



CENTRO UNIVERSITARIO FACVEST
UNIFACVEST
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ALEXSANDRO DA SILVA

Estudo de viabilização da produção de modelos e
moldes a base de cerâmica para fundições

LAGES
2019

Alexsandro da Silva

Estudo de viabilização da produção de modelos e
moldes a base de cerâmica para fundições

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica apresentado no Centro universitário FACVEST - UNIFACVEST de Lages, como requisito de Conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr.Rodrigo Botan

LAGES
2019

Alexsandro da Silva

Estudo de viabilização da produção de modelos e
moldes a base de cerâmica para fundições

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica apresentado no Centro universitário FACVEST-UNIFACVEST de Lages, como requisito de Conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica.

RESULTADO: _____

Lages, _____ de _____ de _____.

Assinatura do Membro da Comissão de Tcc

Agradecimento

A minha família, que entenderam os meus momentos de ausência, apoiando-me e incentivando sempre com seu carinho e companheirismo;

A meu orientador, Professor Rodrigo Botan pelo acompanhamento e lúcidas considerações;

A Fundação da Minusa trator peças, que permitiu a realização deste trabalho;

Aos meus companheiros de curso, cada um em especial que, com sua alegria foram exemplo de amizade, foram motivação nos momentos de fragilidade.

A minha mãe Salete Orso, e a minha companheira Yasmeene Keiko Homma que me apoiaram a todo o momento

RESUMO

Este trabalho de conclusão do curso aborda um estudo de caso para a avaliação da possibilidade e viabilidade da produção de modelo e um molde produzidos em materiais cerâmicos para a fundição de peças em pequena escala. Buscando a diminuição dos grandes gastos envolvendo os retrabalhos em materiais fundidos, este método mais eficiente chamado de microfusão utilizando de moldes de cerâmica (argila) para obter uma peça melhor-acabada e com menos problemas é uma ótima opção para diminuição destes gastos.

A microfusão é um método de fundição aonde se envolve um modelo inicial feito de cerâmica e após o derretimento do metal, este é despejado nessa cerâmica, fazendo com que a peça tenha um ótimo acabamento, esse processo pode ser melhorado e quando aplicado para pequenas peças pode-se criar um molde cerâmico reutilizável para o processo.

Palavras chaves: microfusão, molde, modelo e viabilização.

ABSTRAT:

This course completion paper addresses a case study for evaluating the feasibility and feasibility of model production and a mold produced in ceramic materials for the casting of small-scale parts. Seeking to reduce large expenditures involving reworking in molten materials, this more efficient method called microfusing using ceramic molds (clay) to obtain a better-finished piece with fewer problems is a great option to reduce these expenses.

Microfusion is a method of casting where an initial model made of ceramic is wrapped and after the metal melts it is poured into this ceramic, making the piece have a great finish, this process can be improved and when applied to small pieces a reusable ceramic mold can be created for the process.

Keywords: microfusion, mold, model and feasibility.

Sumário

1.INTRODUÇÃO	10
2.JUSTIFICATIVA	12
3.PROBLEMA A SER PESQUISADO	12
4.OBJETIVOS	12
4.1 OBJETIVO GERAL	12
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
5. HIPÓTESE	13
6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
6.1 A HISTÓRIA DA FUNDIÇÃO	13
6.1.1 PROCESSO DE FUNDIÇÃO	16
6.1.2 MATERIAIS E PROCESSOS	17
6.1.3 FUNDIÇÃO PASSO-A-PASSO	17
6.1.4 PROCESSOS DE FUNDIÇÃO	18
6.1.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS	20
6.2 AREIA VERDE	20
6.3 PROCESSOS DE FUNDIÇÃO DE MOLDES DE CERÂMICA	23
7. MATERIAIS E MÉTODOS	24
7.1 FABRICAÇÃO DO MODELO	24
7.2 FABRICAÇÃO DO MOLDE	25
7.3 MÉTODO DE ANÁLISE DA UMIDADE DA CERÂMICA E DUREZA	27
8. RESULTADOS E DISCUCÕES	28
8.1 PRODUÇÃO DO MOLDE.....	28
8.2 PRODUÇÃO DO MOLDELO.....	30
8.3 COMPARAÇÃO DE CUSTO	32
9 CONCLUSÃO	37
10. REFERENCIAS	38

LISTA DE FIGURA

FIGURA-1 PASSO A PASSO DA ETAPA DE MOLDAGEM.....	13
FIGURA-2 MOLDE PARTE INFERIOR.....	19
FIGURA-3 MOLDE PARTE SUPERIOR.....	20
FIGURA-4 MOLDE DE AREIA COM DESCAMAÇÃO.....	21
FIGURA-5 MODELO DE ARGILA	22
FIGURA-6 MODELO DE METAL.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Custos dos materiais do modelo de cerâmica.....	23
Tabela 2: Custos do trabalho no modelo de cerâmica.....	24
Tabela 3: Custos dos materiais do modelo metálico.....	24
Tabela 4: Custos do trabalho no modelo metálico.....	24
Tabela 5: Custos do trabalho no molde de cerâmica inferior.....	25
Tabela 6: Custos do trabalho no molde de cerâmica superior.....	26
Tabela 7: Custos do trabalho no molde de areia inferior.....	26
Tabela 8: Custos do trabalho no molde de areia superior.....	26

1.INTRODUÇÃO

A Associação Brasileira de Fundição divulgou os números do setor de fundição no Brasil e segundo apurado pela mesma, no primeiro quadrimestre do ano de 2018 foram fundidas 745.587 toneladas de produto; volume 6% superior ao mesmo período de 2017 e 12% maior do que em 2016. Representando 4,1% do PIB.

Em sua abrangência o Brasil é um país com uma economia gigantesca apresentando como principais meios de renda aos setores agrícola e minerador, isso traz uma procura por peças de reposições de materiais fundidos utilizados nas máquinas destes setores muito grande e entre essas peças estão uma grande variedade de pequenas peças que são item de difícil fundição e padronização. (ABIFA Associação Brasileira de Fundição, 2018)

O processo de fundição utilizando moldes de areia é o mais utilizado industrialmente, não só na produção de peças de aço e ferro fundido, porque os moldes de areia são os que suportam melhor as altas temperaturas de fusão dos metais, como ligas de alumínio, latão, bronze e magnésio. O processo em areia particularmente, a moldagem em areia verde é o mais simples e mais usado nas empresas, e a preparação do molde neste caso, consiste em compactar mecanicamente ou manualmente uma mistura chamada areia de fundição sobre um modelo montado em uma caixa de moldar. Há muitas vantagens neste método de fundição, mas há problemas como, maior erosão quando as peças fundidas são de maior tamanho; menor acabamento superficial e inclusões de gás e areia desprendidos do molde no processo.

Um dos processos alternativos há os moldes em areia são os moldes cerâmicos em um processo chamado de microfusão. A microfusão é um processo ainda em desenvolvimento e seu ramo de aplicação está em constante crescimento, pois é uma forma econômica de se fabricar componentes com excelente precisão dimensional, impecável acabamento superficial e reduzindo ou eliminando operações de usinagem. Este processo pode ser utilizado em uma ampla variedade de ligas e também possibilita a redução do peso das peças e redução dos gastos de fabricação.

