



## **ANÁLISE DIMENSIONAL INDIRETA APLICADA NA AVALIAÇÃO DE PEÇAS FABRICADAS EM IMPRESSORAS 3D**

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2022.3825

Diego Feder - diego\_feder@estudante.sc.senai.br  
Faculdade Senai

Jean Carlos Micheluzzi - Jean\_micheluzzi@estudante.sc.senai.br  
Senai

Reginaldo Motta - motta@sc.senai.br  
Faculdade Senai

**Resumo:** *A determinação do presente artigo corresponde na criação de um simples instrumento de medição para auxiliar no aprendizado das turmas de engenharias, que está voltado a utilização do método de medição indireto, onde será apresentando o conhecimento de metrologia e a aplicação do equipamento de medição. O projeto abrange o desenvolvimento de um dispositivo de medição para diâmetros de eixos produzidos no preceito de manufatura aditiva, mais especificamente utilizando a tecnologia das impressoras 3D. Os resultados foram satisfatórios, pois o dispositivo desenvolvido foi fabricado em máquinas convencionais com baixo custo, onde conseguimos observar por meio de medições na MMC os dados dimensionais entregues pelo processo de impressora 3D e usinagem convencional.*

**Palavras-chave:** *Metrologia. Impressão 3D. Indústria. Engenharia Mecânica. Educação. Ensino. Manufatura ativa. Indústria 4.0*



## ANÁLISE DIMENSIONAL INDIRETA APLICADA NA AVALIAÇÃO DE PEÇAS FABRICADAS EM IMPRESSORAS 3D

### 1 INTRODUÇÃO

A metrologia é um assunto muito utilizado na indústria e bastante discutido no meio acadêmico, pois estabelece uma certa precisão na conferência dimensional geométrica das peças fabricadas nas indústrias para determinados projetos desenvolvidos pelas Engenharias. Por todavia é importante lembrar que para cada aplicação ou tolerância dimensional, existe um instrumento de medição adequado, onde o mesmo precisa ser aferido, ou melhor, calibrado para garantir um ensaio dimensional confiável. As indústrias tendem buscar a qualificação e certificação dos instrumentos de medição pensando em um maior nível de confiabilidade. Pois o gerenciamento dos instrumentos de medição responsáveis pelo controle dos processos de produção é vital para o resultado do negócio. (Jesus, Martins e Mazari, 2021)

Portanto o objetivo deste artigo é trazer um levantamento bibliográfico da utilização do método de medição indireto, aplicado o conceito na avaliação dimensional de peças fabricadas em impressoras 3D. O método de medição indireto são instrumentos de medição que obtém resultados através de medições diretas de outras grandezas, ligadas por uma subordinação e é bastante utilizada para análise dimensional de peças fabricadas de modo seriado, assim garantindo maior produtividade na inspeção dimensional e maior confiabilidade no resultado encontrado pelo operador. (Almacinha, 2016)

Analisando a metodologias aplicada nas instituições de ensino, que segundo Jorge, Firmino e Santos (2019) procuram a integração das tecnologias habilitadoras como método de ensino, podemos afirmar que a utilização da impressora 3D vem sendo essa a tecnologia habilitadora mais adotada nessa revolução do ensino, devido ao baixo custo aplicado na fabricação dos protótipos desenvolvidos pelos alunos. Pensando nisso, sabendo que a utilização de protótipo tanto na Indústria quanto nas Engenharias é um dos passos mais importantes no desenvolvimento de um projeto. Ribeiro (2005) menciona que os cursos de engenharia, por ser um processo de aprendizado e conclusão complexo, pode demandar a confecção de um aparato concreto, seja um protótipo ou modelo para melhor o entendimento dos alunos ou profissionais da industria. A fabricação do protótipo auxilia no projeto, acelerando a análise e o entendimento do assunto que está sendo discutido e projetado.

