



XXVI CREEM

Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica

ILHÉUS/ITABUNA - BAHIA



XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica,
CREEM 2019
19 a 23 de agosto de 2019, Ilhéus, BA, Brasil

ANÁLISE METROLÓGICA DE PEÇAS PRODUZIDAS POR IMPRESSORA 3D DO TIPO DELTA

Givaldo Souza de Oliveira, gisoliveira@uesc.br¹
Erickson Fabiano Moura Sousa Silva, efmssilva@uesc.br¹
Victor Hugo Martins de Almeida, vhm Almeida@uesc.br¹
Tiago Santa Fé Matos, t.tsmatos@gmail.com¹
Iago Freitas Santana, iago.emec@gmail.com¹
Vicente Ferraz Silveira, vicenteferrazz@gmail.com¹
Rui Queiroz Salles Neto, rqsneto@gmail.com¹

¹Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado Km 16, bairro Salobrinho CEP 45.662-900, Ilhéus-BA

Resumo. Com a construção de uma impressora 3D delta pelo LAPMET-UDESC, percebeu-se a necessidade de classificá-la conforme sistema de ajuste padrão, visando conhecer seus limites e qualidade de impressão, bem como poder realizar futuras alterações que aumentassem sua precisão. O presente trabalho verificou a qualidade de fabricação através da tolerância dimensional das peças para ajustes e também da rugosidade. Foram impressos cubos de 20mm de aresta em ABS, com alturas de camada de 0,20mm e 0,30mm. Os resultados obtidos mostraram que a tolerância dimensional para as peças produzidas com camada de 0,20mm foi melhor, encontrando tolerância no padrão IT14-IT15 para camada de 0,20mm e IT15- IT16 para camada de 0,30mm. Para a rugosidade superficial foi observada uma pequena variação nas faces superiores em comparação com diferentes camadas. Outro resultado interessante no escopo desse trabalho é a utilização de fita de baixo custo à base de resina e borracha como alternativa à otimização da configuração da mesa de impressão e na remoção de peças. Concluiu-se, então, que as peças produzidas não poderiam ser utilizadas como peças intercambiáveis, sem haver um pós-processamento delas. É necessário realizar calibrações na máquina para aumentar o padrão de tolerância.

Palavras chave: Impressora 3D delta. Tolerância dimensional. Rugosidade. Intercambiabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A fabricação de instrumentos é conhecida desde os primórdios da nossa era. Ao longo do tempo, os instrumentos foram aperfeiçoados, o que promoveu a melhoria nos processos de fabricação de máquinas e equipamentos. Esse avanço levou a um método de fabricação onde peças eram produzidas pela remoção de material de um bloco, esculpindo-o. Esse método hoje em dia é conhecido como manufatura subtrativa, pois o excesso é subtraído do material bruto, restando apenas a peça desejada.

Contrário ao que se vê na manufatura subtrativa, a manufatura aditiva é o processo de deposição sucessiva de material camada a camada, de forma que a peça vai sendo construída conforme o projeto preestabelecido. Os processos de fabricação de peças a partir da manufatura aditiva sofreram grande avanço desde o advento das impressoras 3D, contudo, essa tecnologia não é recente. O desenvolvimento da impressão 3D trouxe melhorias na utilização de matéria-prima na fabricação de peças diminuindo de forma brusca o desperdício de material, bem como na redução do tempo, tornando-a uma ferramenta muito poderosa para a indústria atual.

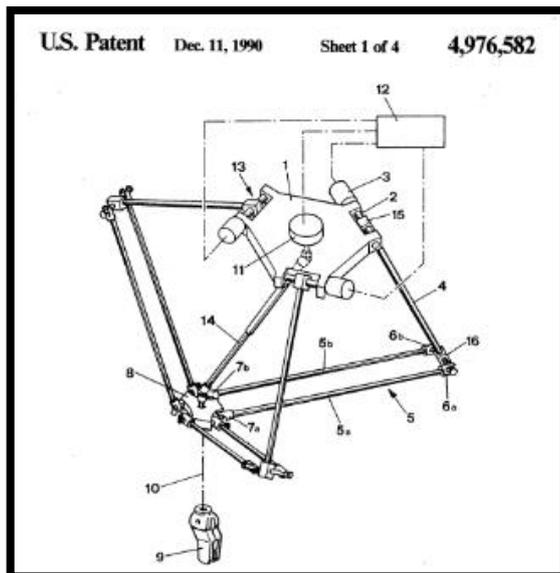
Na fabricação de peças em série, seja qual for o método, surge a necessidade de ter uma tolerância dimensional para possibilitar a intercambiabilidade dessas peças para a hipótese de uma poder substituir qualquer outra. É também necessário definir tolerâncias dimensionais e ajustes pelo fato de não haver máquina e ferramental ideal para a produção de peças com as dimensões nominais, apesar de existirem máquinas com alta precisão que incrementam muito o valor do produto final, ou seja, a possibilidade de as peças fabricadas possuírem a dimensão mais próxima da exata como em seu projeto, aumenta muito o custo de fabricação dessas peças. Nesse sentido, faz-se necessário a adequação dessas tolerâncias e ajustes em um sistema que as regulamentem, de maneira que haja uma padronização que melhore as condições da produção de peças, como também a classificação delas quanto aos tipos de ajustes. Assim, o objetivo do trabalho foi verificar quantitativamente a qualidade de impressão de uma impressora 3D delta da UDESC, buscando conhecer seu índice de tolerância dimensional.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Impressora 3D do tipo delta