.Assim neste trabalho será desenvolvido um estudo do processo de produção de um modelo e um molde feitos de materiais cerâmicos para pequenas

peças fundidas, tendo em vista a melhoria do processo e redução do custo de fabricação dos modelos e moldes.

2.JUSTIFICATIVA

Como no modelo atual de fundição de pequenas peças a um grande número de problemas decorrentes do processo, as empresas desejam achar uma opção para o modelo atual, que seja melhor e diminua os custos de produção.

O método de microfusão é um modelo que pode ser implementado para suprir esse desejo por melhorias. Um método que diminui a quantidade de problemas decorridos na fundição, assim tendo um produto mais barato

3.PROBLEMA A SER PESQUISADO

Obtenção de um modelo e molde de fundição, que seja viável e com um custo baixo para futuras aplicações de peças fundidas.

Para isso devemos determinar quais os materiais serão utilizados como a cerâmica correta, estilo do modelo e molde, propriedades da cerâmica. e forma de preparação do processo

A resistência do molde de cerâmica, o acabamento do molde e a integridade estrutural são os principais problemas a serem resolvidos.

4.OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Produzir um modelo e um molde feitos de materiais cerâmicos para produção de pequenas peças como alternativa para os métodos tradicionais com areia.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

>>> Fabricação de um modelo que resista a várias aplicações em moldes de alta dureza sem perder as medidas padrões.

>>> Colocar lado a lado a comparação de custos do molde e do modelo produzidos com a do método convencional.

>>> Comparar os dados adquiridos com a produção do modelo com o método existente e demonstrar as melhorias adquiridas e também os problemas.

5. HIPÓTESE

Tendo um modelo com menor custo e um molde com várias utilizações pode-se diminuir o custo da produção de algumas peças fundidas consideravelmente.

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

6.1 A HISTÓRIA DA FUNDIÇÃO

Hoje, a fundição de metal é um processo complexo e requer a química exata e execução perfeita. Embora os métodos atuais possam ser relativamente novos quando comparados à história da civilização humana, a primeira fundição de metais pode ser rastreada até por volta de 4.000 aC. Naqueles tempos, o ouro era o primeiro metal a ser moldado por causa de sua maleabilidade, e naquela época, o metal de ferramentas e decoração era reutilizado devido as complicações da obtenção de minério puro. No entanto, um sapo de cobre é o mais antigo elemento existente atualmente conhecido, estima-se que foi feito em 3.200 aC na Mesopotâmia (atual Iraque). O bronze tornou-se então o metal de escolha a ser fundido, devido à sua rigidez em comparação com o ouro e foi derretido e fundido em várias ferramentas e armas por meio de moldes permanentes de pedra. O processo de fundição chegou ao Egito em 2.800 aC, e efetivamente executar esse processo foi tremendamente influente em seu ganho de poder durante a Idade do Bronze. Por volta de 1.300 aC, a Dinastia Shang na China foi a primeira a utilizar a fundição de areia quando o metal é derretido. Então por volta de 500 aC, a dinastia Zhou introduziu ferro fundido no mundo, mas foi usado principalmente para os agricultores. O ferro fundido não se tornou uma ferramenta militar ou de decoração até a dinastia Qin quase 300 anos depois. (DEGARMO, BLACK & KOHSER 2003.)

Avançando quase 1.000 anos, a religião desempenhou um papel importante no avanço e inovação da tecnologia de fundição durante esse período. Evolução extraordinária vieram da construção de catedrais e igrejas, os processos de derretimento e moldagem avançaram rapidamente para acompanhar a demanda da igreja católica. Isso também marcou o limite do período entre o fundido para o propósito da arte e a visualização do fundido como uma tecnologia com potencial desconhecido. Não foi muito tempo depois dos avanços da fundição de sinos que, ironicamente, um monge em Ghent (atual Bélgica) foi o primeiro a lançar um canhão em 1.313 com a mesma tecnologia. Mais de 150 anos após o primeiro canhão, Vannoccio Biringuccio, também conhecido como o pai da indústria de fundição, registrou o primeiro relato escrito de fundição. O trabalho dele, *De Le Pirotechnia*, foi separado em 10 seções que cobriam muitos assuntos, incluindo minerais, ensaios, fundição, ligas, bem como alquimia e é um dos documentos técnicos mais antigos da época da Renascença. (DEGARMO, BLACK & KOHSER 2003.)

Cerca de 200 anos depois que as colônias britânicas foram estabelecidas no Novo Mundo, a primeira instalação de fundição foi iniciada em Saugus, Massachusetts. Essa instalação de fundição, *Saugus Iron Works* foi inaugurada em 1.645 e também se beneficiou de isenção de impostos, juntamente com um monopólio de 20 anos de toda a produção de ferro, cortesia do Tribunal Geral de Massachusetts. Quase 300 anos depois, essa origem da indústria americana de ferro e aço finalmente se tornou um Patrimônio Histórico em 1.968, depois de ter sido um museu privado administrado pelo Instituto de Ferro e Aço por 15 anos. Enquanto o ano exato é contestado, em algum momento entre 1.756 e 1.767 veio a transformação da indústria ferroviária quando Richard Reynolds começou a substituir os trilhos de madeira existentes por trilhos de ferro fundido para o transporte de ferro e carvão em Shropshire, Inglaterra. (CASTING SOCIETY OF AMERICA, 2013).

Por volta desse mesmo período, sete homens com origens de fundição têm suas assinaturas na Declaração de Independência. Entre os mais notáveis fundidores a assinar o documento mais famoso da história, George Taylor foi um mestre de ferro e coronel na milícia da Pensilvânia, começou sua carreira despejando carvão em fornalhas na *Warwick Furnace*, *Rock Run Furnace* e *Coventry Forge* antes de eventualmente possuir *Durham Iron Works*. Sua empresa foi a primeira fornecedora de munições para o Exército Continental, produzindo

balas de uva, balas de canhão, tiro em barra e canhões. George Ross também assinou a Declaração de Independência e tinha laços significativos com a indústria do ferro. A empresa de Ross foi responsável pela construção de muitos fornos e forjas, incluindo *Mary Ann Furnace* e *Spring Forge*. Adicionando ao seu currículo, Ross também era coronel do Exército Continental e juiz da Corte do Almirantado da Pensilvânia, onde a questão dos direitos do Estado se tornou um ponto focal para o país recém-estabelecido. Além de sua contribuição para a indústria siderúrgica e independência da América, o filho de Ross se casou com Betsy Griscom, que mais tarde foi conhecida por fazer a primeira bandeira americana. Pouco depois de 1.776, a fundição centrífuga tornou-se a mais recente inovação para a indústria de fundição. Embora a ideia geral de utilizar forças centrífugas para produzir peças fundidas já fosse conhecida há algum tempo, a *AG Eckhardt* obteve uma patente em 1.809, que revelou a física e os benefícios desse novo processo. Menos de uma década depois, o *Mount Joy Forge*, mais tarde conhecido apenas como *Valley Forge*, foi o primeiro a produzir aço fundido na América. Além dos negócios de George Taylor e George Ross, bem como da produção de aço em *Valley Forge*, a Pensilvânia tem sido o lar de muitas inovações no trabalho com metal, não apenas na América, mas em todo o mundo. Este sentimento continuou a ser provado verdadeiro em 1.837; a *S. Jarvis Adams Co.* desenvolveu a primeira máquina de moldagem para ser comercialmente disponível nos mercados..(CASTING SOCIETY OF AMERICA, 2013).