### 2 DESENVOLVIMENTO

Sondar a metrologia com o método de ensino utilizando a impressora 3D, que é um equipamento de manufatura aditiva, sendo um pilar da indústria 4.0 na confecção de protótipos, tanto no universo acadêmico, como nas engenharias e nas indústrias. Os protótipos se tornam importantes nas etapas de validação de design e na fase do detalhamento dos produtos. (Carvalho e Cameira, 2016). Com isso podemos afirmar que o protótipo precisa atender certas tolerâncias geométricas para validar os conceitos de detalhamento e design. Para tal fim dentro da metrologia vamos utilizar a metodologia de medição indireto, voltada para avaliação dimensional dentro do campo acadêmico. Na

análise pretendemos validar o diâmetro dos eixos que foram fabricados pelo método da manufatura aditiva, conforme Figura 1 dos eixos com diâmetro de 10mm e 20mm.

Figura 1 – Eixos diâmetro 10mm e 20mm



Fonte: Os Autores

## 2.1 Referencial teórico

### 2.1.1 Metrologia

Metrologia é a ciência da medição e suas aplicações. Este conceito abrange tanto aspectos práticos e teóricos de medição, quanto a incerteza de medição e o campo de aplicação. Também Pode ser aplicada para fins específicos, como metrologia industrial, onde é utilizada para garantir a qualidade dos processos de produção. (Jesus, Martins e Mazari,2021)

A metrologia tem como principal objetivo garantir o maior controle de qualidade nas linhas de produções para melhorar os resultados por parte da empresa. Verificar e registrar as medições é sinônimo de autoconhecimento, para se basear nos dados e assim ser mais assertivo nas decisões estratégicas. Por outro lado, a metrologia pode ser utilizada no diagnóstico e prevenção durante a rotina da manutenção industrial. Sendo utilizada em produtos, maquinas, equipamento e processo produtivo, ou seja, a metrologia é dedicada na identificação e nas soluções de problemas. (LASERMAC, 2020). No eixo principal da metrologia, Almacinha (2016) afirma que o método de medição pode ser feito no modo direto e indireto:

- ✓ **Medição direto:** O valor da grandeza a medir é obtido diretamente e não através de outras grandezas relacionadas matematicamente com esta, utiliza se um instrumento de medição. (Almacinha, 2016)
- ✓ **Medição indireto:** O valor da grandeza a medir é obtido através da medição de outras grandezas relacionadas matematicamente com esta, utiliza se um instrumento de comparação. (Almacinha, 2016)



### 2.1.2 Tolerâncias Geométricas

A tolerância geométrica é a delimitação de desvios e erros geométricos permitidos, que estabelecem limites mínimos e máximos dentro dos quais as dimensões e as formas geométricas podem variar, sem que seja comprometido o funcionamento e a permutabilidade entre os elementos. (Pereira 2012)

As tolerâncias geométricas estão organizadas em classes:

- ✓ **Tolerância de Forma:** Delimita principalmente, desvios que um elemento pode apresentar em relação à sua forma geométrica ideal. (Pereira 2012)
- ✓ **Tolerância de orientação:** Delimita os desvios na orientação de um elemento em relação a outro, por forma a assegurar o bom funcionamento do conjunto. (Pereira 2012)
- ✓ **Tolerância de localização:** Garante o posicionamento respectivo entre dois ou mais elementos. (Pereira 2012)
- ✓ **Tolerância de batimento:** Delimita as oscilações de elemento quando este dá uma rotação completa em relação ao eixo. [4] (Pereira 2012)

### 2.1.3 Manufatura Aditiva

A Manufatura Aditiva (MA), que engloba a impressão 3D (I3D), técnica que permite a fabricação de peças com formas geométricas complexas, com o auxílio de software e hardware, que são característicos para a produção. Ou seja, o processo consiste em projetar e fabricar o modelo de um produto a ser construído, podendo criar formas geométricas complexas em um curto espaço de tempo. (BARBOSA; MENDONÇA; TAVARES; FIGUEREDO; LEITE, 2021)

