

# ANALISE DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL EM PEÇAS FUNDIDAS PELO PROCESSO DE FUNDIÇÃO A CERA PERDIDA

Antonio Carlos Rossello Filho<sup>1</sup>; Susana M. Giampietri Lebrão<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

<sup>2</sup> Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

**Resumo.** *Inicialmente projetou-se em SolidWorks uma peça que foi usinada e posteriormente fundida pelo método de fundição de precisão por cera perdida. O objetivo foi analisar a variação dimensional da peça fundida em relação a usinada e também comparar o processo e a qualidade entre duas peças, uma usinada e outra feita com o uso de impressora 3D. A comparação foi feita com relação à facilidade no processamento, a qualidade final e variação das dimensões.*

## Introdução

O processo de fundição de precisão mais utilizado de todos é o por cera perdida, esse método é um dos mais antigos utilizados para a fundição de peças pequenas e muito detalhadas.

“Nesta técnica de fundição, um padrão, geralmente feito de cera, é utilizado para a formação da cavidade interna do molde. O padrão é formado por introdução da cera fundida dentro de um molde da forma desejada e por seu resfriamento até sua solidificação. No método de concha de cerâmica, o padrão ou um conjunto dos mesmos em árvore, são revestidos por uma pasta cerâmica que é, em seguida, solidificada formando um molde em torno dos padrões de cera. O padrão de cera é então removido do molde por fusão ou queima, a cera é derretida. O molde resultante é ainda mais endurecido por meio de aquecimento, e preenchido com o metal fundido escolhido para produzir a peça acabada.” (SENAY;AKAR, 2003)

A eficiência de funcionamento de fundição de precisão depende, em grande parte, da qualidade do padrão descartável, desde que sua superfície e características dimensionais sejam transferidas para a concha de cerâmica e assim à moldagem final.

“Fundição por cera perdida é um método muito eficiente de fundição de peças pequenas e detalhadas, o produto final desse método de fundição é caracterizado por ter dimensões exatas e qualidade aceitável, sendo assim, na maioria dos casos, não necessária usinagem ou acabamento após sua fundição. As peças fabricadas por esse processo têm dentre suas principais características: excelente acabamento superficial, pouca variação dimensional, e poder produzir peças com geometria complexas. Mas apresentando resultados ruins em dimensões maiores.” (J.CAMPBELL, 2000)

Este processo é muito antigo e muito utilizado em diversas fabricas e indústrias, sendo sua maior utilização sendo na área de joias e bijuterias. Costuma ser utilizado quando o custo para se usinar uma peça se torna muito alto, ou quando a usinagem se torna inviável pela complexidade da peça. Nestas condições a fundição por cera perdida substitui a usinagem por possibilitar maior facilidade de obtenção da peça e maior produtividade. Os egípcios utilizavam essa técnica para fundição de seus objetos e ornamentos em ouro por volta de 5000 a.c.

A impressora tridimensional, uma tecnologia nova, permite a realização de uma peça de dimensões muito precisas, já que se baseia em design gráfico computacional. Seu funcionamento é simples, utilizam-se polímeros como ABS ou PLA, que estão em

sua forma líquida e são injetados na forma de filete plástico em uma base, a injeção percorre os dois eixos criando as camadas, e de camada por camada a peça fica pronta.

Foi feita uma peça para a fabricação de molde para cera e fundição posteriormente em polímero PLA (poliácido lactanídeo), é um derivado da lactose e um polímero biodegradável de baixa contração (0,5), tem menor resistência mecânica e temperatura de fusão de 190°C, tem um acabamento superficial muito bom, porém devido a sua temperatura de fusão ser próxima ao da vulcanização pode ser difícil a fabricação do molde de silicone.

Com o intuito de verificar as alterações finais nas peças, quanto ao uso de diferentes peças para formação do padrão, uma por meio de impressora tridimensional e outra por usinagem, foram feitas medições dimensionais.

## Objetivo

Esse trabalho teve por objetivo estudar o processo de fundição por cera perdida, analisar a sua eficiência em fundição de peças pequenas e detalhadas, e comparar a qualidade final de uma peça quando se utilizam diferentes formas de fabricação dos moldes.