O século vinte foi palco para a explosão de tecnologia e processos de fundição nos quais os métodos mais modernos são baseados. Sete anos após o fim da Primeira Guerra Mundial, a tecnologia de raios-x foi usada pela primeira vez para determinar a qualidade de um fundido. Depois desse avanço, todas as fundições feitas para aeronaves militares foram obrigadas a passar por tais inspeções para serem aceitas. A próxima grande inovação para o mundo da fundição veio meio século depois, quando a *ESCO Corp.* foi a primeira fundição de aço a produzir ligas através do processo de descarbonetação de oxigênio argônio em 1.973. Até aquele momento da história, não havia ampla disponibilidade de método para simular moldes de solidificação ou preenchimento de metais até que programas como o *MAGMA-soft*, *ProCast* e *Flow3D* surgiram no mercado como soluções de simulação de moldes nos anos 80. (DEGARMO, BLACK & KOHSER 2003.)

No início dos anos 80, a *MetalTek International* foi pioneira em um novo processo chamado modelagem *near-net*, que combina várias tecnologias de modelagem, como fundição em areia e fundição de injeção, com o processo centrífugo de alta integridade para maximizar os benefícios de cada um. A modelagem em rede pode ser facilmente adicionada perfis OD (*Computational Fluid Dynamics*) a componentes fundidos por centrifugação através do uso de moldes de areia, cerâmica ou grafite dividido. A verdadeira modelagem da rede nos níveis de investimento do detalhe de OD pode ser adicionada empregando a tecnologia proprietária de modelagem de rede da *MetalTek* e ferramentas especiais. Além do custo reduzido devido à economia, devido à redução do uso de metal, a modelagem quase líquida e a fundição centrífuga modeladora de rede permitem um controle de qualidade mais rigoroso, especialmente em aplicações onde o comportamento de solidificação da liga é um problema. Finalmente, desde que a modelagem é moldada versus usinada, os clientes percebem uma economia nos custos de usinagem. (DEGARMO E COLABORADORES, 2003).

6.1.1 PROCESSO DE FUNDIÇÃO

A fundição é o processo pelo qual os metais ou ligas metálicas em estado líquido (fundido) são vazadas em um molde para a fabricação dos mais variados tipos de peças, objetos decorativos, joias/bijuterias, carcaças de máquinas, lingotes e outros. Em muitos casos, a fundição é o processo mais simples e econômico de se produzir uma peça, principalmente quando esta é de grande porte, de geometria intrincada ou com canais internos e cavidades. (PONTES, 2012)

A fundição pode dar origem a peças acabadas, já em seu formato final, ou não. Nesse caso, elas podem passar por processos de conformação mecânica (por exemplo, forja), ajustes dimensionais, soldagem ou usinagem (para peças que serão usinadas é comum deixar um sobremetal). Mas, de modo geral, as peças fundidas passam por processos de acabamento como corte de canais, usinagem e rebarbação. Quando necessário, as peças também podem passar por tratamento

térmico para conferir maior resistência já que as peças fundidas apresentam menor resistência mecânica do que as peças produzidas por processos de conformação. (PONTES, 2012)

6.1.2 MATERIAIS E PROCESSOS

Geralmente os materiais utilizados para fundição são sintéticos(plásticos) e metais . Antes de se ter a fusão do material é necessária a confecção do molde, que consiste basicamente em um componente com a função de receber o produto líquido e com a forma desejada estampada, e transformar por solidificação o metal líquido na peça moldada que serviu de base para a sua solidificação. (Processos de fundição, IFSC, 2015)

A fusão ocorre pelo aquecimento da matéria-prima até o ponto de liquefação. Que após liquefeita será escoada ou injetada, em um denominado molde com seu formato desejado. Quando resfriada, a matéria-prima solidifica tomando a forma do molde. (Processos de fundição, IFSC, 2015)

O processo mais utilizado ainda para a confecção do molde convencional é em areia de fundição ou terras especiais. Tais materiais são refratários e abundante na natureza, os mais usados são a areia, gesso, cimento e substâncias cerâmicas.

Quando misturados com um aglutinante de areia ou argila, o molde adquirem uma moldabilidade e uniforme , sem perder a permeabilidade para que permita a evacuação dos gases no momento do vazamento do material. Os materiais utilizados na produção de moldes podem ser recuperáveis ou perecíveis metálicos ou não-metálicos (PROCESSOS DE FUNDIÇÃO, IFSC, 2015).

6.1.3 FUNDIÇÃO PASSO-A-PASSO

As matérias-primas metálicas para a produção de peças fundidas é constituída pelas ligas não-ferrosas e metálicas ferrosas. O processo de produção destas peças pode ser resumido nas seguintes operações:

Produção do modelo – Se constrói um modelo com a forma da peça desejada para a fundição. Este modelo vai servir para a preparação do molde e suas especificações devem prever a retração do metal quando ele se resfria e solidifica

bem como um eventual sobremetal para posteriores trabalhos na peça. Sendo produzido em madeira, alumínio, aço, resina plástica ou até isopor. (KALPAKJIAN, SEROPE; SCHMID & STEVEN 2006).

Produção do molde - O molde é o objeto no qual o metal fundido é despejado para que se tenha o formato de peça desejado. Ele geralmente é feito em material refratário composto de areia, cerâmica, etc. Esse material é despejado sobre o modelo que, quando retirado, deixa com o formato da peça a ser fundida. (KALPAKJIAN, SEROPE; SCHMID & STEVEN 2006).

Fusão - Procedimento em que acontece a liquefação do material desejado. (KALPAKJIAN, SEROPE; SCHMID & STEVEN 2006).

Vazamento - O enchimento do molde com material líquido. (KALPAKJIAN, SEROPE; SCHMID & STEVEN 2006).

Desmoldagem - Após determinado período de tempo em que a peça se solidifica dentro do molde, e que depende do tipo de peça, do tipo de molde e do metal (ou liga metálica), ela é retirada do molde (desmoldagem) manualmente ou por processos mecânicos. (KALPAKJIAN, SEROPE; SCHMID & STEVEN 2006).

Rebarbação - A rebarbação é a retirada dos canais de alimentação, massalotes e rebarbas que se formam durante a fundição. Ela é realizada quando a peça atinge temperaturas próximas às do ambiente. (KALPAKJIAN, SEROPE; SCHMID & STEVEN 2006).

Limpeza - A limpeza é necessária porque a peça apresenta uma série de incrustações da areia usada na confecção do molde. Geralmente ela é feita por meio de jatos abrasivos. (KALPAKJIAN, SEROPE; SCHMID & STEVEN 2006).

Essa sequência de etapas é a que normalmente é seguida no processo de fundição por gravidade em areia, que é o mais utilizado. Um exemplo bem comum de produto fabricado por esse processo é o bloco dos motores de automóveis e caminhões.