O uso dessas tecnologias da manufatura aditiva se encontra em alta nos diversos campos do mercado industrial, educacional e tecnológico. Na indústria o conceito de fábricas do futuro ou fábricas inteligentes usados a indústria 4.0, nos mostra como as fábricas serão nos próximos anos, ou seja, mais inteligentes, dinâmicas, ágeis e flexíveis, fabricando produtos inovadores por meio de equipamentos inteligentes englobados aos processos de fabricação. (BARBOSA; MENDONÇA; TAVARES; FIGUEREDO; LEITE, 2021)

O avanço tecnológico acontece em vários segmentos da sociedade, com o desenvolvimento de novas tecnologias em vários setores. A tecnologia de impressão 3D se expandiu rapidamente mudando todo um conceito de inovação, assim se tornando uma ferramenta indispensável para o avanço tecnológico mundial e um carro chefe para novas tecnologias. (BARBOSA; MENDONÇA; TAVARES; FIGUEREDO; LEITE, 2021)

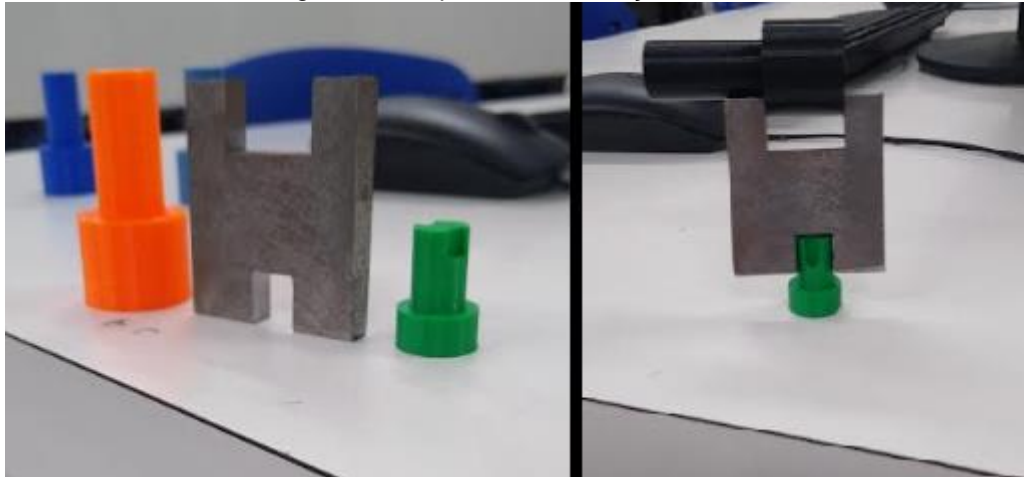
## 2.2 Resultados

Empregando o conceito de metrologia com instrumentos indiretos junto com manufatura aditiva, direcionada ao campo acadêmico. Desenvolvemos um dispositivo de medição "passa não passa" para a avaliação dimensional do diâmetro externo de eixos com



as dimensões de 10mm e 20mm que foram produzidos em impressoras 3D. A matéria prima utilizada na confecção do dispositivo é o aço SAE 1020, utilizando uma máquina fresadora convencional e os eixos foram produzidos na impressora 3D modelo EnderPro, utilizando o material PLA. Após a fabricação o dimensional das peças e dos dispositivos foram validados, utilizando uma máquina MMC – Coordinate Measuring Machine.

Figura 2 – Dispositivo de medição indireto



Fonte: os Autores

### 2.2.1 Conceitos do Dispositivo de Medição Indireto.

Na concepção do projeto do dispositivo, ponderamos um instrumento simples com um sistema de fabricação convencional. Visto que o equipamento está voltado ao mundo acadêmico e poderá ser utilizado durante o aprendizado das próximas turmas de metrologia I e metrologia II dos cursos de engenharia dentro da Faculdade. O Desenho dimensional do dispositivo pode ser visualizado na Figura 3 – Desenho dimensional 2D.

