



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA

GIOVANNI SILVEIRA MARTINS

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR CERA
PERDIDA UTILIZANDO CIMENTO REFRAATÁRIO**

FORTALEZA
2021

GIOVANNI SILVEIRA MARTINS

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR CERA PERDIDA
UTILIZANDO CIMENTO REFRAATÁRIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Metalúrgica no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Metalúrgica.

Orientador: Prof. Dr. –Ing. Jeferson Leandro Klug.

Coorientador: MSc. Samuel Lucas Santos Medeiros.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M343d Martins, Giovanni Silveira.
Desenvolvimento de um processo de fundição por cera perdida utilizando cimento refratário / Giovanni Silveira Martins. – 2021.
29 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Metalúrgica, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Jeferson Leandro Klug.
Coorientação: Prof. Me. Samuel Lucas Santos Medeiros.

1. Fundição. 2. Fundição de precisão. 3. Pingentes metálicos. I. Título.

CDD 669

GIOVANNI SILVEIRA MARTINS

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR CERA PERDIDA
UTILIZANDO CIMENTO REFRAATÁRIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Metalúrgica no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Metalúrgica.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. –Ing. Jeferson Leandro Klug (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Samuel Lucas Santos Medeiros
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus avós e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus pela dádiva da vida, por seu amor imensurável e por sua proteção.

Aos meus pais por todo carinho e dedicação, por investirem na minha formação e por sempre acreditarem em mim.

A minha irmã por toda a ajuda e cumplicidade.

Aos amigos que fiz na Universidade, pelos valiosos momentos de estudos, pela troca de conhecimentos e pelo lazer.

Ao aluno Victor do curso de Design, pela fabricação dos moldes utilizados para obter as peças em cera.

Ao técnico de laboratório Samuel Medeiros, pela disponibilidade e pelo essencial auxílio nas atividades realizadas no Laboratório de Fundição.

Ao Prof. Dr. -Ing. Jeferson Leandro Klug pela valiosa orientação, pelos ensinamentos e pelo apoio em todos os processos realizados no laboratório.

Aos professores participantes da banca examinadora: Jeferson Leandro Klug, Samuel Lucas Santos Medeiros e Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

À CAPES, ao Laboratório de Fundição e ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais por toda a estrutura e os recursos oferecidos.

“A fé na vitória tem que ser inabalável.” (O Rappa).

RESUMO

A fundição de precisão também conhecida como fundição por cera perdida é uma técnica usada para a produção de peças de metal, sendo possível o uso de quase todas as ligas. Apresenta-se como um método vantajoso devido à possibilidade de produção de peças com formatos mais complexos, à obtenção de maior precisão dimensional, além da possibilidade de um produto final praticamente acabado, que necessita de pouca ou nenhuma usinagem posterior. Foi utilizada a técnica de fundição por cera perdida para produzir pingentes metálicos. A técnica consistiu em fabricar um modelo em cera, vazada em um molde desenvolvido por impressora 3D. Posteriormente, o modelo em cera foi revestido por duas camadas de material refratário (uma mistura de cimento à base de alumina, areia, silicato de sódio e água) e uma última camada de areia, silicato de sódio e água. Na etapa seguinte, a peça foi colocada no forno e aquecida até que a cera fundisse e escorresse por meio da gravidade. A casca cerâmica obtida foi calcinada a 750 °C por 30 minutos e, em seguida, foi feito o vazamento de metal líquido.

Palavras-chave: Fundição. Fundição de precisão. Cera perdida. Pingentes metálicos.

ABSTRACT

Investment casting also known as lost wax casting is a technique used for the production of metal parts, making it possible to use almost all alloys. It presents itself as an advantageous method due to the possibility of producing parts with more complex shapes, obtaining greater dimensional accuracy, in addition to the possibility of a practically finished product, which requires little or no further machining. The lost wax casting technique was used to produce metallic pendants. The technique consisted of making a wax model, cast in a mold developed by a 3D printer. Subsequently, the wax model was coated with two layers of refractory material (a mixture of cement based on alumina, sand, sodium silicate and water) and a last layer of sand, sodium silicate and water. In the next stage, the piece was placed in the oven and heated until the wax melted and flowed through gravity. The ceramic shell obtained was calcined at 750 ° C for 30 minutes and, afterwards, the liquid metal was poured.