6.1.4 PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Os principais processos de fundição utilizados na indústria de fabricação são os seguintes:

Fundição de areia

A fundição de areia é normalmente utilizada para a produção de grandes peças, preenchendo um metal fundido na cavidade do molde que foi moldada a partir de areia natural ou sintética. A cavidade é criada pela utilização de um padrão, geralmente feito de madeira ou metal que é da mesma forma e dimensões que a parte real. O padrão é preparado ligeiramente sobre dimensionado pelo qual a cavidade também é um pouco maior e compensa a contração do metal fundido durante o resfriamento. A superfície das peças fundidas de areia é normalmente áspera com impurezas superficiais para as quais é incluído um subsídio de usinagem. (BLAIR, MALCOLM; STEVENS, THOMAS L. 1995)

Fundição de molde

Neste processo, o metal é forçado no molde a uma alta pressão que garante a produção de peças idênticas, um melhor acabamento superficial e uma maior precisão dimensional. Algumas peças mesmo produzidas por fundição, não requerem usinagem após a fundição, ou podem exigir apenas uma usinagem leve para atingir as dimensões desejadas. Os defeitos de porosidade são encontrados com maior frequência em fundições grandes por causa do ar aprisionado e a solidificação da massa fundida antes de atingir os limites da cavidade. Peças com uma espessura de parede uniforme podem ser produzidas com mais precisão por fundição. Os moldes de fundição sob pressão são caros, uma vez que estes são feitos de aço endurecido e porque é necessária uma duração mais longa para a produção. (BLAIR, MALCOLM; STEVENS, THOMAS L. 1995)

Fundição centrífuga

Esta é uma técnica de fundição que possui uma extensa gama de aplicações industriais, incluindo a moldagem de acessórios de máquinas onde a durabilidade do produto acabado é importante. Os tubos de imagem de televisão, objetos de vidro esférico, tubos, volantes e caldeiras também são produzidos por fundição centrífuga. À medida que o metal fundido é vertido, um molde permanente gira a altas velocidades em torno de seu eixo. O metal fundido move-se em direção às paredes do molde devido à força centrífuga, solidifica após o resfriamento, produzindo uma parte fina. O diâmetro externo da fundição possui grãos finos e é resistente à corrosão atmosférica. (ELANCHEZHIAN. RAMNATH & B. VIJAYA 2006)

Fundição por cera

A fundição por cera é um processo de fabricação antigo usado para metais que são difíceis de serem usinados ou fabricados. Também é usado para a

fabricação de peças que não podem ser formadas por técnicas de fabricação usuais, como turbinas ou componentes de avião sujeitos a altas temperaturas. Este processo proporciona uma excelente precisão dimensional e acabamento superficial. O padrão é feito de cera ou outra substância que é derretida, deixando para trás uma cavidade que é preenchida com o material da peça que está sendo produzida. (ELANCHEZHIAN. RAMNATH & B. VIJAYA 2006)

Fundição por molde de cerâmica

A fundição com molde de cerâmica é um processo de fabricação utilizado para a criação de ferramentas e peças, tais como turbinas. O processo de molde cerâmico pode utilizar materiais tais como o bronze ou o aço inoxidável. A fundição em molde de cerâmica é um processo que é semelhante a fundição em molde de gesso. As peças moldadas nestes tipos de moldes permanentes são o plástico, madeira, gesso, borracha ou metal, ou seja, são utilizados como parte do processo de fundição em moldes cerâmicos, que tendem a ser descartáveis. (PONTES, 2012)

6.1.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A sua principal vantagem da fundição é obter de maneira económica, peças de geometria complexa. As fundições podem ser de materiais ferrosos ou não ferrosos, um processo de fabricação inicial, porque permite a obtenção de peças com formas praticamente definitivas, com mínimas limitações de tamanho, formato e complexidade, e também é o processo pelo qual se fabricam os lingotes. É a partir do lingote que se realizam os processos de conformação mecânica para a obtenção de chapas, placas, perfis, etc. (JIANSHE ROAD, BORUI, 2010)

O processo de fundição aplica-se a vários tipos de metais, tais como aços, ferros fundidos, alumínio, cobre, zinco, magnésio e respetivas ligas. Porém existem também desvantagens. Os aços fundidos, por exemplo, podem apresentar elevadas tensões, inclusões residuais, microporosidade, enfezamento e variações de tamanho de grão. Tais fatores resultam em menor resistência e ductilidade, quando comparados aos aços obtidos por outros processos de fabricação como conformação a quente. (JIANSHE ROAD& BORUI, 2010)).

6.2 AREIA VERDE

Existem muitos processos de fundição com molde de areia (aglomerada com cimento; com resinas de cura a frio; com resinas de cura a quente; com silicato de sódio, etc.), mas o mais conhecido e empregado é a fundição em areia verde. (CALLISTER W. D 2012)

É chamado de areia verde porque a mistura mantém sua umidade original, ou seja, o molde formado pela mistura não passa por processo de secagem. A composição do agregado granular refratário (molde) é feita por areia-base que pode ser sílica (SiO_2), cromita ou zirconita, mais argila (como aglomerante) e água. (CALLISTER W. D 2012)

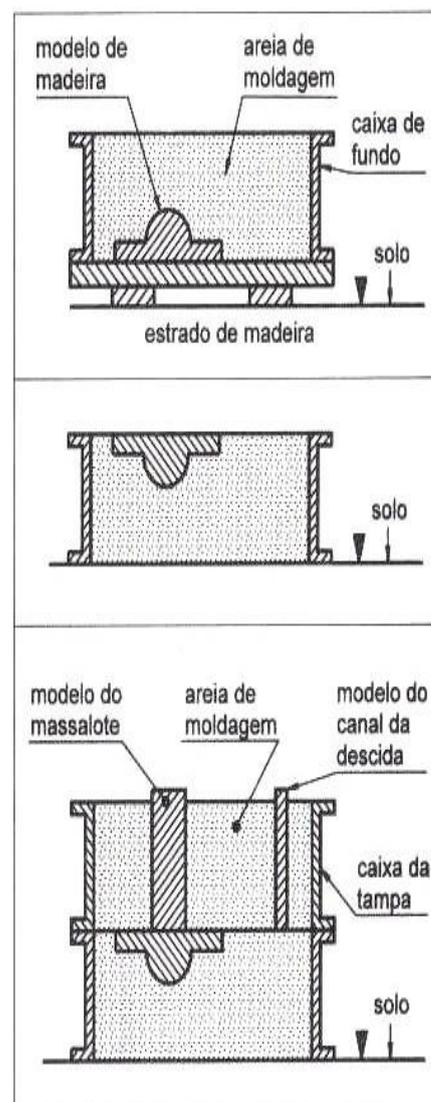
Os moldes são preparados compactando a mistura de areia numa caixa sobre um modelo com formato da peça a ser fundida. Tal processo pode ser mecanizável, sendo realizado por máquinas automáticas. Preparado o molde, o metal é vazado e as peças são desmoldadas durante rápidos ciclos de produção. Após a utilização, praticamente toda a areia (98%) pode ser reutilizada. (CALLISTER W. D 2012)

Etapas da moldagem

1. A caixa de moldar é colocada sobre uma placa de madeira ou no chão. O modelo, coberto com talco ou grafite para evitar aderência da areia, é colocado no fundo da caixa. A areia é compactada sobre o modelo manualmente ou com o auxílio de marteletes automáticos.