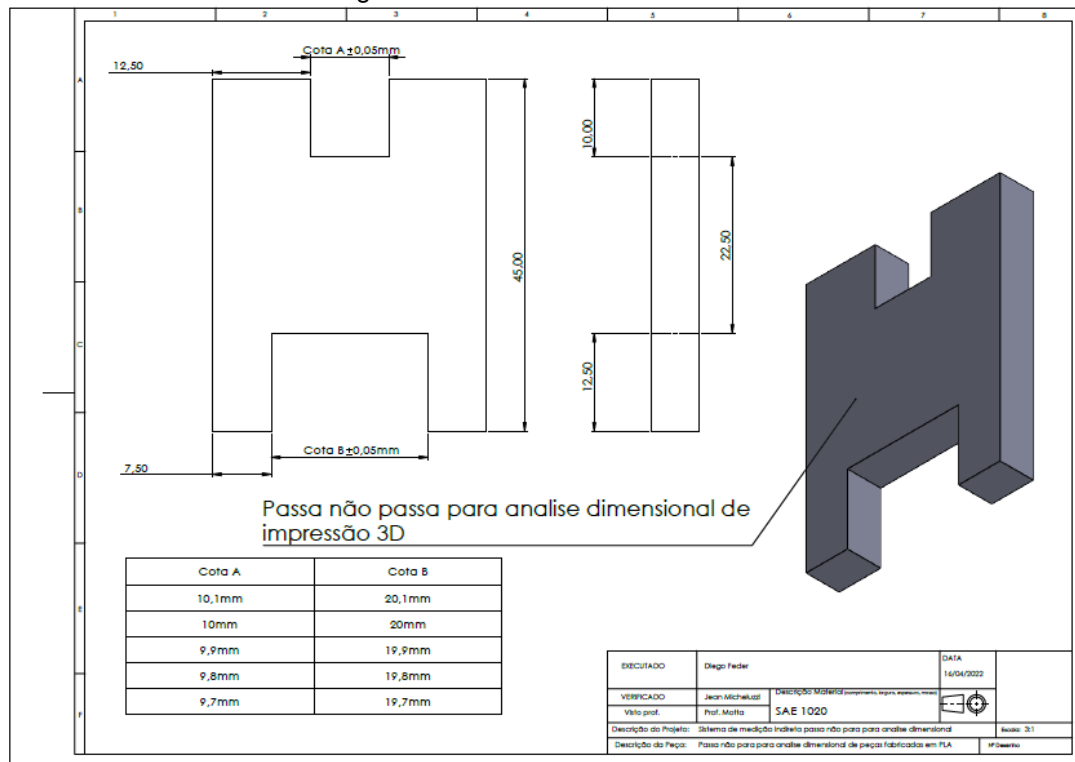
Figura 3 – Dispositivo Passa não Passa



Fonte: Os Autores



Figura 4 – Desenho dimensional 2D.

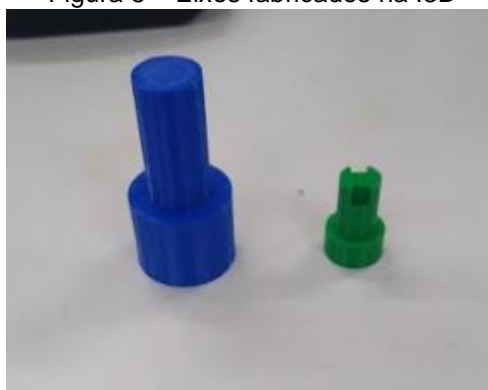


Fonte: Os autores

### 2.2.2 Análise dimensional realizada na M.M.C dos eixos e dos dispositivos.

Para validar os resultados confeccionamos 40 eixos na impressora 3D, sendo 20 peças com diâmetro de 10mm e 20 unidades com diâmetro de 20mm, onde realizamos um ensaio dimensional das peças na MMC (Tridimensional) para analisar os dados que o processo de fabricação entrega. As tabelas abaixo mostram as medidas dos diâmetros encontrados, que são: a variação do diâmetro, a amplitude média e a média ponderada.

Figura 5 – Eixos fabricados na I3D



Fonte: Os Autores

Na Tabela 1, é possível avaliar a variação dimensional do diâmetro dos eixos de 10mm, onde amplitude média ficou em 0,0807mm e a média ponderada registrou um valor de 9,8mm, ou seja, o processo de fabricação entrega um dimensional de 10mm -0,2mm.