Keywords: Foundry. Investment casting. Lost wax. Metallic pendants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Etapas do processo de fundição de precisão.....	15
Figura 2	– Moldes feitos em impressora 3D.....	17
Figura 3	– Peças em cera após remoção do molde.....	18
Figura 4	– Forno mufla do Laboratório de Fundição.....	19
Figura 5	– Casca cerâmica confeccionada.....	19
Figura 6	– Processo de preenchimento do molde com cera.....	20
Figura 7	– Árvore de fundição em cera.....	20
Figura 8	– Árvore coberta com duas camadas de refratário.....	21
Figura 9	– Árvore coberta com a terceira camada com estucagem.....	22
Figura 10	– Forno de indução do Laboratório de Fundição.....	22
Figura 11	– Árvore coberta com uma camada de refratário.....	23
Figura 12	– Trincas na árvore coberta com duas camadas de refratário.....	24
Figura 13	– Casca cerâmica após a etapa de calcinação.....	25
Figura 14	– Visão interna da casca cerâmica.....	25
Figura 15	– Casca cerâmica com alumínio solidificado.....	26
Figura 16	– Árvore após a remoção da casca cerâmica.....	26
Figura 17	– Pingentes metálicos após limpeza e corte.....	27
Figura 18	– Modelos em cera dos pingentes.....	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	Objetivos	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Fundição e seus processos.....	14
3.1.1	<i>Fundição de precisão.....</i>	14
3.2	Defeitos em peças fundidas e suas causas.....	15
4	MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1	Materiais utilizados	17
4.2	Confecção da casca cerâmica.....	18
4.3	Etapas do estudo.....	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
6	CONCLUSÃO	29
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Baseados nos conhecimentos adquiridos na disciplina de Fundição, diversos experimentos são realizados no Laboratório de Fundição, localizado no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Dentre eles, um processo bastante praticado é a fundição de precisão através de cera perdida.

A técnica consiste em revestir com várias camadas de material refratário um modelo feito em cera, produzindo assim uma casca cerâmica onde será vazado o metal líquido. Para a confecção da casca foram utilizados os seguintes materiais: cimento à base de alumina, areia, silicato de sódio e água. Com esses elementos, faz-se uma mistura na qual o modelo em cera é imerso. Após a secagem, forma-se a casca cerâmica, que é levada ao forno para o derretimento da cera. Em seguida, é feita a calcinação e por último o vazamento de metal líquido no molde. O produto final e seus eventuais defeitos são analisados no laboratório.

Esse trabalho foi realizado na tentativa de aperfeiçoar o método de confecção do molde refratário utilizando matérias-primas simples e de baixo custo, tendo como base estudos anteriores e visando a produção de peças com maior qualidade de acabamento. Ao final do trabalho, as peças metálicas serão analisadas, comparadas com os modelos em cera e os resultados serão discutidos.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como finalidade específica desenvolver um processo de fundição por cera perdida utilizando diferentes materiais para a confecção de uma casca cerâmica que apresente resistência suficiente durante o vazamento do metal líquido, obtendo-se assim peças metálicas com qualidade satisfatória. A redução do custo final do processo ao se utilizar uma menor quantidade de camadas na fabricação do envoltório cerâmico também é um objetivo deste trabalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Fundição e seus processos

A fundição é um processo de fabricação de peças com formas simples ou complexas por meio da fusão de matéria-prima, onde o metal líquido é vazado em um molde no qual sua cavidade terá a forma de uma peça ou objeto desejado. É considerado um dos mais versáteis processos de fabricação e aplica-se a diversos tipos de metais, tais como aços, alumínio, cobre, zinco, ferros fundidos e entre outros.

Em diversos casos, a fundição é o processo mais simples e econômico para se produzir uma peça, principalmente quando esta é de grande porte, de geometria complexa ou com cavidades e canais internos. Este processo pode produzir peças praticamente acabadas e que necessitam de pouca ou nenhuma usinagem posterior. Quando necessário, além da usinagem também podem ser feitos processos de conformação mecânica e soldagem para finalizar o acabamento das peças.

Ao longo do tempo, foram sendo desenvolvidos diferentes processos dentro da fundição. Para Baldam e Vieira (2014), os principais são:

- Em molde de areia;
- Fundição de precisão (cera perdida);
- Fundição de moldes permanentes por gravidade;
- Sob pressão;
- Fundição centrífuga;
- Fundição contínua ou lingotamento contínuo;
- Tixoconformação.