2. Essa caixa, chamada de caixa-fundo, é virada de modo que o modelo fique para cima.

3. Outra caixa de moldar, chamada de caixa-tampa, é posta sobre a primeira caixa. Em seu interior são colocados o massalote e o canal de descida.



4. O canal de descida e o massalote são retirados e as caixas são separadas.

5. Abre-se o copo de vazamento na caixa-tampa.

6. Abre-se o canal de distribuição e canal de entrada na caixa-fundo e retira-se o modelo.

7. Se há machos, são colocados nesta etapa. Coloca-se a caixa de cima sobre a caixa de baixo. Para prender uma na outra, usam-se presilhas ou grampos.

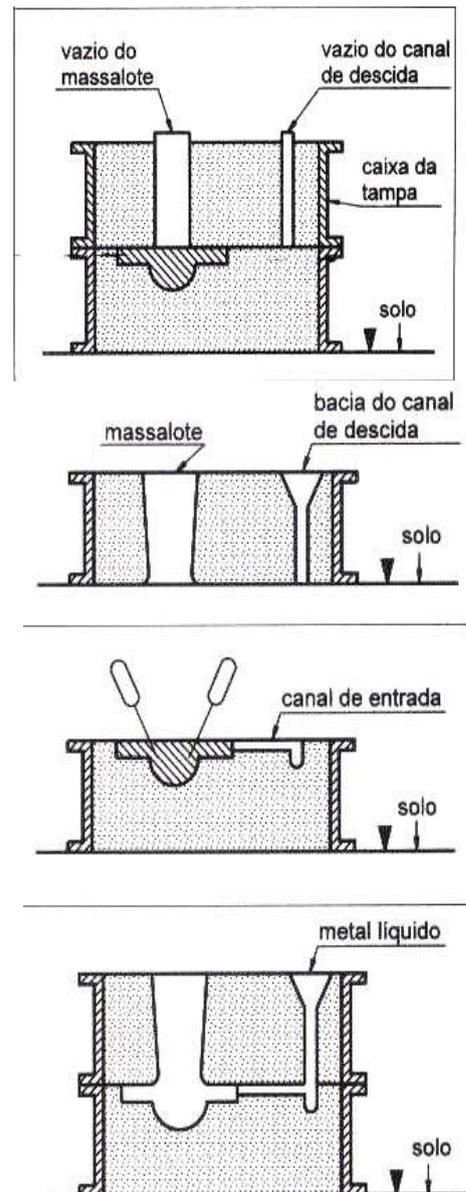


Figura 1- Passo a passo da etapa de moldagem

Depois disso, o metal é vazado e após a solidificação e o resfriamento, a peça é desmoldada, com o canal e o massalote retirados. Obtém-se, assim, a peça fundida que depois é limpa e rebarbada.

As vantagens do processo são:

Tem o mais baixo custo dentre todos os métodos;

Facilidade de reparo dos moldes;

Equipamentos mais simples.

As desvantagens são:

A areia natural é normalmente heterogênea, ou seja, sua composição varia para cada parte, influenciando na qualidade das peças;

Acabamento superficial inferior;

Dimensionamento irregular.

Inclusões de material não desejado.

6.3 PROCESSOS DE FUNDIÇÃO DE MOLDES DE CERÂMICA

A fundição em molde de cerâmica é um método de produção para peças e ferramentas precisas. O método que utiliza o molde de cerâmica pode usar também materiais como bronze ou alguns aços. Este método em molde de cerâmica tem o processo semelhante ao do molde de gesso. (PONTES, 2012)

A sua etapa inicial do processo de fundição pelo molde de cerâmica é o despejo da cerâmica sobre o modelo da peça. Esta cerâmica endurece sobre o modelo. O processo de endurecimento é relativo dependendo do método desejado podendo ser rápido ou demorando. Quando é removido do modelo, está pronta e com o formato ideal para fundir a ferramenta ou peça que está sendo fundido. (PONTES, 2012)

Para preparar o molde depois de estampado ele deve ser colocado em um forno a uma temperatura controlada para remover a água e impurezas da cerâmica. Uma vez assim que os voláteis sejam removidos, o molde deve ser queimado em um forno a alta temperatura. (PONTES, 2012)

O forno deve ser ajustado entre 700°C e 900°C que endurece o molde queima a sílica e transforma a argila em cerâmica, tornando um molde de cerâmica. (PONTES, 2012)

O material ou liga metálica desejada para a criação de ferramentas ou peça pode ser vazada no molde, pois ele pode sustentar a altas temperaturas. O molde pode ser usado enquanto estiver quente ou quem estiver o usando pode esperar que ele esfrie primeiro. (PONTES, 2012)

Fundição em molde de cerâmica tem vantagens e desvantagens. Uma das principais desvantagens é que é um processo muito caro. Por outro lado, o processo pode eliminar a necessidade de processos secundários que exijam que as máquinas terminem ou refinem o processo. Mesmo sendo um processo muito caro, a fundição

em molde de cerâmica oferece vários benefícios, que incluem a criação de peças com detalhes finos. Este tipo de moldagem também pode criar superfícies muito lisas. A dimensão das ferramentas ou itens criados a partir da fundição também é muito precisa quando se trata do tamanho, forma e dimensões. (PONTES, 2012)

Os materiais primários utilizados na fundição de moldes cerâmicos incluem aço, aço inoxidável e bronze. Os tipos mais comuns de peças criadas a partir desse processo incluem ferramentas de corte complexas, impulsores, peças de precisão, ferramentas de corte complexas e ferramentas de moldes de plástico. (PONTES, 2012)

7. MATERIAIS E MÉTODOS

7.1 FABRICAÇÃO DO MODELO

O modelo foi feito com cerâmica (argila) da marca Catarinense proveniente de Santa Catarina. Para a confecção do modelo foi utilizado como base uma mine roda motriz.

Foi feito um desenho prévio da peça para depois calcular o volume dela. Utilizando a fórmula abaixo chega-se a um volume total de 1,9907 kg como demonstrado no anexo A utilizando os cálculos de CHAMOT, (2002) como referência. (medias exposta no anexo)

$$A = \pi * r^2 * H$$

Utilizando uma base de madeira de pinos com o desenho previamente feito nela foi posto a cerâmica umedecida sobre ela e sendo moldada na forma do desenho tendo sua altura regularmente medida com um parquímetro Vonder 1/5. Para atingir a medida ideal deixando uma margem para acabamentos futuros. Quando pronta ainda um pouco fora de medidas, foi posta para secar por 10 dias(devido ao clima úmido demorou mais que o previsto, em dias quentes e com baixa umidade esse tempo varia de 2 a 3 dias) e após esse tempo peça foi ao forno para a queima da cerâmica que ocorreu a 350°C por 2 horas, tendo 1 dia de descanso para a peça aliviar as tensões internas gerada pelos gases decorrentes do processo.

Após este tempo de descanso a peça foi posta sobre um suporte de madeira e lixado com uma lixa 340 da marca 3M e uma lima para cerâmicas e com o acabamento gerado pelo lixamento do modelo que feito anteriormente com um dimensionamento maior já para este acabamento, assim um modelo de dimensões aceitável produzida, para que seja perfeitamente estampada em seu futuro molde.

