

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M827i Morais, Arthur Domingos Mesquita de .
 INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DOS MOLDES DE
 FUNDIÇÃO À BASE DE GESSO SOBRE AS PROPRIEDADES
 MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DA PEÇA FUNDIDA EM
 ALUMÍNIO. / Arthur Domingos Mesquita de Morais. -
 2021.
 12 f. : il.

 Orientador: Ramsés Otto Cunha Lima.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
 Mecânica, 2021.

 1. Shell Molding. 2. Molde de gesso. 3.
 Cimento refratário. I. Lima, Ramsés Otto Cunha ,
 orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DOS MOLDES DE FUNDIÇÃO À BASE DE GESSO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DA PEÇA FUNDIDA EM ALUMÍNIO.

Arthur Domingos Mesquita de Moraes ^[1] e Ramsés Otto Cunha Lima ^[2]

^[1] Universidade Federal Rural do Semiárido, Engenharia Mecânica; aluno; arthurdomingos28@gmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semiárido, Engenharia Mecânica; orientador; ramses.cunhalima@ufersa.edu.br

Data da defesa: 17/11/2021;

Resumo: De maneira a simplificar e baratear o processo de *shell molding*, sem deixar de obter suas vantagens, o gesso, com a adição de materiais refratários, é aplicado em substituição à areia. Assim, tem-se como proposta estudar a influência das proporções do material utilizado para confeccionar moldes feitos de uma mistura de gesso e cimento refratário sobre as propriedades mecânicas e microestrutura da peça fundida. A peça fundida para os ensaios foi um corpo de prova para fundição segundo a norma ASTM –E8, utilizando um molde com as dimensões 140x326x400 mm. Para a análise foi usada uma proporção, levando em conta a porcentagem segundo a massa do molde, inicialmente com 100% de gesso e 80% de gesso e 20% de cimento refratário. Foi usado o alumínio 6063 e um forno com uma temperatura máxima de trabalho e temperatura de vazamento de 854 °C e 750 °C, respectivamente. Verificou-se um aumento da resistência e dureza, nas peças dos moldes com o cimento refratário, além disso, pela análise de microscopia, verificou-se uma redução no número de poros e microporos quando comparados as peças produzidas com o molde de 100% de gesso, em contra partida essas apresentaram uma qualidade superficial melhor.

Palavras-chave: Shell molding, Molde de gesso, Cimento refratário, Tração, Microscopia.

1. INTRODUÇÃO

A fundição em areia é o processo de fundição mais largamente utilizado, respondendo pela maioria significativa da tonelagem total de produtos fundidos. Dentre suas variantes, o processo de moldagem em casca (*shell molding*) é caracterizado por seu molde ser uma casca fina confeccionado em areia, cujos grãos são unidos por uma resina aglomerante termofixa [1].

De maneira a simplificar e baratear este processo, sem deixar de obter suas vantagens, muitas vezes o gesso é aplicado em substituição à areia [2]. Além disso materiais refratários podem ser aplicados como aditivos, a fim de melhorar as propriedades térmicas do molde, objetivando um produto final com melhores propriedades mecânicas [2]. Entre as funções dos materiais usados na confecção dos moldes para fundição duas se destacam: permitir a acomodação da melhor maneira o material lingotado evitando a formação de rebarbas metálicas e uma melhor exatidão da peça final e promover uma boa troca térmica, permitindo uma solidificação uniforme da peça, a fim de diminuir os defeitos na estrutura cristalina do material [2].

Porém, mesmo sendo um processo simples e de fácil aplicação na indústria, erros podem surgir durante o processo, sobre tudo durante a fabricação dos moldes. A escolha inadequada do material, bem como das proporções dos mesmos para a fabricação dos moldes pode levar a produção de peças sem as propriedades

mecânicas desejadas acarretando em sua falha durante os ciclos de operação, levando a perdas financeiras ou até de vidas.

O presente trabalho tem como finalidade estudar a influência das proporções do material utilizado para confeccionar moldes feitos de uma mistura de gesso e cimento refratário sobre as propriedades mecânicas e microestrutura da peça fundida.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Processo de Fundição em Casca (*shell molding*)

Devido as desvantagens do processo de fundição em areia verde, tais como: baixa qualidade das peças, mau acabamento, erosão do molde e a necessidade de um processo de usinagem posterior a fundição houve o surgimento de novas técnicas para a confecção dos moldes [3,4]. Assim desenvolveu-se a técnica do *shell molding*, processo no qual o molde é fabricado a partir de uma mistura de areia e resina termoestável como aglomerante, que se liquefaz ao receber calor e se torna refratária, que é colocada em contato com um molde pré-aquecido [5].

Dentre as principais vantagens do *shell molding* para a fundição destacam-se: a superfície da cavidade do molde (casca) é menos rugosa, o que facilita o fluxo de metal líquido durante o vazamento e a melhor qualidade superficial da peça pequenas e complexas [6] e boa acurácia dimensional em peças de dimensões médias [7]. Esses fatores, muitas vezes, eliminam a necessidade de usinagem adicional mais pesada e a colapsibilidade do molde é, em geral, suficiente para evitar tensões internas e trincas na peça fundida [7].

Dentre os materiais que podem ser usados para a fabricação de peças pelo método do *shell molding* as ligas de alumínio se mostram uma excelente alternativa. Além de possuir um ponto de fusão relativamente baixo, cerca de 660 °C, permitindo a fusão deste por processos metalúrgicos comuns, o alumínio tem uma boa combinação com os mais diversos metais, elementos de liga, assim formando ligas que possuirão as mais variadas características podendo então ser utilizadas em vários ramos da indústria [6].