Tabela 1- Análise dimensional dos Eixos com diâmetro externo de 10mm

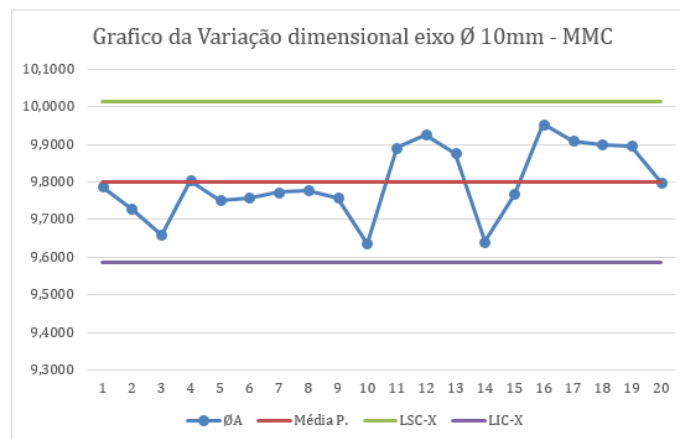
Ø10	ØA	Varição - ØA	Ampl. Média	Média P.	LSC-X	LIC-X	LSC-R
1	9,7880	0,0000	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
2	9,7290	0,0590	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
3	9,6600	0,0690	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
4	9,8050	0,1450	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
5	9,7520	0,0530	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
6	9,7585	0,0065	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
7	9,7740	0,0155	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
8	9,7780	0,0040	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
9	9,7580	0,0200	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
10	9,6370	0,1210	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
11	9,8910	0,2540	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
12	9,9270	0,0360	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
13	9,8765	0,0505	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
14	9,6420	0,2345	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
15	9,7690	0,1270	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
16	9,9540	0,1850	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
17	9,9105	0,0435	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
18	9,9005	0,0100	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
19	9,8975	0,0030	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637
20	9,8004	0,0971	0,0807	9,8004	10,0151	9,58569	0,2637

Fonte: Os Autores



O gráfico da figura 5 representa os pontos mínimos e máximos encontrado e também uma avaliação das dimensões ponto a ponto de cada eixo de 10mm produzido na impressora 3D.

Figura 6 – Gráfico da variação dimensional diâmetro 10mm



Fonte: Os Autores

Na Tabela 2 podemos avaliar a variação dimensional do diâmetro dos eixos de 20mm, onde amplitude média ficou em 0,0936mm e a média ponderada registrou um valor de 19,89 mm, ou seja, o processo de fabricação entrega um dimensional médio de 20mm -0,11mm.

Tabela 2 - Análise dimensional dos eixos com diâmetro externo de 20mm

Ø20	ØB	Varição - ØB	Ampl. Média	Média P.	LSC-X	LIC-X	LSC-R
1	19,712	0,0000	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
2	19,806	0,0935	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
3	19,813	0,0070	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
4	19,861	0,0485	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
5	19,863	0,0020	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
6	20,052	0,1890	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
7	19,798	0,2540	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
8	19,780	0,0180	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
9	19,751	0,0295	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
10	20,020	0,2695	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
11	19,825	0,1950	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
12	19,971	0,1455	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
13	20,007	0,0365	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
14	19,951	0,0565	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
15	19,927	0,0235	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
16	20,055	0,1275	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
17	19,906	0,1485	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
18	19,938	0,0315	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
19	19,945	0,0075	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059
20	19,849	0,0961	0,0936	19,8913	20,140394	19,64225	0,3059