Com o modelo pronto e seco ele foi pintado com tinta laranja marca Coral impermeabilizante e deixando para secar por 3 horas, após este período foram feitos retoques e depois de mais um período de secagem da tinta foi feito o teste de permeabilidade, colocando o modelo em um recipiente com água suficiente para cobri-lo e ali deixado por 1 minuto, após esse período foi observado se havia alguma área da peça úmida e por último com um teste de rugosidade utilizando o medidor de rugosidade SRT-6223 Digital Surface Profile Gauge Roughness Tester.

7.2 FABRICAÇÃO DO MOLDE

O molde será dividido em duas partes a inferior ou fêmea, a qual terá a maior parte do formato da peça que será moldada e também o maior volume de cerâmica devido a maiores cargas exercidas sobre ela.

A parte superior ou macho apenas terá a face da peça moldada e suportará os canais de alimentação que não apresentarão grandes dimensões, e por isso a peça não precisará suportar grandes esforços.

O volume do material cerâmico (argila) utilizado para o preparo da parte inferior foi calculado e obteve-se o resultado de 7,1 KG através dos cálculos demonstrados no anexo B (medias exposta no anexo)

$$VF = (\pi * r^2 * H) - VP$$

$$PF = VF * \rho$$

Assim que conhecido a quantidade de cerâmica utilizada para a produção do molde foi comprada a cerâmica (argila) da marca Catarinense proveniente de Santa Catarina. Assim que com toda a cerâmica em mãos ela foi umedecida até o ponto em que estivesse bem maleável mas que ainda suporte uma

força para que não se desmanche futuramente sobre seu próprio peso, após isso ela foi despejada em uma caixa plástica até preencher o recipiente(a altura é de 4 cm), após coloca-se o modelo sobre este molde assim formando a estampagem nele com o formato desejado.

Assim que estampado o modelo é retirado do molde, a cavidade é medida com o mesmo parquímetro descrito anteriormente para checar as medidas, assim dando um acabamento final com um palito.

Após o acabamento final a peça foi retirada do recipiente e colocada em um suporte de madeira ali ela secou a temperatura ambiente na sombra por 5 dias, e após foi ao forno a uma temperatura de 350°C por 3 horas para que toda a água fosse eliminada do molde, após a queima ele resfriou lentamente e descansou por 2 dias em temperatura ambiente sem manuseios para que as pressões internas exercidas pelos gases gerados fosse eliminada.

O volume de cerâmica utilizado para o preparo da parte superior fora calculado e obteve-se o resultado de 6,76 KG através dos cálculos assim como demonstrado no anexo C.

$$VF = (\pi * r^2 * H) - VP$$

$$PF = VF. \rho$$

No mesmo método que o molde antigo, tudo desdá marca de cerâmica e materiais utilizados são os mesmos. Quando toda a cerâmica estivera úmida e no ponto ideal para ser moldada ela foi posta no mesmo recipiente plástico que a femea, e assim que preenchido até a altura de 3 cm ele foi plainado para que ficasse o mais plano possível, retirando qualquer partícula que desnivele a peça. Assim que pronta e lisa foi aberto os canais dos massalotes com o volume apresentado no anexo D.

Após acabada ela foi posta em um recipiente de madeira igual ao utilizado para a parte inferior, ali ela secou por 4 dias em temperatura ambiente na sombra e após foi ao forno por 3 horas a 350°C, assim que terminada a queima do molde ele descansou por 2 dias para liberar as tensões exercidas pela liberação dos gases internos.

Assim que as duas partes estavam prontas foi verificado a existência de

qualquer imperfeição na peça como trinca, desnível, cavidades e lascas. As imperfeições foram corrigidas com a mesma cerâmica utilizada no processo e com ajuda de uma cola siliconada para fundidos GUNFIX SN-250 de secagem rápida. Após corrigidos estes problemas foi dado 1 dia para a secagem completa dos materiais. Quando tudo seco e pronto o molde foi por último feito um teste de rugosidade utilizando o medidor de rugosidade SRT-6223 em ambas as partes e após fechado e estava pronto o molde.

7.3 MÉTODO DE ANÁLISE DA UMIDADE DA CERÂMICA E DUREZA

Para a avaliação da umidade interna da peça foi raspada em uma das laterais do molde até se obter aproximadamente 50 g, foi utilizado uma lixa 340 da marca 3M para obter este material, e pesada em uma balança de precisão SF 400. Essa amostra foi colocada em um Becker de vidro de 100 ml e deixado em uma máquina de secagem indtemp 100 aonde efetuou a secagem por 12 minutos. Após a secagem o material lixado foi pesado novamente e a quantidade de umidade presente nele foi obtida pela seguinte fórmula retirada de (MIRANDA, 2003)

$$U = \left(\left(-\frac{pf}{pi} \right) + 1 \right) * 100$$

Para medir a dureza foi pega uma amostra do material feita separadamente com dimensões de $10mm^3$, a medição de dureza foi efetuada em um DURÔMETRO VICKERS aonde com uma ponteira de diamante foi feita a medida.

8. RESULTADOS E DISCUCÕES

8.1 PRODUÇÃO DO MOLDE

O molde inferior teve um aproveitamento final satisfatório, o acabamento superficial ficou com uma rugosidade mínima de 0,010mm, e com detalhamentos idênticos ao da peça quanto ao dimensional da estampagem, ela teve todas as médias perfeitamente aderidas ao material tornando um molde com uma ótima precisão dimensional e com a ótima resistência da cerâmica ao calor esse molde resiste a aplicação do metal sem perder as dimensões, assim sendo reutilizável. O único imprevisto foi sobre o transporte do molde que teve uma rachadura lateral quando um pequeno acidente o fez sofrer um impacto na região da rachadura.



FIGURA-2 MOLDE PARTE INFERIOR

O molde superior não apresentou nenhum problema tendo o acabamento superficial muito bom, com rugosidade inferior a outra parte do molde e uma boa resistência. Lembremos que essa parte do molde tem a face plana, então ela apresenta uma dificuldade de trabalho muito baixa comparando a com a parte inferior e com a ótima resistência da cerâmica ao calor esse molde resiste a aplicação do metal sem perder as dimensões sendo reutilizável. Seu peso influencia diretamente na parte inferior pois ela suporta todo o peso do metal e desta parte do molde, devido a isso o tamanho do suporte inferior teve de ser aumentado, mas em comparação com o molde de areia ele ainda tem menores dimensões.



FIGURA-3 MOLDE PARTE SUPERIOR

O molde em areia apresenta uma rugosidade maior (variando de 1mm a 0,5mm) e com algumas imperfeições no detalhamento da peça, já a resina tende a encolher um pouco quando solidificada isso altera um pouco o dimensional da peça

o que não ocorre com o molde de cerâmica e tendo um processo repetitivo como no caso da areia, o modelo sofre muito mais com a estampagem rotineira em um molde muito abrasivo e duro.