As impressoras 3D do tipo delta são máquinas de FDM (modelagem por deposição de material fundido, do inglês *fused deposition modeling*), onde o método e dispositivos de movimentação empregados advêm da invenção de Raymond Clavel, engenheiro mecânico formado pela Escola Politécnica Federal de Lausanne, que lhe rendeu a patente em 1990 (CLAVEL, 1990). O mecanismo cinemático funciona com três conjuntos de barras ligadas a uma plataforma, Figura 1. Cada conjunto de barras é acionado por um motor que fica numa posição estacionária, diferentemente de alguns outros tipos de impressoras 3D (CLAVEL, 1991; TEIXEIRA *et al*, 2017). Apesar de algumas modificações terem sido aplicadas ao mecanismo de Clavel, a ideia principal de sua invenção continua sendo difundida nas impressoras delta.

Figura 1 – Mecanismo proposto por Clavel



Fonte: (CLAVEL, 1990).

Atualmente, as impressões feitas no LAPMET trabalham com o material acrilonitrila butadieno estireno, da sigla ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). O ABS é um material termoplástico rígido e leve, ideal para utilização em impressões 3D, pois também exibe resistência e flexibilidade na absorção de impacto (ADIPLAST, 2017).

A impressão 3D consiste, primeiramente, no desenvolvimento de um modelo em CAD da peça desejada. Em seguida, o modelo é processado no software que transforma o arquivo em diversas camadas, onde cada camada possui aproximadamente 200 μm , a depender da qualidade superficial que se pretende obter. Nesse processo produzem-se informações detalhadas da peça que serão transmitidas à máquina no ato da impressão. É essa característica que põe as impressoras 3D na frente de outros métodos, pois, por meio disso, peças complexas podem ser impressas num único processo, sem a necessidade de montagens posteriores. A impressora, por sua vez, deposita o material preenchendo camada a camada do modelo projetado até completá-las. No final da operação tem-se a peça produzida com as dimensões próximas às do modelo em CAD.

2.2. Tolerâncias geométricas

A utilização de peças de encaixe comumente denotadas como eixos e furos, por exemplo, depende de um fator chamado de ajuste, que é a relação entre as dimensões nominais das peças e seus afastamentos. Os ajustes interferem em como as peças serão montadas umas com as outras e são classificados em ajuste com folga, ajuste com interferência e ajuste incerto. A funcionalidade e aplicação da peça é o fator utilizado pelo projetista para ponderar qual o grau de precisão adequado a ser empregado nas peças. Para auxiliá-los existe a NBR 6158:1995, que permite uma escolha racional das tolerâncias e ajustes, conforme tolerância internacional – IT, que consiste na maior tolerância que uma peça pode ter a depender da sua aplicação (MARCO FILHO, 1996; SILVA NETO, 2012).

2.3. Rugosidade

Todos os produtos, ao final das etapas dos processos de fabricação, apresentam pequenas saliências ao longo de toda sua superfície. Essas saliências e reentrâncias que caracterizam a superfície são conhecidas como rugosidade superficial do material. Conforme o processo empregado na fabricação das peças, a rugosidade superficial apresenta menores

valores, pois a rugosidade é função das imperfeições nas máquinas, das vibrações no sistema, etc, e quanto mais precisa ela é, menos efeitos desfavoráveis à qualidade superficial elas produzem. A rugosidade é parâmetro de grande importância no desenvolvimento de projetos mecânicos, principalmente quando se trata de ajustes finos em peças e instrumentos (MACHADO, 2010; SILVA NETO, 2012).