## Materiais e Métodos

O projeto da peça foi desenvolvido no software *SolidWorks*. As amostras dos modelos foram usinadas em uma fresa vertical CNC da marca Roland e confeccionadas em cera para usinagem, em compósito para usinagem do tipo *Ren Shape* e em alumínio. Uma das amostras foi confeccionada pela impressora tridimensional em polímero do tipo PLA (poliácido láctico). Para cada tipo de modelo foram fabricadas quatro amostras.

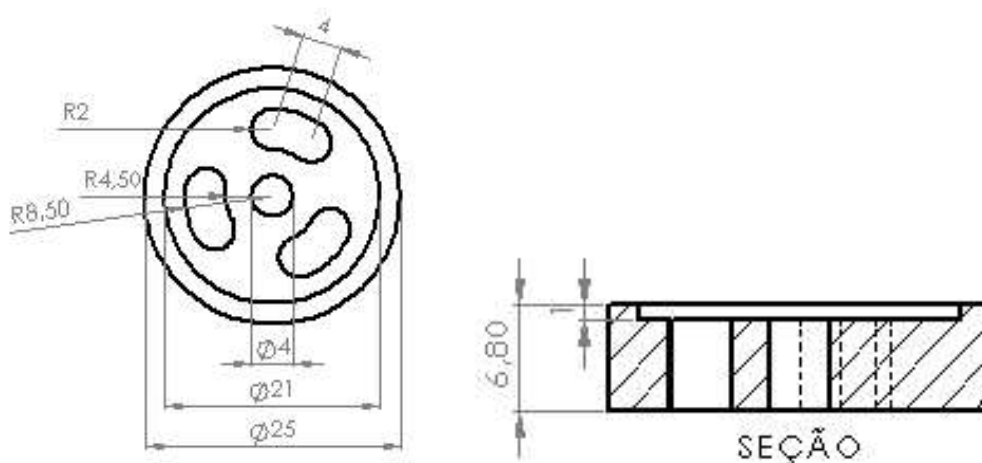


Figura 1. Desenho da peça em *SolidWorks*.

Os moldes das peças foram feitos em borrachas de silicone com moldagem a frio e a quente. Com o uso de uma vulcanizadora, a borracha de silicone foi cortada no formato do molde e envolvida na peça, então aquecida a 150°C por aproximadamente 45 minutos, formando um molde por cima da peça polimérica ou metálica, em seguida a peça foi desmoldada. Na moldagem a frio se despeja o silicone líquido sobre a peça dentro de um molde, e adiciona-se 5% de catalizador, deixando descansar por aproximadamente 7 horas e desmoldando. O material usado para vulcanização a frio foi a borracha de silicone vermelha rígida para fundição, figura 2.



Figura 2. Moldes em silicone, acima moldagem a frio, abaixo moldagem a quente.

Logo após, os moldes devidamente limpos e fixados foram levados à injetora, e preenchidos com cera aquecida a 100°C e pressão de 10 KPa, para assim conseguirmos, após o resfriamento da cera, peças em cera exatamente idênticas as peças originais.

As peças em cera foram montadas em árvore de cera, sempre a 45° com a ajuda de um apoio, em seguida cobertas com material cerâmico, neste caso gesso. A árvore foi montada dentro do tubo de fundição que foi devidamente vedado, preenchendo todo o tubo com gesso e levado por 3 minutos para a bomba de vácuo, com o intuito de eliminar as bolhas no gesso, figura 3.



(a)

(b)

Figura 3. a) Árvore em cera b) tubo de fundição contendo a árvore.

O molde de gesso, com as peças de cera em seu interior, foi levado para o forno a 180°C por aproximadamente uma hora, para total escoamento da cera do interior do molde. Logo após, foi aquecido a 450°C por 3 horas para retirada de possível cera remanescente ou água no interior do molde. Foi então aquecido a 650°C por aproximadamente uma hora para retirada de CO<sub>2</sub> provenientes da queima da cera, após este procedimento diminuiu-se a temperatura para 550°C, por uma hora

aproximadamente, para um tratamento do molde visando um melhor escoamento do latão líquido em seu interior.