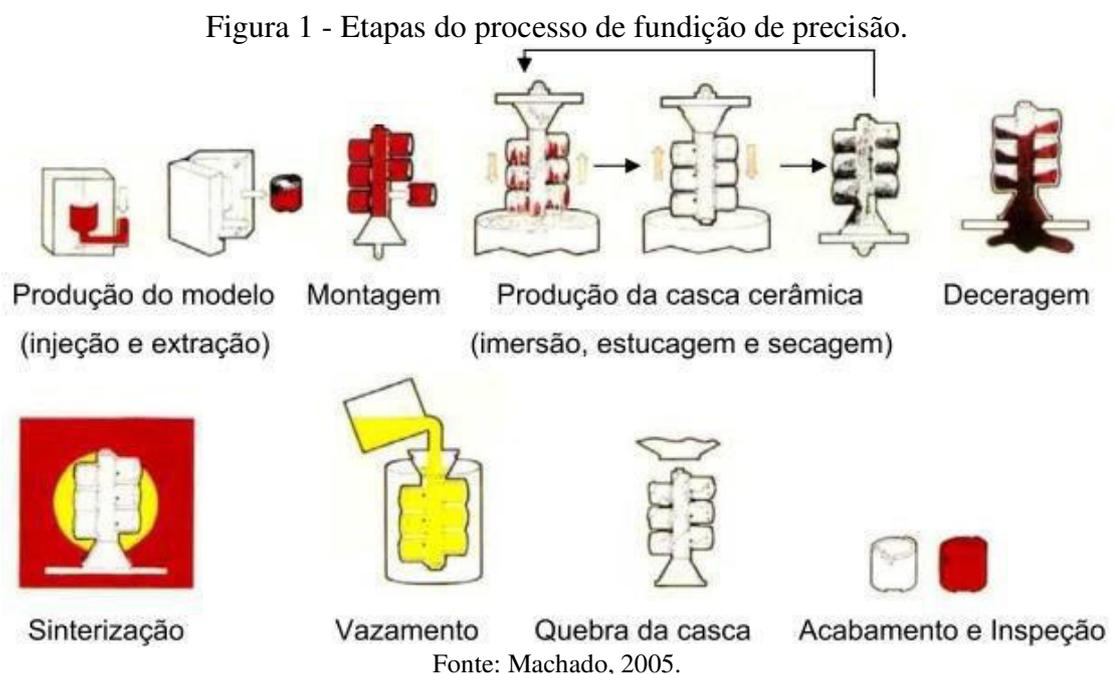
3.1.1 Fundição de precisão

O processo de fundição de precisão também pode ser nomeado como fundição por cera perdida, onde primeiramente é feito um modelo da peça desejada em cera e recoberto por um material refratário que endurece ao ser aquecido para fazer o molde. Com o aquecimento a cera é derretida, ficando apenas a casca onde será vazado o metal líquido. Após o material fundido solidificar, a casca é quebrada e está pronta a peça.

Este método apresenta-se bastante vantajoso nos aspectos de precisão dimensional e acabamento superficial das peças. Também permite uma produção em massa de peças complexas que seriam difíceis ou quase impossíveis de fabricar utilizando o modo convencional de fundição ou usinagem.

Na indústria, a produção em larga escala é feita utilizando-se o recurso da árvore de fundição, que consiste em colar as peças de cera em um cacho formando uma espécie de árvore que será recoberta com o material refratário para fabricação da casca cerâmica.

A Figura 1 mostra de maneira detalhada as etapas do processo.



3.2 Defeitos em peças fundidas e suas causas

Alguns defeitos nas peças fundidas podem surgir a partir do método usado e/ou da aplicação da técnica. Entre eles, estão:

- **Gotas frias:** Surgem de respingos durante o vazamento, causando a formação de grânulos sólidos na peça solidificada. O desenvolvimento de um sistema de canais para auxiliar no vazamento pode evitar esse defeito;
- **Porosidade:** Pequenas bolhas superficiais na peça que são formadas pela presença de gases que não foram eliminados durante o processo de vazamento e solidificação. O excesso de umidade e a baixa permeabilidade da mistura contribuem para esse defeito;