Em geral, a rugosidade é tratada como rugosidade média – Ra, que segundo Machado (2010) “é a média aritmética dos valores absolutos dos afastamentos dos pontos do perfil superficial em relação à linha média dentro do percurso de medição”. Também é possível obter a rugosidade parcial – Rz, que de forma simplificada, é a soma das amplitudes (medida de pico a vale) de cada comprimento de amostragem dividida por cinco. Cinco é um número fixo que corresponde ao total de amostragens realizadas. Os rugosímetros são automatizados e possuem os métodos e rugosidades a serem calculadas, bastando uma simples seleção do comprimento de amostragem e o aparelho é capaz de medir e apresentar o resultado com rapidez e precisão.

2.4. Análise estatística descritiva

A análise estatística das medidas é feita a partir das amostras obtidas, sendo \bar{x} a média, S o desvio padrão, n o tamanho da amostra e x_i é cada elemento dentro da amostra. A eq. (1) descreve o cálculo da média aritmética.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Contudo, apenas a média não traz informações suficientes. Assim, o desvio padrão traz informações de quão dispersos estão os dados (SILVA NETO, 2012). O desvio padrão é calculado de acordo a eq. (2).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

2.5. Análise de capacidade do processo

A análise da capacidade examina os limites dentro dos quais o processo deve estar situado, devido à variabilidade que possuem os processos reais. Segundo Moncalvo (2016), a capacidade de um processo pode ser definida como o intervalo $\pm 3\sigma$ ou 6σ , onde σ é o desvio-padrão populacional, e a distribuição deve ser normal ou com formato de sino, podendo também ser utilizado o desvio-padrão amostral, quando não se conhece o populacional.

Dessa maneira, então, podem ser calculados alguns índices de capacidade do processo – ICP (LARGO, 2016). O primeiro índice é o de capacidade (ou capacidade) potencial – C_p , conforme a eq. (3), que será utilizado para estimar a tolerância do processo. Processos com $C_p > 1,33$ são considerados potencialmente capazes (GONÇALEZ *et al*, 2009), de maneira que se pode chegar à eq. (4), onde LSE é o limite superior de especificação, LIE é o limite inferior de especificação e S é o desvio padrão amostral. LSE-LIE é a tolerância do processo.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6S} \quad (3)$$

$$LSE - LIE = 1,33 \times 6 \times S \quad (4)$$

Outro ICP é o índice de capacidade relativo à localização – C_{pk} , que relaciona a média da amostra com os valores nominais dos limites do processo. O C_{pk} é calculado conforme mostra a eq. (5). Valores de $C_{pk} > 1$ são considerados processos centralizados. Por outro lado, valor de $C_{pk}=2$ considera-se processos ideais (MONCALVO, 2016).

$$C_{pk} = \frac{\min(\bar{x}-LIE), (LSE-\bar{x})}{3S} \quad (5)$$

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho se baseou em três etapas: preparação para impressão, impressão das amostras e, por último, análise dimensional das amostras. Basicamente, foram impressos cubos padrões de 20 mm de aresta, em ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), para dois tipos de espessura de camada, sendo os valores 0,20 mm e 0,30 mm. Para isso, foram ajustados os parâmetros de temperatura da mesa e do bico extrusor em 110 °C e 225 °C, respectivamente. O valor configurado para a velocidade de extrusão foi de 3000 mm/min.

As dimensões dos cubos foram medidas tomadas cada uma em seis pontos diferentes de uma mesma direção e computadas para gerar uma dispersão dos dados. A partir de então, foi analisada a distribuição desses resultados comparando-os aos valores teóricos previamente conhecidos.

Além disso, foi feita a análise da rugosidade superficial das peças, realizando cinco medições na face superior das peças e cinco nas faces laterais. Os valores foram computados conforme as equações já mostradas e tabelados.

4. RESULTADOS

4.1. Análise Dimensional

Na Figura 2 são mostradas algumas das impressões realizadas neste trabalho. Os cubos brancos vistos na parte superior da imagem foram as peças iniciais, por meio dos quais foram realizados ajustes na impressora para o ABS. Durante os ajustes notou-se barulhos vindos do bico extrusor e foram observadas também alterações na superfície das peças para o ABS branco, características prováveis de umidade ou da pigmentação existente no ABS branco. Ao utilizar um ABS de cor vermelha que estava lacrado, não mais foram observados tais efeitos.

Figura 2 – Cubos impressos



Fonte: autores.