O latão foi fundido a temperatura de  $950^{\circ}\text{C}$ , em caneca de fundição, e vertido lentamente, para evitar bolsas de ar, no interior do molde acoplado a bomba a vácuo, figura 4a. Esperamos cerca de 15 minutos para resfriamento do tubo, após esse tempo mergulhamos o tubo de fundição (molde) na água, o gesso é dissolvido e as peças saem prontas, restos de gesso presos as peças foram retirados com uma escova, figura 4b.



(a)

(b)

Figura 4. a) Bomba de vácuo e tubo de fundição b) peças finais em latão.

As peças prontas, após a fundição, foram levadas ao laboratório de metrologia e medidas para comparação dimensional entre a peça original e a fundida. A medição foi realizada com o auxílio de um paquímetro.

## Resultados e Discussão

Algumas dificuldades foram encontradas no processo de moldagem das peças, quando da vulcanização do molde a quente. Houve derretimento das rodas moldadas diretamente na impressora 3D em PLA e também usinadas diretamente em compósito para usinagem do tipo *Ren Shape*, tornando a utilização dos moldes inviável, conforme pode-se observar na figura 5.

No molde vulcanizado a frio a roda em material polimérico boiou no processo de descanso do silicone, alterando a posição inicial da peça dentro do molde, dificultando o processo de injeção a cera, resultando em peças em cera de má qualidade.

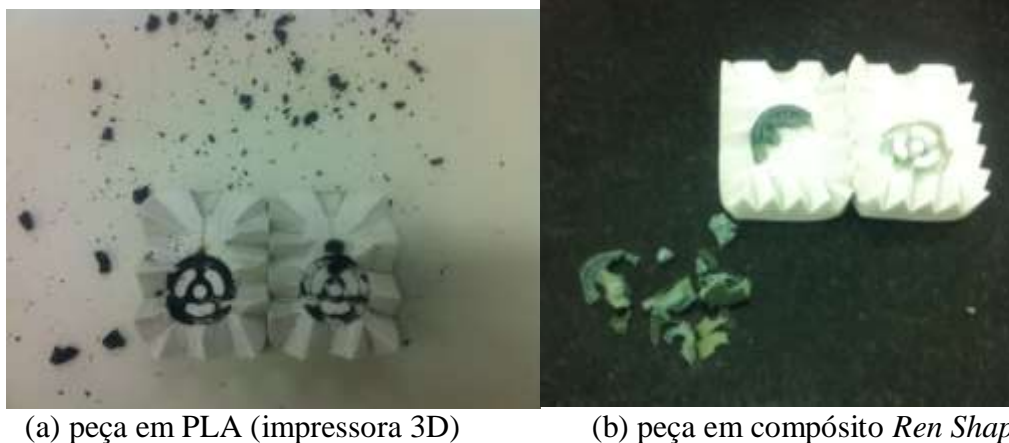


Figura 5. Deterioração dos modelos em modelagem a quente, vulcanização: (a) peça em PLA confeccionadas em impressora 3D; (b) peça usinadas em compósito *Ren Shape*

Os modelos usinados diretamente em cera para usinagem foram fundidas normalmente e os resultados da variação dimensional das peças finais em latão estão apresentados na tabela I.

Tabela I. Variação dimensional das peças fundidas a partir de modelo usinado em cera.

	<b>Diâmetro real (mm)</b>	<b>Peça1 (mm)</b>	<b>Peça2 (mm)</b>	<b>Peça3 (mm)</b>	<b>Peça4 (mm)</b>	<b>Diferença (mm)</b>	<b>%</b>
<b>Diâmetro externo</b>	25	25,18	25,2	24,96	25	0,105	0,4
<b>Diâmetro interno</b>	21	20,6	20,52	20,54	20,54	0,45	2,1
<b>Diâmetro furo</b>	4	3,6	3,6	3,78	3,6	0,355	8,9
<b>Altura do rebaixo</b>	1	1	0,96	0,98	1,02	0,02	2,0
<b>Largura</b>	6,8	7,1	6,96	6,98	7,08	0,23	3,4
<b>h</b>	2,5	2,8	2,84	3	2,76	0,35	14,0
<b>Lf</b>	8	7,7	7,7	7,52	7,48	0,4	5,0
<b>H</b>	4	3,52	3,42	3,06	3,54	0,615	15,4
						Média=	6,4

O modelo em alumínio, usinado em fresa CNC, não apresentou problemas em ambos os processos de moldagem. A variação dimensional das peças fundidas em latão a partir dos modelos usinados em alumínio com moldagem a quente e a frio, encontram-se respectivamente nas tabela II e III.