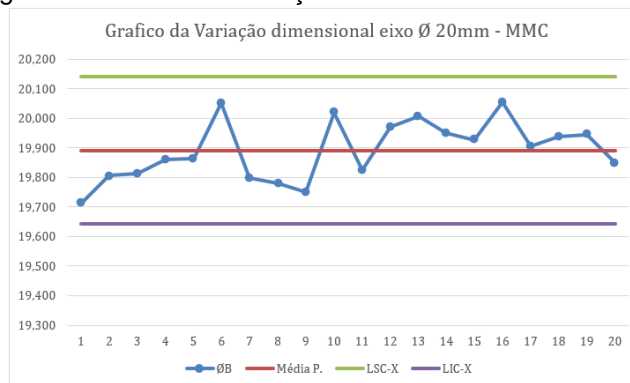
Fonte: Os Autores





O gráfico da Figura 6 representa os pontos mínimos e máximos encontrado e a avaliação das dimensões ponto a ponto de cada eixo de 20mm produzido fabricados na impressora 3D

Figura 7 – Gráfico da variação dimensional diâmetro 20mm



Fonte: Os Autores

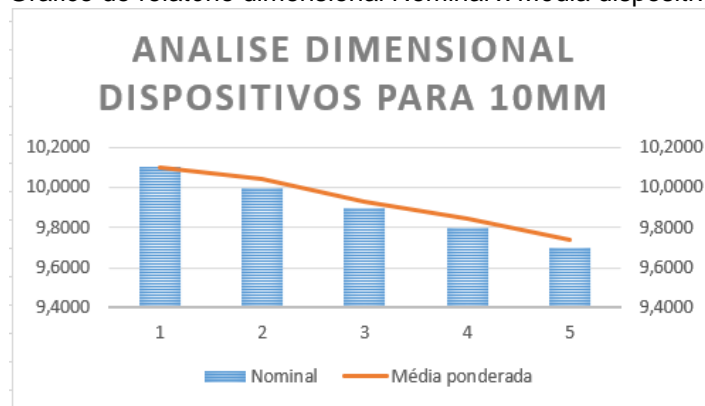
A Tabela 3 apresenta a medida nominal determinada no projeto do passa não passa para o eixo com diâmetro de 10mm, a média ponderada executada durante a fabricação do dispositivo, o erro retratado no dispositivo e as tolerâncias determinadas no desenho dimensional do projeto. Os gráficos das Figuras 8 e 9 apresentam que o dimensional está dentro do especificado no projeto.

Tabela 3 - Análise dimensional dos dispositivos para eixo com diâmetro externo de 10mm

Ø10	Nominal	Média ponderada	Erro	Tolerância	- Tolerância
	10,1000	10,1038	0,0038	0,0500	-0,0500
	10,0000	10,0402	0,0402	0,0500	-0,0500
	9,9000	9,9262	0,0262	0,0500	-0,0500
	9,8000	9,8433	0,0433	0,0500	-0,0500
	9,7000	9,7362	0,0362	0,0500	-0,0500

Fonte: Os Autores

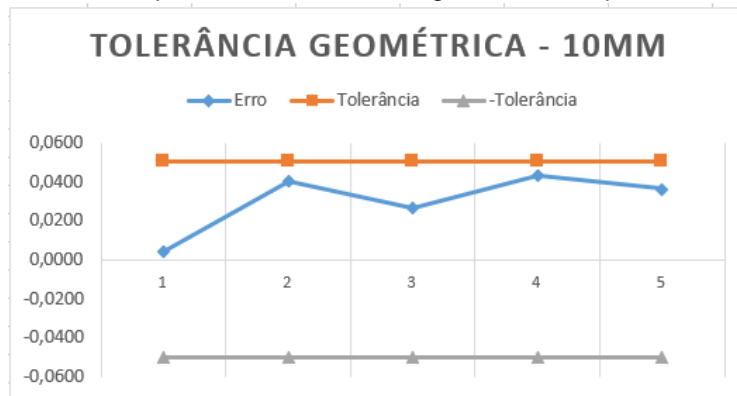
Figura 8- Gráfico do relatório dimensional Nominal x Média dispositivo de 10mm