A Tabela 1 exibe os resultados obtidos das medições, onde os valores de média e desvio padrão calculados para as dispersões conforme eq. (1) e eq. (2), respectivamente, são mostradas para ambas as alturas de camada.

Tabela 1 – Média e desvio padrão das dispersões

ALTURA DE CAMADA (mm)	REFERÊNCIA	MÉDIA (mm)	DESVIO PADRÃO (mm)
0,20	H	20,15	0,06
	W	20,04	0,05
	L	20,03	0,09
0,30	H	20,21	0,08
	W	20,00	0,08
	L	19,97	0,15

Fonte: autores.

Depois de analisados os dados, foram estimadas as tolerâncias a partir do índice de capacidade C_p , para cada direção medida (H: altura, W: largura e L: comprimento), conforme a eq. (4). Os valores das tolerâncias estimadas são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tolerância para as direções das peças em ambas as camadas

ALTURA DE CAMADA (mm)	REFERÊNCIA	TOLERÂNCIA (mm)	IT	C_p^*
0,20	H	0,44	14 (0,52 mm)	1,56
	W	0,42	14 (0,52 mm)	1,63
	L	0,72	15 (0,84 mm)	1,56
	H	0,61	15 (0,84 mm)	1,84

0,30	W	0,62	15 (0,84 mm)	1,81
	L	1,22	16 (1,3 mm)	1,42

Fonte: autores.

Nota: * C_p com o valor da tolerância IT.

Os valores de IT foram obtidos analisando-se as tolerâncias calculadas e o valor acima mais próximo na tabela de tolerâncias da norma ABNT NBR 6158 (ABNT, 1995) para o valor nominal da peça ou valores menores que se adequassem ao valor calculado. Os valores obtidos para as faixas de tolerância de cada orientação medida são mostrados também na Tabela 2, onde se obteve valores de IT14 para as orientações W e H e IT15 para a L com altura de camada de 0,20 mm. Para a altura de camada de 0,30 mm foram obtidos IT15 para as orientações H e W e IT16 para a orientação L.

Apesar de o valor dos C_p após os cálculos das tolerâncias serem maiores que 1,33, estes não fornecem informações quanto a posição do processo em relação ao valor nominal, pois o C_p trabalha apenas com as informações relativas aos desvios padrões das dispersões centralizadas. Como nem todas as distribuições estão centralizadas, logo, o índice C_{PK} deve ser calculado para obtermos mais informações do processo quanto ao valor nominal e a dispersão dos dados. Segue, então que, da eq. (5), tem-se a Tabela 3, onde o valor final é apresentado na coluna C_{PK} .

Tabela 3 – C_{PK} para os processos

ALTURA DE CAMADA (mm)	REFERÊNCIA	C_{PK} (LIE) *	C_{PK} (LSE) **	C_{PK}
0,20	H	2,43	0,69	0,69
	W	1,88	1,38	1,38
	L	1,66	1,45	1,45
0,30	H	2,75	0,92	0,92
	W	1,80	1,82	1,80
	L	1,36	1,47	1,36

Fonte: autor.

Nota: * valor com $-1/2$ da tolerância estimada.

** Valor calculado com $+1/2$ da tolerância estimada.

O C_{PK} representa a proximidade dos dados da dispersão com o valor nominal do processo. Para valores de $C_{PK} > 1$ são considerados centralizados. Contudo, para $C_{PK} = 2$ o processo é considerado ideal. Deste modo, conforme é analisado da Tabela 3, para ambas as alturas de camada o resultado é o mesmo, sendo W e L processos considerados centralizados. Entretanto, temos H apresentando valor $C_{PK} < 1$, o que representa que as dispersões de H estão fora de centralização.

Dentro do que foi analisado, é possível confirmar que a melhor direção de impressão é W (onde se mediu a largura das peças), que corresponde ao eixo X da impressora. Esse eixo proporcionou as melhores tolerâncias (IT14 e IT15), bem como obteve melhores índices de capacidade e os menores desvios padrão com respeito à dispersão dos dados. Isso pode ser explicado pelos ajustes realizados para configuração da altura Z do bico extrusor, bem como pela simplicidade do ajuste de inclinação da mesa de aquecimento que é manual e ainda muito rudimentar.

Os valores em H também podem ser explicados dessa forma, uma vez que o ajuste realizado pode gerar ou não a compactação da camada pelo bico extrusor, a depender de onde se localiza a peça em relação à mesa, podendo causar a variabilidade nas medições.