- **Falha de preenchimento:** Durante o vazamento o metal solidifica antes de preencher por completo o molde. Pode ocorrer devido a pouca fluidez do metal líquido, o vazamento ter sido lento e/ou o metal não ter recebido calor suficiente para permanecer líquido tempo suficiente para completar o preenchimento do molde;
- **Rechupe:** Falta de material durante o processo de solidificação. É um defeito que ocorre na última porção de metal líquido que solidifica. A grande diferença de espessura nas paredes do molde contribui para esse defeito. A utilização de um massalote como alimentador é uma alternativa para compensar esse problema;
- **Penetração:** O metal líquido vai desgastando a parede do molde e quando solidifica a peça apresenta rugosidade. Ocorre geralmente quando o molde já tem certo tempo de uso e/ou quando o mesmo não teve um tratamento adequado para receber o metal líquido;
- **Trincas do molde:** Ocorre quando o molde não possui resistência mecânica suficiente e trinca. Consequentemente, a peça apresentará acréscimos na forma das trincas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais utilizados

Foram utilizados os seguintes materiais para a confecção do molde refratário: silicato de sódio neutro, cimento à base de alumina, areia e água.

O cimento é do tipo refratário à base de CaO e Al_2O_3 , doado por uma usina siderúrgica. Ele suporta altas temperaturas, o que permite ao molde receber metal líquido. Além disso, deve possuir uma granulometria menor possível e, por isso, passou por uma peneira de 60 mesh.

O silicato de sódio neutro atua como ligante para um pó refratário. Já a cera utilizada foi a parafina obtida do derretimento de uma vela. Os moldes para a produção dos pingentes em cera foram confeccionados em parceria com o curso de Design, por meio de uma impressora 3D, e são mostrados na Figura 2:

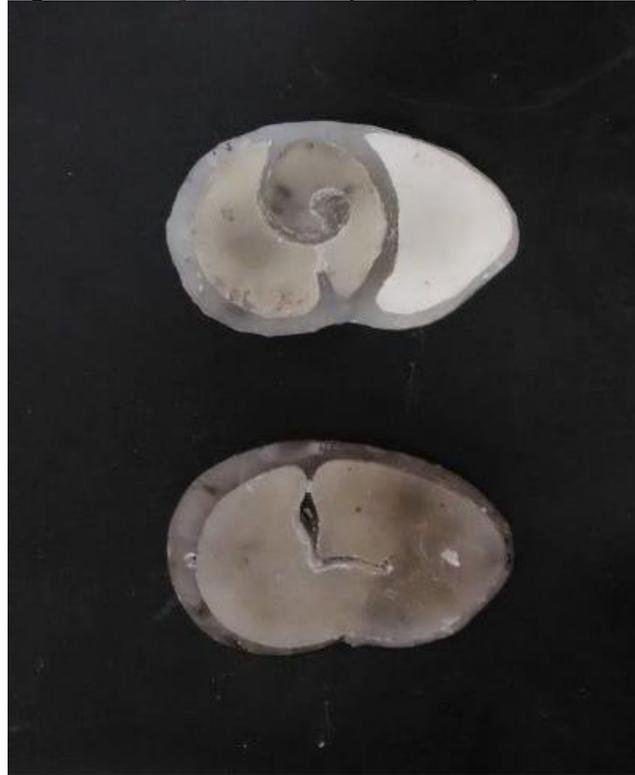
Figura 2 – Moldes feitos em impressora 3D.



Fonte: Próprio autor.

Os moldes foram lubrificados com spray de silicone para facilitar a remoção das peças depois de solidificadas. A Figura 3 mostra as peças em cera após serem removidas.

Figura 3 – Peças em cera após remoção do molde.



Fonte: Próprio autor.

Foi utilizada a cera de abelha, proveniente do Piauí, para a produção do restante da árvore de fundição (massalote e canal de vazamento).

Foi utilizado alumínio obtido de sucata para realizar o vazamento nas cascas cerâmicas.

4.2 Confeção da casca cerâmica

Para a confecção da casca cerâmica, os materiais foram misturados na seguinte proporção em massa: 60% de cimento refratário, 25% de areia e 15% de silicato de sódio neutro. Foi adicionado um volume de água aproximadamente igual ao triplo de silicato e nessa mistura mergulhou-se a árvore de fundição feita em cera. Após a secagem, aplicou-se a camada seguinte.

Nas duas primeiras camadas, a areia e o cimento foram peneirados a 200 mesh, pois são necessárias camadas finas para cobrir toda a cera e copiar as dimensões da peça. Em seguida, foi aplicada uma terceira camada composta de 90% de areia e 10% de silicato de sódio, além de um volume de água aproximadamente igual ao triplo de silicato. A areia nesta

última camada deve possuir uma granulometria mais grosseira para obter-se uma casca mais resistente e, por isso, foi peneirada a 60 mesh.