Tabela II. Variação dimensional das peças fundidas a partir de modelo usinado em alumínio e moldagem a quente.

[illegible]

Tabela III. Variação dimensional das peças fundidas a partir de modelo usinado em alumínio e moldagem a frio.

[illegible]

Foi calculada a média das diferenças em cada peça final, e a porcentagem que essa variação representa em relação à dimensão inicial. Para a roda usinada em cera, foi vista uma variação média de 6,4% da dimensão inicial. Uma diferença muito baixa considerando todas as possíveis variações, já que esta medida foi em comparação com o projeto, ocorrendo variações da usinagem da cera e da fundição juntas.

Para a roda em alumínio e molde de borracha vulcanizada, ou seja moldagem a quente, foi obtida uma variação média de 3,56% da dimensão inicial. Uma variação bem pequena, apresentando bons resultados nas dimensões pequenas, furos e rasgos, porem havendo uma variação significativa nos diâmetros externos e do rebaixo. Tais variações não prejudicam o uso final, já que todas as rodas deste molde apresentaram o mesmo diâmetro externo, possibilitando o uso por exemplo em um carrinho. Porem se a dimensão externa fosse necessária, com precisão e diâmetros exatos, recomendaria fundir em uma dimensão maior e aplicar posterior usinagem, fugindo do propósito da fundição de precisão e aumentando muito o custo da peça.

Para a roda em alumínio em molde de silicone á frio, foi obtida uma variação média de 4% da dimensão inicial. Os resultados foram muito próximos aos do molde de borracha vulcanizada.

Foi também construído um gráfico a partir das tabelas I a III, para melhor compreensão da variação dimensional das peças fundidas (figura 5).