Fonte: Os Autores



Figura 9- Grafico para analise tolerância geométrica dispositivo de 10mm



Fonte: Os Autores

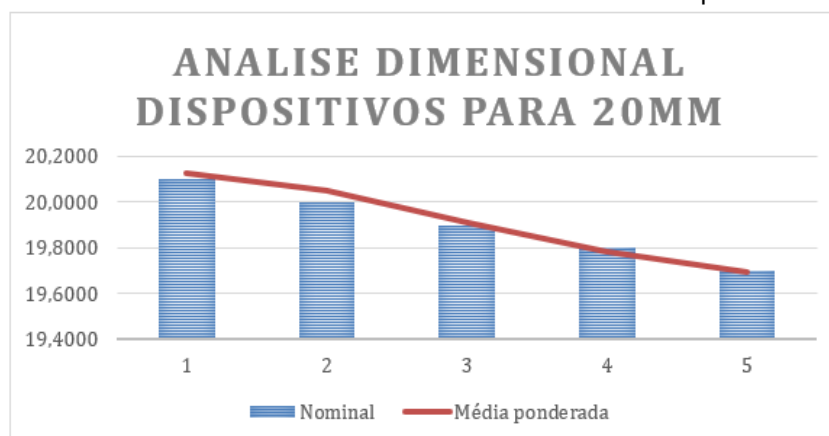
A Tabela 4 apresenta a medida nominal determinada no projeto do passa não passa para o eixo com diâmetro de 20mm, a média ponderada executada durante a fabricação do dispositivo, o erro retratado no dispositivo e as tolerâncias determinadas no desenho dimensional do projeto. Os gráficos das Figuras 10 e 11 apresentam que o dimensional está dentro do especificado no projeto.

Tabela 4 - Analise dimensional dos dispositivos para eixo com diâmetro externo de 20mm

Ø20	Nominal	Média ponderada	Erro	Tolerância	-Tolerância
	20,1000	20,1247	0,0247	0,0500	-0,0500
	20,0000	20,0497	0,0497	0,0500	-0,0500
	19,9000	19,9100	0,0100	0,0500	-0,0500
	19,8000	19,7822	-0,0178	0,0500	-0,0500
	19,7000	19,6967	-0,0033	0,0500	-0,0500

Fonte: Os Autores

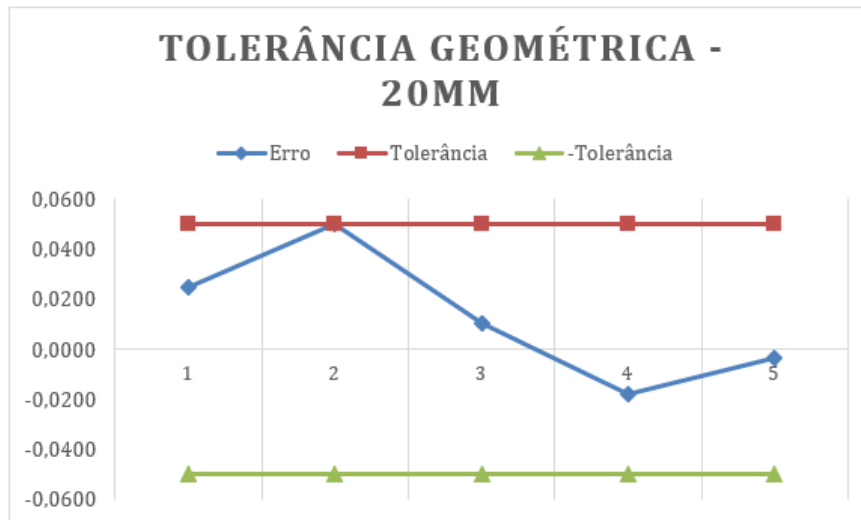
Figura 10- Grafico do relatório dimensional Nominal x Média dispositivo de 20mm



Fonte: Os Autores



Figura 11- Grafico para análise tolerância geométrica dispositivo de 20mm



Fonte: Os Autores

### 3 Considerações FINAIS

Concluimos durante o estudo, que a indústria 4.0 não está presente somente na indústria, mas pode e deve ser utilizada para a formação e aprendizado no campo acadêmico. Na postura de estudante, conseguimos concluir que a aplicação prática e exemplos visuais se tornam mais educativos e fáceis de assimilar durante a explicação teórica. Analisamos através de relatórios dimensional utilizando o equipamento MMC (Coordinate Measuring Machine) que a impressão 3D padrão, que utiliza PLA como matéria prima, não consegue atender o diâmetro definido no projeto, entregando uma variação média de aproximadamente -0,2mm à -0,11mm.