Após um dia de secagem, a árvore recoberta é levada ao forno mufla uma primeira vez para o derretimento da cera e uma segunda vez para o processo de calcinação, feito a 750 °C. No fim, o metal líquido é vazado na casca cerâmica. Na Figura 4 o forno mufla é mostrado e na Figura 5 é apresentada a casca cerâmica calcinada.

Figura 4 - Forno mufla do Laboratório de Fundição.



Fonte: Próprio autor.

Figura 5 – Casca cerâmica confeccionada.



Fonte: Próprio autor.

4.3 Etapas do estudo

Inicialmente, foram criados os modelos das peças em cera. Para isso, foram utilizados moldes produzidos em impressora 3D e a cera parafina foi sendo despejada gota a gota pelo processo de derretimento de uma vela, como mostra a figura a seguir:

Figura 6 – Processo de preenchimento do molde com cera.



Fonte: Próprio autor.

Concluída a solidificação da cera, as peças são removidas dos moldes e são feitos o massalote e o canal de vazamento. Para isso, utilizou-se um pequeno copo plástico e um funil de alumínio, respectivamente. Neles despejou-se cera de abelha que após a solidificação é retirada e colada com a própria cera nas peças produzidas anteriormente, formando assim a árvore de fundição, conforme mostra a Figura 7:

Figura 7 – Árvore de fundição em cera.



Fonte: Próprio autor.

Em seguida, iniciou-se a produção da casca cerâmica. A árvore de fundição foi banhada em uma mistura formada por 60% de cimento refratário, 25% de areia, 15% de silicato de sódio e um volume de água em mililitros equivalente ao triplo da quantidade de silicato. Esse processo foi feito para a obtenção das duas primeiras camadas e o tempo de secagem foi de um dia.

As duas camadas iniciais têm a função de cobrir toda a cera e copiar ao máximo a superfície das peças, como mostra a Figura 8:

Figura 8 – Árvore coberta com duas camadas de refratário.



Fonte: Próprio autor.

Após a secagem, a árvore foi coberta com uma terceira camada composta por 90% de areia, 10% de silicato de sódio e um volume em mililitros de água equivalente ao triplo da quantidade de silicato. Essa camada tem como objetivo tornar a casca cerâmica mais resistente às elevadas temperaturas. Um processo de estucagem utilizando-se areia mais grosseira foi feito para ajudar na prevenção de trincas, melhorar a aglomeração entre as camadas e constituir a espessura mais rapidamente, como mostra a Figura 9 a seguir:

Figura 9 – Árvore coberta com a terceira camada com estucagem.



Fonte: Próprio autor.

Finalizada a última camada e concluído o tempo de secagem de 24 horas, a árvore de fundição é levada ao forno mufla a uma temperatura de 180 °C para a eliminação da cera e depois é calcinada a 750 °C para adquirir resistência térmica suficiente para receber o metal líquido.

A última etapa foi o vazamento de alumínio líquido na casca, a qual recebeu um pré-aquecimento a 300 °C para facilitar a fluidez do metal líquido e alcançar um preenchimento completo. Sucata de alumínio foi fundida no forno de indução (mostrado na Figura 10) do laboratório para a obtenção do metal líquido.

Figura 10 – Forno de indução do Laboratório de Fundição.



Fonte: Próprio autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a secagem da primeira camada, composta por cimento à base de alumina, areia, silicato de sódio e água, observou-se que a mistura não cobriu totalmente a árvore, evidenciando uma falta de adesão à cera, tanto a parafina quanto a de abelha, como mostra a Figura 11 a seguir:

Figura 11 – Árvore coberta com uma camada de refratário.