Todavia, é preciso realizar um estudo no processo de impressão para melhor esclarecimento da influência das imprecisões físicas e nas configurações de parâmetros, que afetam a qualidade dimensional das peças produzidas.

4.2. Análise da Rugosidade

Além da análise dimensional, foi também realizada análise de rugosidade em algumas peças. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para a rugosidade Ra e a Rz. Para análise da rugosidade foram tomadas medições das faces superior e laterais das peças na direção perpendicular às linhas de deposição de camada.

Tabela 4 – Rugosidades Ra e Rz para peças com altura de camada de 0,20 mm

ALTURA DE CAMADA (mm)		Ra (μ m)		Rz (μ m)	
		Superior	Lateral	Superior	Lateral
0,20	Média	12,59	25,57	38,84	66,33

	Desvio Padrão	5,19	7,09	14,34	14,39
0,30	Média	14,29	30,45	40,86	86,10
	Desvio Padrão	5,53	6,19	17,18	17,48

Fonte: autor.

Na Tabela 4, os altos valores de desvios padrão são bem evidentes. Isso se deve às características da rugosidade e de suas análises. Este fato também pode ser observado no trabalho de Nery (NERY *et al*, 2016).

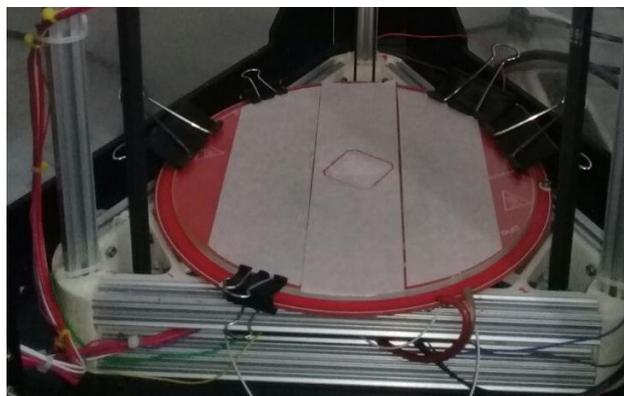
Das análises de média de rugosidade podemos observar pequenas variações nas faces superiores, comparando as respectivas Ra e Rz para ambas as alturas de camada. Todavia, as variações faces laterais exibem variações maiores, o que pode ser explicado pela altura de camada, onde peças produzidas com alturas de camada maiores tendem a apresentarem rugosidades também maiores. As rugosidades Ra e Rz para ambas as alturas de camadas podem ser comparadas às rugosidades citadas por Nery, onde a rugosidade média Ra é menor que 32 μm .

4.3. Melhoria no modo de impressão

As impressões já realizadas pela impressora delta do LAPMET, desde sua montagem até hoje, utilizaram métodos que consistiam em aplicar sobre o vidro uma mistura aderente para auxiliar no contato e aderência do polímero a mesa. Porém, após a impressão, quando retirada, geralmente, a peça saía com uma camada do vidro.

Com a aplicação de fita adesiva à base de resina e borracha conhecida como fita crepe, sobre o vidro, houve otimização do processo de impressão, pois não foi mais necessária a retirada do vidro da mesa de impressão para remoção das peças impressas, o que favoreceu bastante a dinâmica de impressão. Também não ocorreram mais descolamentos de camadas do vidro, como ocorria quando a peça era fixada diretamente, evitando assim a perda das placas. As peças foram facilmente desgrudadas e houve a possibilidade de reutilização da fita por algumas outras impressões. A Figura 3 mostra o comportamento da fita após a remoção da peça impressa, onde é possível ver apenas o contorno produzido pela máquina no início da impressão, que é feito para verificar a extrusão de material antes da fabricação da peça. Este contorno é facilmente retirado, após a remoção da peça, com auxílio de um estilete.

Figura 3 – Mesa aquecida após a remoção da peça



Fonte: autor.

Após a impressão das amostras com a fita foi possível observar alguns pontos positivos e negativos. Dentre os positivos temos a possibilidade de reutilização e facilidade de manuseio e remoção das peças, permitindo a impressão de mais peças com uma única preparação da mesa sem a necessidade de troca da fita por cisalhamento dela, além de conferir agilidade e redução do tempo de preparo de impressão. O ponto negativo observado foi o surgimento de ondulações na superfície após a aplicação do gel fixador, ocasionado devido às características construtivas da fita, do gel fixador e do método utilizado na impressão. Todavia, esse ponto negativo não impossibilitou a utilização da fita, apenas foi necessário um processo de aplainamento dessas ondulações por meio de uma superfície convexa para evitar erros de forma nas peças.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos e analisados mostram que, o controle dimensional das peças impressas pela impressora delta produziram melhores resultados quando esta foi configurada para a altura da camada de 0,20 mm. Os valores de IT encontrados, segundo a NBR 6158, estão fora da faixa de tolerância para ajustes de acoplamentos, que vai até IT11, não possuindo, dessa maneira, a especificação para produção de peças intercambiáveis. A partir de IT12 as tolerâncias são para peças de utilização isolada, ou seja, que não requer grande precisão.