O projeto em sua amplitude tem como objetivo manifestar o desenvolvimento de um dispositivo, ou melhor, instrumento simples de medição indireto, para auxiliar no entendimento do conceito didático dos métodos de medição durante a explicação teórica sobre o assunto no decorrer do curso das engenharias na Faculdade.

### REFERÊNCIAS

JESUS, Adival Rodrigues de; MARTINS, Paulo Roberto; MAZARI, Daniel Frederico. METROLOGIA APLICADA À PRODUÇÃO INDUSTRIAL: mensurando medições em usinagem de peças / metrology applied to industrial production. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 8246-8263, 2021. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n1-561>.

SHIGLEY, J. E. Projeto de Engenharia Mecânica. 7ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 960p.  
SILVA, André Luiz V. da Costa e; MEI, Paulo Roberto. Aços e Ligas especiais. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

JORGE, Jéssica Mendes; FIRMINO, Alice Thadeu; SANTOS, Andrea Cristina dos. ANÁLISE DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE ENGENHARIA: um estudo de caso no



laboratório aberto de Brasília. **Blucher Engineering Proceedings**, [S.L.], p. 1, nov. 2019. Editora Blucher. <http://dx.doi.org/10.5151/cbgdp2019-69>

Santos, K., Loures, E., Piechnicki, F. & Canciglieri, O. (2017). Opportunities Assessment of Product Development Process in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. FAIM2017: 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, *Procedia Manufacturing*, Modelana, 11:1358–1365. <http://doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.265>.

RIBEIRO, L. R.C. A Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL): uma implementação na educação em engenharia na voz dos atores. Tese de Doutorado da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

CARVALHO, Joao Gabriel Gomes; CAMEIRA, Renato Florido. O DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS NAS INDÚSTRIAS: uma visão geral e perspectivas futuras. **Energip**: UFRJ, Rio de Janeiro, p. 1, 03 out. 2016. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_230\\_345\\_29079.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_230_345_29079.pdf). Acesso em: 03 out. 2016.

Almacinha, J.A. (2016) Introdução à Metrologia Dimensional. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 75 p

LASERMEC. Metrologia Industrial: Conheça os benefícios e como implementar. Blog Lasermec, 2020. Disponível em: <<https://blog.lasermec.com.br/metrologia-industrial/>>. Acesso em: 6 dez. de 2020.

PEREIRA, Dinis Marques. Desenvolvimento de um método para tolerânciamento geométrico utilizando equipamentos de metrologia. **Ipl**: Escola superior de tecnologia e gestão, Leiria, p. 1, dez. 2012.

BARBOSA, João Batista Mendes; MENDONÇA, Francisca Jeanne Sidrim de Figueiredo; TAVARES, Frederico Romel Maia; FIGUEREDO, José Francisco de Sousa; LEITE, Maria Juliana Ferreira. Utilização de impressoras 3D para o desenvolvimento de metodologias ativas em cursos de Engenharia. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 10, p. 1, 8 ago. 2021. *Research, Society and Development*. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18657>.

## **ANALYSIS APPLIED IN THE DIMENSIONAL EVALUATION OF MANUFACTURED PARTS IN 3D PRINTERS**

**Abstract:** The determination of the present article will correspond to assist in the learning of the classes of an engineering instrument, which can be an engineering equipment with the possibility of future knowledge. The project covers the development of an operating device for axis devices in the precept of manufacturing a diameter technology, using more specifically the technology of diameter printers. The results were projected through calculations planned by the conventional 3D data processing process and measured by the conventional printing process.

**Keywords:** *3D printing. Industry. Mechanical Engineering. Education. Teaching. Active manufacturing. Industry 4.0*