FIGURA-4 MOLDE DE AREIA COM DESCAMAÇÃO

8.2 PRODUÇÃO DO MOLDELO

O modelo teve um ótimo comportamento no geral, ela suportou perfeitamente a aplicação no molde não tendo variado em nada as dimensões após a aplicação, não teve nenhuma umidificação do modelo, a tinta não sofreu nenhuma escamação e não aderiu a cerâmica molhada quando aplicado um simples desmoldante em pó. Sua rugosidade superficial está muito boa, com uma média de 0,05mm, apresentando apenas uma ondulação maior devido uma pintura escorrida que não chegou a afetar a peça quando fundida, o modelo apresenta a dureza de 80 Hz (375 MPA) de força, e mesmo com essa alta dureza ela ainda ficou uma peça razoavelmente resistente devido a camada de tinta que absorve impactos, por isso o modelo não sofre nenhuma mudança de dimensionamento quando aplicado no molde de cerâmica.

O único problema decorrido foi que como a uma peça tem medidas muito precisas e a produção foi manual as dimensões do modelo não ficaram totalmente fiel a peça original, mas em uma produção industrial não seria recomendado uma produção manual como em todos os modelos normalmente usadas.



FIGURA 5- MODELO DE CERÂMICA

Comparando com o modelo feito de metal, ele apresenta um tempo de produção muito inferior em tempo de trabalho em trabalho homem e maquina, uma dificuldade de produção muito menor que se comparado com o modelo metálico devido a sua fácil moldabilidade quando macia e um custo extremamente mais baixo sendo dezenas de vezes mais econômica e apresentado abaixo, o único expecto negativo é que o modelo cerâmico é mais frágil que o modelo metálico que resiste a a grandes pancadas, como a cerâmica tem uma dureza muito elevada a sua resistência se tornar mais baixa, fazendo ela frágil contra impactos assim como o ocorrido com a parte inferior do molde já descrito acima. Mas se ela for bem armazenada e utilizada com os devidos cuidados a sua vida útil pode ser muito elevada, chegando a um quarto da vida do modelo metálico apenas com simples manutenções.



FIGURA 6- MODELO DE METAL

8.3 COMPARAÇÃO DE CUSTO

O modelo feito em cerâmica foi um dos grandes impactos positivos na realização deste projeto, tendo apresentado um valor muito baixo quando se comparado com modelos hoje utilizados em fundições, feitos de metais ou madeiras. Os valores para a confecção do modelo de cerâmica foram:

Tabela 1: Custos dos materiais do modelo de cerâmica

Material	Quantidade	Custo
Argila	2 kg	R\$5,00
Madeira	188,4cm ³	R\$10,00
Tinta	200ml	R\$7,50
Equipamento especial	1 Unidade	R\$15,00
Lixas	2 Unidades	R\$2,00

Estes foram os materiais com preços fixos, sendo que alguns puderam ser reutilizados, mas além destes custos nós também temos os de valores variados e eles são

Tabela 2: Custos do trabalho no modelo de cerâmica

Trabalhos	Tempo	Custo médio
Produção do modelo	3 Horas	R\$ 36,73
Queima	2 Horas	R\$ 3,00
pintura	30 Minutos	R\$ 6,12

OBS: a hora trabalho manual utilizada foi de R\$ 12,24 a hora. E na queima contabilizado apenas o custo de energia.

Com todos os custos somados nós temos que o modelo em cerâmica teve um custo total de R\$85,35, incluído neste valor a um total de R\$25,00 em materiais reutilizáveis.

Os modelos em metais têm um trabalho muito mais minucioso sobre eles, tendo a utilização de máquinas de grande custo para que consigam trabalhar sobre o material duro e mesmo assim com uma precisão milimétrica em detalhamentos e que façam mínimos detalhes assim elevando muito o custo final do modelo. Os valores abaixo são capitados da produção base de um modelo na empresa Minusa.

Tabela 3: Custos dos materiais do modelo metálico

Material	Quantidade	Custo
Chapa de alumínio 2'	1 m ²	R\$ 750,00
Chapa de aço 8640 1,12'	0,5 m ²	R\$ 150,00
Massa Epóxi Plasteel Cerâmico	1kg	R\$ 600,00

Estes foram os materiais com preços fixos, alguns puderam ser reutilizados, mas além destes custos nós também temos os de valores variados e eles são

Tabela 4: Custos do trabalho no modelo metálico

Trabalhos	Tempo	Custo médio
Adequação das chapas	3 Horas	R\$ 146,36
Eleto usinagem	4 Horas	R\$ 1260,00
Acabamento superficial	3 Horas	R\$ 36,73
Encaixe das partes	30 Minutos	R\$ 6,12
Preparação dos canais	1 Horas	R\$ 49,52

OBS: A hora trabalho manual utilizada foi de R\$ 12,24 a hora e na queima contabilizado apenas o custo de energia.

A adequação das chapas e preparação dos canais tem um custo hora de R\$ 36,6 a hora fora o custo homem.

Com todos os custos somados se tem que o modelo em metal teve um custo de R\$2998,73.

O custo final do modelo de metal foi de R\$2998,73 sendo exponencialmente mais caro se comparado com o modelo de cerâmica que custou no total R\$85,35. O modelo de material cerâmico ficou cerca de 35 vezes mais barato, mas como a expectativa de utilizações de aproximadamente 25% da vida útil se comparado com o modelo metálico se tem um ganho de 875% no custo total para a produção final.

Molde parte inferior ou fêmea feito em cerâmica:

O molde feito em cerâmica teve alguns dos materiais reaproveitados dos utilizados para a fabricação do modelo. Tendo isso em mente os itens utilizados especialmente para esta parte foram:

Tabela 5: Custos do trabalho no molde de cerâmica inferior

Materiais	Quantidade	Custo
Argila	7 kg	R\$ 12,50
Caixa plástica	1 unidade	R\$ 10,00
Insulfilme	1m ²	R\$ 2,50
Produção do molde	1 horas	R\$ 12,24
Queima	2 horas	R\$ 3,00

OBS: A hora trabalho manual utilizada foi de R\$ 12,24 a hora e na queima contabilizado apenas o custo de energia.

Com todos os custos somados nós temos que a parte inferior do molde custou exatos R\$40,24.

Parte superior ou macho feito em cerâmica:

Tabela 6: Custos do trabalho no molde de cerâmica superior

Materiais	Quantidade	Custo
Argila	7 kg	R\$ 12,50
Insulfilme	1 m ³	R\$ 2,50
Produção do molde	1 horas	R\$ 12,24
Queima	2 horas	R\$ 3,00

Com todos os custos somados nós temos que a parte inferior do molde custou exatos R\$30,24.

Molde parte inferior ou fêmea feito em areia:

O molde feito em areia tem um bom comportamento ao receber o metal líquido, mas ele não tem a resistência necessária para ser 100% integro ao receber o material fundido tendendo a descamar ou ter pequenas quebras, tem uma preparação mais rápida, mas acabamento superficial pior além de ser descartável. Os valores abaixo são capitados da produção base de um molde na empresa Minusa.

Tabela 7: custos do trabalho no molde de areia inferior

Materiais	Quantidade	Custo
Areia de fundição	10kg	R\$ 8,50
Pep-Set	100 ml	R\$ 0,15
Oxido de ferro em pó	1 kg	R\$ 2,50
Trabalho homem	20 Minutos	R\$ 4,08

OBS: A hora trabalho manual utilizada foi de R\$ 12,24 a hora e na queima contabilizado apenas o custo de energia.