A rugosidade média Ra encontrada para as faces das peças com ambos os valores de altura de camada utilizado na metodologia possui carácter comparativo, sendo esta abaixo do valor de 32 μm . A rugosidade Rz também possui valor comparativo, entretanto, devido a suas características, seus valores são maiores que os valores de Ra e, além disso, esta é cotidianamente utilizada na especificação do acabamento superficial em projetos mecânicos.

Com as observações feitas, melhorias podem ser propostas a partir do estudo em discussão. Uma solução viável é instalar um calibrador automático para altura Z que leva em consideração não apenas o centro da área de impressão, mas que pondera também pontos externos a ele, de maneira que se obtém um ajuste médio com uma melhor altura do bico extrusor em relação à mesa aquecedora. Outra solução é efetuar o planejamento da manutenção da calibração da máquina com a metodologia já existente, de modo que sejam reduzidos os efeitos que possam ser causados por falta de manutenção como a folga das correias, etc. Contudo, é necessário um estudo aprofundado para averiguação dos parâmetros que influenciam na qualidade dimensional das peças produzidas pela impressora delta, com a finalidade de aperfeiçoar a impressora delta do LAPMET para a produção de peças intercambiáveis.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Projetos Mecânicos e Tribologia da Uesc pelo apoio na pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6158 – sistema de tolerâncias e ajustes. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3838104/mod_resource/content/1/NBR%206158.pdf>; Acesso em 30/10/2017.
- ADIPLAST. Conheça mais: acrilonitrila butadieno estireno (ABS). Disponível em: <http://www.adiplast.ind.br/news_abs.php>; Acesso em: 20/12/2017.
- CLAVEL, R. Device for the movement and positioning of an element in space, 1990. Patente. Número da publicação: US 4976582 A. Disponível em: <<https://www.google.com/patents/US4976582>>; Acesso em: 03/01/2018.
- CLAVEL, R., Conception d'un robot parallèle rapide à 4 degrés de liberté. 1991, Ph.D. Thesis, EPFL, Lausanne, Switzerland. Disponível em: <https://infoscience.epfl.ch/record/31403/files/EPFL_TH925.pdf>; Acesso em: 03/01/2018.
- GONÇALEZ, P. U.; WERNER, L. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais. 2009. Resumo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v16n1/v16n1a12.pdf>>; Acesso em: 29/12/2017.
- LARGO, J. J. J., Análise de capacidade de processos multivariados usando o método dos componentes principais ponderados. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2014. Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/0046310.pdf>>; Acesso em 30/12/2017.
- MACHADO, B. S., Caracterização da rugosidade em superfícies nitretadas a plasma da liga Ti6Al4V. 2010. Monografia (bacharelado em física) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/2487/Machado_Bruno_Serpa.pdf?sequence=1>; Acesso em 30/10/2017.
- MARCO FILHO, F. de, Apostila de metrologia. Rio de Janeiro: UFRJ, Sub-Reitoria de Ensino de Graduação e Corpo Discente/SR-1, 1996. 106p. - (Cadernos Didáticos – UFRJ; 29).
- MONCALVO, F. C., Análise dimensional para capacidade de uma máquina de FDM. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2016.
- NERY, M.P. et al. Avaliação metrológica e superficial de peças poliméricas fabricadas em impressora 3d. Natal, RN, 2016. (Trabalho apresentado no 22º CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais) Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/417-002.pdf>>; Acesso em 03/01/2018.
- SILVA NETO, J. C., Metrologia e controle dimensional. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 237p.
- TEIXEIRA, J. A.; CASTELLANOS, J. L. A. S., Desenvolvimento de uma impressora 3d do tipo delta. Tecno metal – inovação nas empresas de metalurgia e metalomecânica. 2017. Disponível em: <<https://web.fe.up.pt/~falves/Tecnometal%20imp%20delta.pdf>>; Acesso em: 03/01/2018

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.