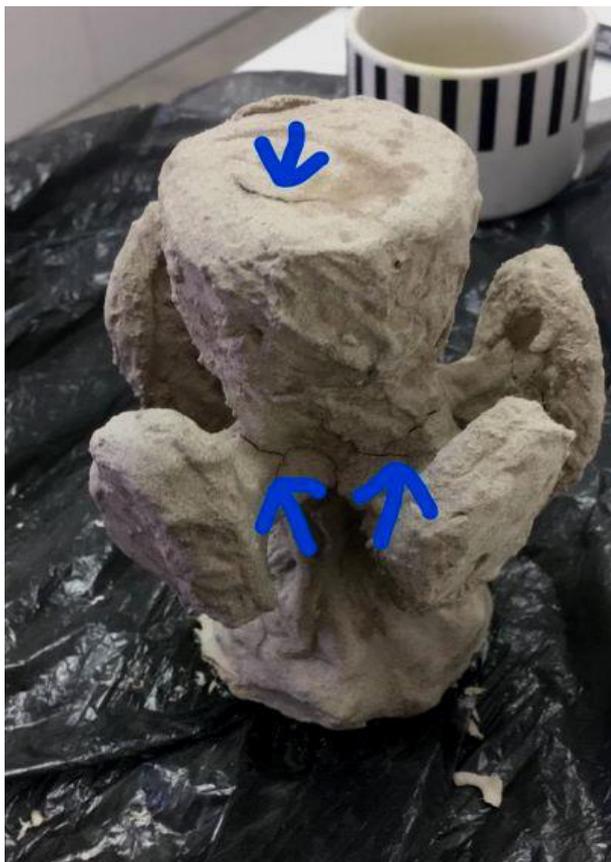


Fonte: Próprio autor.

Uma segunda camada com a mesma composição foi feita objetivando-se cobrir totalmente a superfície da peça. Dessa vez, observou-se maior adesão da mistura à árvore, visto que não estava em contato direto com a cera. Os espaços que não haviam sido recobertos pela primeira camada foram preenchidos. Utilizou-se o pincelamento para recobrir as bordas e juntas.

Depois do período de secagem de um dia, percebeu-se o surgimento de pequenas trincas na casca cerâmica, como mostra a Figura 12. Ficou evidenciado que as duas camadas contendo cimento refratário não apresentam resistência desejável para as próximas etapas, havendo necessidade de ser feita uma nova camada de composição diferente.

Figura 12 – Trincas na árvore com duas camadas de refratário.



Fonte: Próprio autor.

Por este motivo, foi feita uma terceira camada composta por areia, silicato de sódio e água. O processo de estucagem foi realizado com a camada ainda fresca e tinha como objetivo prevenir trincas e proporcionar uma espessura mais adequada à casca cerâmica. Após a secagem, observou-se que a árvore estava totalmente recoberta e que não houve o surgimento de trincas.

A casca cerâmica mostrou-se resistente às etapas de eliminação da cera a 180 °C e calcinação a 750 °C, não apresentando rachaduras ou quaisquer outros sinais que indicassem fragilidade. As Figuras 13 e 14 apresentam uma visão externa e interna da casca cerâmica, respectivamente.

Figura 13 – Casca cerâmica após a etapa de calcinação.



Fonte: Próprio autor.

Figura 14 – Visão interna da casca cerâmica.



Fonte: Próprio autor.

Um dia após a calcinação, antes de ocorrer o vazamento do metal líquido, a casca cerâmica recebeu um pré-aquecimento a 300 °C por uma hora. A temperatura utilizada no forno de indução para fundir a sucata de alumínio foi de aproximadamente 800 °C. Nota-se que essa temperatura é superior ao ponto de fusão do alumínio (660 °C) e foi uma medida

adotada para que o metal permanecesse líquido por tempo suficiente para o preenchimento de todo o molde.

A peça foi colocada em uma caixa de areia e o alumínio fundido foi despejado. Após a solidificação, a casca foi removida. A Figura 15 mostra a casca com metal solidificado sendo retirada da caixa de areia e a Figura 16 apresenta o resultado após a remoção da casca cerâmica.

Figura 15 – Casca cerâmica com alumínio solidificado.



Fonte: Próprio autor.

Figura 16 – Árvore após a remoção da casca cerâmica.



Fonte: Próprio autor.

Para a retirada dos resíduos de casca cerâmica utilizou-se escova de aço, água, sabão, martelo e micro retífica. Esse processo mostrou-se bastante trabalhoso e prejudicou a superfície dos pingentes metálicos, por se tratarem de peças delicadas com detalhes refinados.

Em seguida, cortou-se o massalote e o canal de vazamento com o auxílio de uma serra de aço. A Figura 17 mostra os pingentes metálicos isolados após o corte.

Figura 17 – Pingentes metálicos após limpeza e corte.



Fonte: Próprio autor.

Comparando-se as peças metálicas com suas versões em cera (apresentadas na Figura 18) foi possível perceber alguns defeitos.