Com todos os custos somados nós temos que a parte inferior do molde custou exatos R\$15,23. O tempo de trabalho homem foi somado com o tempo de trabalho do macho do molde pois eles se intercalam no processo.

Parte superior ou macho feito em areia.

Tabela 8: Custos do trabalho no molde de areia superior

Materiais	Quantidade	Custo
Areia de fundição	8kg	R\$ 6,80
Pep-Set	100 ml	R\$ 0,15
Oxido de ferro em pó	1 kg	R\$ 2,50

Com todos os custos somados nós temos que a parte inferior do molde custou exatos R\$ 9,45 reais.

O custo final do molde em areia descartável foi de R\$ 24,68 sendo mais barato inicialmente se comparado com o molde de cerâmica que custou no total R\$70,48. O molde cerâmico ficou cerca de 2,8 vezes mais caro, mas como a expectativa de utilizações do molde de cerâmica é superior a 5 vezes se tem um ganho de 44% no custo total para a produção.

9 CONCLUSÃO

Mesmo com todas as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho, a utilização de material cerâmico se apresentou como uma ótima opção para a substituição da areia na fundição de pequenas peças, tendo um custo inferior e com um acabamento superficial melhor se comparado com o molde em areia.

O molde teve um comportamento ótimo ao aderir o formato da peça, e suportou bem todos os processos, mas demonstrou uma fragilidade para com pequenos acidentes ocorridos em seu deslocamento. Esta fragilidade já era esperada para um molde feito de cerâmica, mas mesmo com este imprevisto se obteve uma diminuição de custos muito considerável chegando a 44%, mas com pequenas mudanças no dimensional podemos diminuir a fragilidade e aumentar a durabilidade melhorando esses ganhos.

O modelo foi a grande vitória encontrada neste trabalho, tendo se saído perfeitamente em quase todos os testes, e mesmo tendo uma vida útil de aproximadamente um quarto se comparada a com o modelo metálico a diminuição de custos chega a 875% podendo ser mutualmente aumentada se comparamos também os custos de manutenções futuras.

A utilização do modelo e do molde demonstram uma boa diminuição de gastos e melhoramento do processo, mas devemos ter mais estudos sobre a área para que uma possível utilização seja realmente viável uma produção sem nenhum imprevisto, mas obtemos uma bela demonstração que este método pode ser muito eficiente e barato para a fundição de pequenas peças.

10. REFERENCIAS

- Blair, Malcolm; Stevens, Thomas L. (1995). Steel Castings Handbook. Steel Founders' Society of America. p. 13-13. ISBN 978-0-87170-556-3.
- Callister W. D. – Ciência e Engenharia de Materiais:, 5.ed.,LTC 2002
- Metal Casting Techniques - Ceramic Molding , archived from the original on 2007-10-25, retrieved 2010-12-15.
- Custompart, Permanent Mold Casting, <https://www.custompartnet.com/wu/permanent-mold-casting>, 2011, Acesso em: 10 agosto. 2018. Lages.
- Degarmo, E. Paul; Black, J T.; Kohser, Ronald A. (2003), Materials and Processes in Manufacturing (9th ed.), Wiley, pp. 315–316, ISBN 0-471-65653-4.
- Elanchezian, C.; Ramnath, B. Vijaya (2006). Manufacturing Technology (2nd ed.). Laxmi Publications. pp. 80–81. ISBN 978-81-7008-943-8.
- Josh Chamot ,Three Dimensional Printing: Shortcut to the Final Product?, Nsf-OLPA, May 6, 2002.
- Jianshe Road, Borui, Ceramic mold casting process and advantages 2010, <http://www.metals-china.com/ceramic-mold-casting-process-and-advantages.html>, 2011, Acesso em: 10 Agosto . 2018. Lages
- Kalpakjian, Serope; Schmid, Steven (2006), Manufacturing Engineering and Technology(5thed.).
- Mayk Pericon, The Unicast process, archived from the original on 2010-12-19, retrieved 2010-12-19.
- MIRANDA, AVALIAÇÃO DA TENACIDADE À FRATURA DE DIFERENTES SISTEMASCERÂMICOS. Carolina MIRANDA– UNESP. Novembro 2003
- PONTES, 2012 MECANICA INDUSTRIAL 2-UFSC

ANEXO A – PESO DE CERÂMICA UTILIZADA NO MODELO
(CHAMOT, 2002)

$$V\rho = \{(v2) + [v3 * \gamma] - (v1)\} * H$$

$V\rho$ =Volume do modelo

$v1$ = Volume da área 1

$v2$ = Volume da área 2

$v3$ = Volume da área 3

H = Altura

ρ = Peso

δ = Peso específico da argila

$r1$ =Raio 1

$r2$ = Raio 1

$r3$ = Raio 1

$$r2V\rho = \{(\pi * r2) + [(\pi * r3) * \gamma] - (\pi * r1)\} * H$$

$$A\rho = (706,5 + 100,48 - 254) * 2$$

$$A\rho = 1105,96cm^3$$

$$\rho = A\rho * \delta$$

$$\rho = 0,00110596m^3 * 1800$$

$$\rho = 1,9907 \text{ kg}$$

ANEXO B – PESO DE CERÂMICA UTILIZADO NO MOLDE INFERIOR
(CHAMOT, 2002)

$$V\rho = v1 * h$$

$V\rho$ =Volume do molde

$v1$ = Volume da área 1

H = Altura

ρ = Peso

δ = Peso específico da argila

$r1$ =Raio 1

V_M = Volume do modelo estampado

$$V\rho = (\pi * r1^2) * H$$

$$V\rho = (\pi * 20^2) * 4$$

$$V\rho = 5008cm^3$$

$$\rho = A\rho * \delta - V_M$$

$$\rho = 0,003756m^3 * 1800 - 2$$

$$\rho = 7,1 \text{ kg}$$

ANEXO C – PESO DE CERÂMICA UTILIZADO NO MOLDE SUPERIOR (CHAMOT, 2002)

$$V\rho = v1 * h$$

$V\rho$ =Volume do molde

$v1$ = Volume da área 1

H = Altura

ρ = Peso

δ = Peso específico da argila

$r1$ =Raio 1

$$V\rho = (\pi * r1^2) * H$$

$$V\rho = (\pi * 20^2) * 3$$

$$V\rho = 3756cm^3$$

$$\rho = A\rho * \delta$$

$$\rho = 0,003756m^3 * 1800$$

$$\rho = 6,76 \text{ kg}$$

ANEXO D – VOLUME DOS MASSALOTES PARA A ALIMENTAÇÃO (CHAMOT, 2002)

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta$$

Onde,

ΔV = Variação do volume

V_0 = Volume inicial

γ = Coeficiente de dilatação volumétrica

$\Delta \theta$ = Variação de temperatura

$$\Delta V = 1105,96 \text{ cm}^3 * 3,5 \times 10^{-6} \cdot 1650$$

$$\Delta V = 6,57 \text{ cm}^3$$

$$V_m = V_N * \beta m$$

Onde,

βm = constante de massalote livre

V_n = volume necessário

V_m = volume do massalote

$$V_m = 6,57 * 11,13$$

$$V_m = 73,12$$

A divisão de 3 massalotes de 27 cm^3 suporta a alimentação