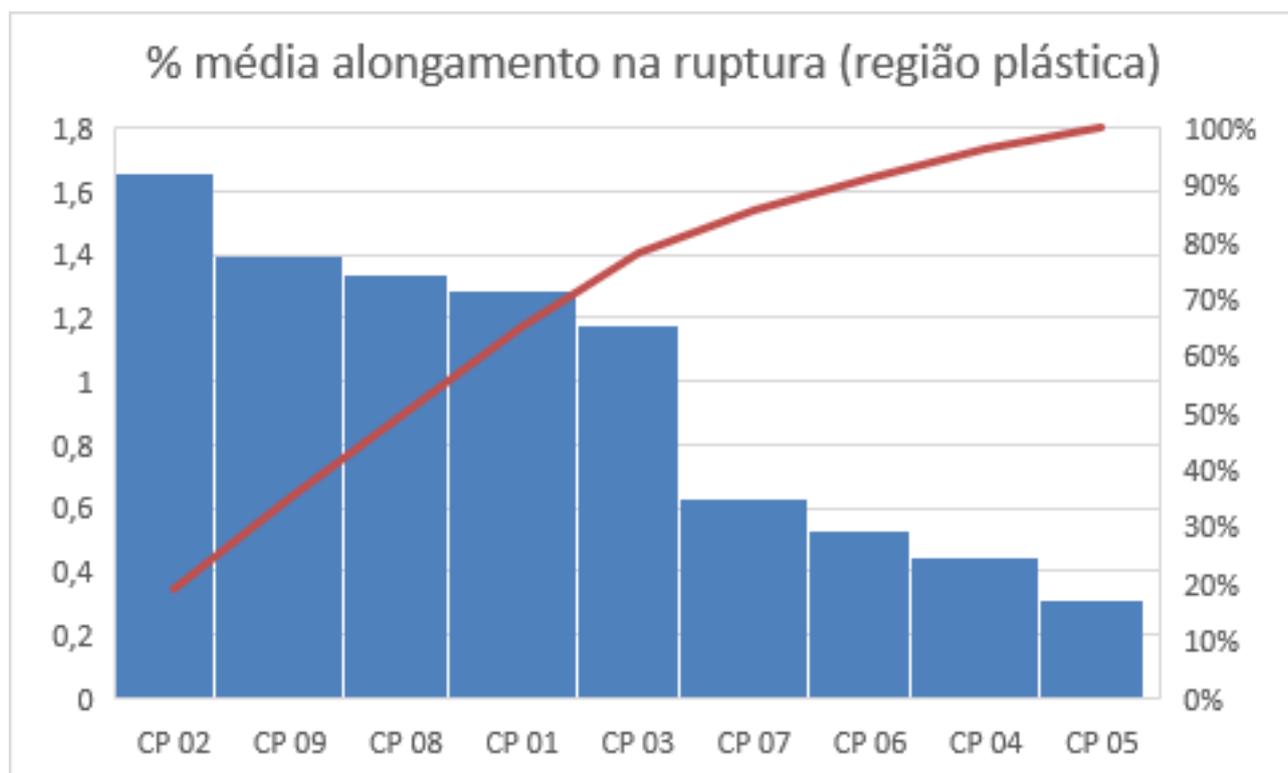


Fonte: Os autores.

Com base dos dados analisados da **Figura 6**, foi constatado que o padrão de preenchimento e menor porcentagem da densidade, obteve diferença no resultado. Conforme os dados o tipo grade teve melhor desempenho na média de alongamento (CP 02 e CP 01), e com uma densidade baixa de 50% e 20% respectivamente. Já o tipo tri-hexagonal foi o terceiro melhor também com uma densidade de 50%. Assim, entende-se que a densidade menor favorece essa propriedade, usando o tipo grade.

Obtivemos dados da média de alongamento plástico, que seria o alongamento que vai até o rompimento. Com esses dados foram criados um gráfico para discutir os resultados conforme **Figura 7**:

Figura 7 - Gráfico de Pareto - Média alongamento



Fonte: Os autores

Conforme a **Figura 7** podemos avaliar que o padrão de preenchimento influenciou no alongamento plástico, sendo o tipo grade (CP 02) obteve melhor alongamento plástico, seguido pelo tipo giróide, com os CP 09 e CP 08 com densidade de 80% e 50% respectivamente.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na manufatura aditiva existem vários parâmetros, onde cada um tem importância para o processo de fabricação. Com o presente trabalho é possível afirmar que esses parâmetros têm influência também nas propriedades mecânicas. Reforça-se também a importância, onde se faz necessário o conhecimento da aplicação da peça, para poder definir os parâmetros e suas densidades. A maior força de tração atingida no presente trabalho foi de 24,2 Mpa usando o tipo giróide e 80% de preenchimento, porém, para essa propriedade o que teve maior influência foi a densidade de preenchimento, onde o maior valor de preenchimento obteve a maior força. Já para a deformação elástica o tipo grade teve maior influência e para a deformação plástica o tipo giróide mostrou-se como influenciador. Destaca-se que a densidade menor favorece as aplicações que requerem deformação elástica e/ou plástica.

Com base nos resultados apresentados, afirma-se que a escolha correta dos parâmetros é de grande importância quando a peça necessita de propriedades mecânica para a sua aplicação.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade SENAI de Joinville pela disponibilização dos equipamentos e infraestrutura para o desenvolvimento deste trabalho bem como pelo financiamento da pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Do É, G.N. ; PEDUTI, G.P. ; CARVALHO, A.M.L. ; RABELO, A.S. ; DINIZ, M. C. . Bioimpressão 3D de Tecidos e Órgãos: uma prospecção tecnológica. CADERNOS DE PROSPECÇÃO , v. 13, p. 1383-1393, 2020.

Markets and Markets. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/3d-printing.asp> Acesso em 27 de setembro de 2021.

WOHLERS REPORT. **Significant 3D Printing Forecast Surges To \$35.6 Billion**. 2019. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2019/03/27/wohlers-report-2019-forecasts-35-6-billion-in-3d-printing-industry-growth-by-2024>. Acesso em: 11 ago. 2020.