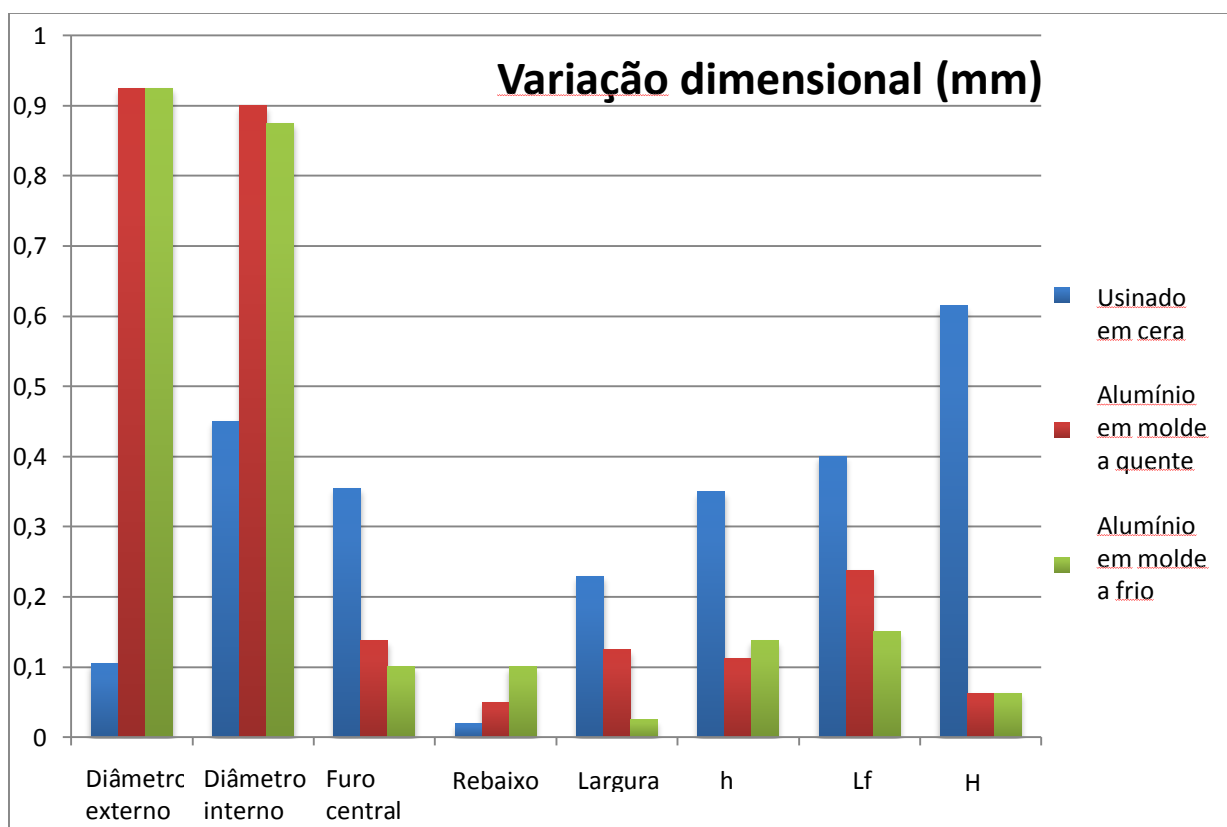


Figura 5 – Variação dimensional em milímetros.

Pelo gráfico da figura 5, podemos verificamos que para a roda usinada em alumínio e moldes a quente e a frio o resultado foi muito próximo, apresentando resultados muito bons nas dimensões pequenas, e variações maiores nas dimensões



grandes. Já a roda usinada diretamente em cera apresentou variações medias em todas as medições.

Na figura 6 são apresentados alguns defeitos nas peças que foram observados após a fundição.



Figura 6. Defeitos em peças fundidas: 1- Bolhas; 2- Contração volumétrica; 3-Trinca no molde de gesso, ocasionando uma rebarba; 4- Não preenchimento por bolha de ar gerada durante vazamento do latão.

## Conclusões

Para dimensões pequenas e de geometria mais complexa, houve pouca variação. E em dimensões maiores houve uma variação maior. Confirmando assim a qualidade do processo de fundição por cera perdida e seu uso em peças de pequenas dimensões e geometria complexa.

Possíveis causas das variações dimensionais e ocasionais de falhas:

- Acredita-se que o principal motivo foi a contração volumétrica do latão, inclusive observada em algumas peças.
- Durante o projeto, o forno de decerção quebrou sendo necessária a utilização de um forno de dimensões reduzidas. O uso de um forno inadequado para o processo pode ter afetado o gesso, logo o mesmo apresentou rachaduras em algumas arvores, impossibilitando o acionamento da bomba de vácuo no derramamento do latão, ocasionando possíveis bolhas nas peças e até o não preenchimento.
- Não preenchimento da peça por formação de bolha de ar ao preencher o molde com latão, transbordando-o antes de enche-lo.
- Deformações no processo de desmoldagem do modelo em cera ou mal preenchimento da mesma.



## Referências Bibliográficas

SENAY T.; N. AKAR. **A novel alternative to the additives in investment casting pattern wax compositions.** Department of Casting, Gazi University: Ankara, Turkey, 2003.

J. CAMPBELL. **The concept of net shape for castings.** The University of Birmingham, UK. 2000

E. CHICA, S. AGUDELO, N. SIERRA. **Lost wax casting process of the runner of a propeller turbine for small hydroelectric power plants.** Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Antioquia: Medellin, Colombia. 2013.

KLIAUGA, Andréa Madeira; MAURIZIO, Ferrante. **Metalurgia básica para ourives e designers: do metal à joia.** São Paulo, SP: Blucher, 2009. 340 p. ISBN 9788521204596.

SALEM, Carlos. **Jóias: criação e modelagem.** São Paulo, SP: 2000 Jóias, 2002. 168 p. ISBN 9788590303725.

LEFTERI, Chris. **Como se faz: 82 técnicas de fabricação para design de produtos.** São Paulo, SP: Blucher, 2010. 240 p. ISBN 9788521205067