Observam-se alguns desníveis de metal devido à aplicação não uniforme da mistura refratária, principalmente nas duas primeiras camadas, onde foi necessário o pincelamento para cobrir totalmente as peças em cera.

Durante a fabricação das peças em cera não se tinha um controle com exatidão ao despejar parafina gota a gota nos moldes. Como resultado, os modelos em cera apresentaram excessos em suas superfícies e, conseqüentemente, esses acréscimos também foram notados nas peças de alumínio.

Para o processo de colagem dos pingentes de cera na árvore também foi necessário o derretimento de vela, gerando alterações nas dimensões dos modelos em cera que repercutiram no resultado final.

A figura a seguir mostra os modelos em cera dos pingentes antes de serem colados na árvore de fundição:

Figura 18 – Modelos em cera dos pingentes.



Fonte: Próprio autor.

Observou-se que o massalote cumpriu seu papel, evitando rechupe, e o canal de vazamento reduziu a turbulência quando o alumínio líquido estava sendo despejado no interior da casca cerâmica.

A remoção da casca cerâmica mostrou-se extremamente complicada e os instrumentos utilizados não eram os mais adequados, tendo em vista que as peças são delicadas e possuem muitos detalhes. Por conseguinte, as peças de alumínio sofreram danos em suas espessuras, prejudicando algumas de suas particularidades. Em razão disso, é necessário identificar os equipamentos ideais para realizar a limpeza de peças com essas características.

6 CONCLUSÃO

O propósito deste trabalho foi desenvolver peças sofisticadas (pingentes metálicos) através do processo de fundição por cera perdida, buscando aprimorar técnicas anteriormente desenvolvidas no Laboratório e acrescentar conceitos, como a utilização da árvore de fundição para facilitar a produção em larga escala, além de evitar defeitos.

Verificou-se que com apenas três camadas foi desenvolvida uma casca cerâmica resistente e foi possível obter peças metálicas com qualidade aceitável quando comparadas às desenvolvidas por outras técnicas. Este fato é de extrema relevância, visto que uma menor quantidade de camadas resulta em menor custo e menos tempo de duração do processo.

Entretanto, notou-se que a fabricação das peças em cera foi problemática, e estas não tiveram o acabamento desejado, afetando no resultado final das peças metálicas. O desenvolvimento de uma forma alternativa de preencher os moldes com cera pode contribuir para a melhoria do processo. Além disso, é de fundamental importância que sejam utilizados instrumentos apropriados para a remoção da casca cerâmica, os quais devem cumprir seu papel sem prejudicar a qualidade das peças.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos experimentos realizados no Laboratório e dando continuidade aos trabalhos de conclusão do curso dos colegas José Rubson Guimarães (2019) e Alexia Jorge de Sousa (2019), foi possível melhorar a técnica de fundição por cera perdida, inovando ao utilizar a árvore no processo e ao reduzir a quantidade de camadas na produção da casca cerâmica. Para experimentos futuros, algumas alternativas podem ser experimentadas:

- Desenvolvimento de novos métodos de fabricação dos modelos em cera, encontrando alternativas para despejar a cera de maneira mais uniforme e precisa nos moldes;
- Utilização de peneiras de menor granulometria nas duas primeiras camadas para copiar com maior exatidão o formato das peças em cera;
- Substituição da cera parafina pela cera de abelha;
- Análise dos equipamentos que sejam ideais para remover a casca cerâmica depois da solidificação do metal sem causar danos ao acabamento superficial ou às dimensões das peças.

REFERÊNCIAS

BALDAM, Roquemar, VIEIRA, Estefano: Fundição: processos e tecnologia correlatas. São Paulo: Érica, 2014, 380p.

<https://slideplayer.com.br/slide/323573/> : Acesso em 31 de março de 2021.

BEELEY, Peter. Foudry technology. 2.ed. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2001.

GROOVER, Mikell P. Introdução aos processos de fabricação. São Paulo: LTC, 2014.cap.5 e 6.

GUIMARÃES, José Rubson de Sousa. Desenvolvimento de um molde refratário para produção de peças metálicas pelo processo de fundição de precisão. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

ARAUJO, Alexia Jorge de Sousa. Desenvolvimento de um rotor de bomba para foguetes debaixo empuxo por meio do processo de fundição de precisão. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MACHADO, I. Avaliação microestrutural de cascas cerâmicas utilizadas na produção de moldes para o processo de fundição por cera perdida. 2005. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, BeloHorizonte, 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.