2.1.1. Gesso e Cimento Refratário para fundição de Alumínio.

Para a melhor fabricação de peças para fundição é necessário que os moldes possuam certas propriedades, que são inerentes aos materiais que os formam: moldabilidade, capacidade do material de reproduzir as dimensões do modelo; resistência mecânica, resistência necessária para que o molde não deforme ou quebre; permeabilidade, o molde deve permitir a passagem de gases durante o vazamento do metal fundido [6].

Um dos fatores determinantes para a qualidade superficial e exatidão dimensional das peças produzidas por fundição é a granulometria do material usado para a fabricação do molde. A fundição em casaca caracteriza-se por ser um processo onde um molde é produzido com material refratário de baixa granulometria [8], assim o gesso se mostra um excelente material para a confecção dos moldes para fundição uma vez que possui uma granulometria numa faixa de 1,6 até 12,5 µm [9]. Foi observado que areias com grãos mais finos possuem uma maior resistência aos esforços sofridos durante o processo de fundição [10]. Uma maior resistência dos moldes evita que esse rache evitando a formação de trincas nas peças.

Durante o processo de vazamento e solidificação, altas temperaturas e choques térmicos são inerentes ao processo. Nesse cenário o uso de materiais refratários é indispensável, uma vez que tais materiais são capazes de resistir a altas temperaturas, até cerca 1300 °C, sem que haja a perda das suas propriedades mecânicas e térmicas [11]. As propriedades mecânicas da peça fundida dependem das condições térmicas durante a solidificação, ou seja, da resistência térmica metal/molde [12].

A taxa de transferência de calor, o tamanho do grão e suas propriedades são fatores determinantes para a

qualidade das peças fundidas e seus defeitos [13]. Assim, analisar o material constituindo dos moldes é fundamental para garantir a fabricação de peças com as propriedades mecânicas e dimensionais exigidas.

2.2. Transferência de calor do molde

Ao entrar em contato com o molde o metal resfria, devido à resistência de contato, que é influenciada por fatores como: afinidade físico-química entre o metal e o molde, o material a ser solidificado, a concentração do metal e a expansão do molde [14].

É durante a solidificação que os aspectos responsáveis pelas características mecânicas das peças, tais como microestrutura, tamanho do grão, espaçamento dendrítico, porosidade e etc, dependem, essencialmente, das condições de solidificação [15]. A velocidade de resfriamento determina a quantidade de núcleos durante a transição de fase, assim quanto maior o resfriamento maior será o número de núcleos e mais refinado será os grãos da peça final [16].

A temperatura de resfriamento do metal é influenciada por diversos fatores tais como: as propriedades termofísicas tanto do metal quanto do material do molde, a geometria do molde e do negativo da peça, a rugosidade das paredes do molde, a presença de inclusões e a temperatura inicial do molde [17].

Durante o vazamento a liberação da energia interna do metal líquido durante a solidificação se dá de forma não linear [18,19]. Assim, levando a uma solidificação não homogênea, podendo levar a propriedades mecânicas diferentes daquela desejadas.

2.3 Propriedades da liga de alumínio 6063 fundida

Estudos foram feitos para avaliar as propriedades das peças de alumínio e suas ligas fabricadas a partir da fundição. Foram avaliadas as propriedades mecânicas da liga de alumínio 6063 quando fundida em diversos tipos de moldes [20]. Assim, para moldes de cimento, CO₂, metal e moldes de areia, encontraram os seguintes valores para resistência última a tração, alongamento e dureza, 118 MPa, 0,066mm/mm e 21,80HB, 125MPa, 0,070mm/mm e 33,70HB, 90MPa, 0,034mm/mm e 26,40HB, 130MPa, 0,01mm/mm e 23,80HB. Além disso concluíram que os moldes que eram formados por areia e cimento possuíram uma qualidade superficial menor do que aqueles formados por metal e CO₂, devido a irregularidade e maior tamanho dos grãos que apresentavam baixos níveis de permeabilidade.

Outro estudo caracterizou peças fundidas utilizando a liga de alumínio 6063 e a técnica de areia verde com a adição de pó de ferro na fabricação do molde em diferentes quantidades e tratamento térmicos [21]. Os resultados encontrados mostraram que com a adição de pó de ferro a resistência a tração compreende uma faixa entre 70 e 112 MPa.

Estudou-se o efeito da porosidade nas ligas alumínio fundido sobre as propriedades de tensão e ductilidades [22]. Para isso fundiu a liga de alumínio 380 utilizando molde de areia, em uma temperatura de fundição de 750 ± 5 °C. Ao final concluiu que a porosidade presente nas peças de alumínio fundido causa uma grande redução em suas propriedades mecânicas, porosidade essa advinda da velocidade de vazamento e da baixa liberação dos gases durante a solidificação.

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais e Equipamentos

Foi comprada e utilizada para a fundição a liga de alumínio 6063, sua composição química está apresentada na

Tabela 1. Tal liga apresenta dureza de 25HB e tensão última de tração de 89,6 MPa [23].

Para fundição foi utilizado um forno que possui temperatura máxima de trabalho de 854 °C e temperatura de vazamento de 750°C, tais temperaturas foram monitoradas por um termopar tipo K e uma placa Arduino®.

Tabela 1 - Composição Química da liga de alumínio 6063

Elemento	Al	Mg	Si	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ti	Ca
(%) Comp.	98,64	0,5141	0,5351	0,0013	0,0283	0,2108	0,0035	0,0007	0,0114	0,051

Os moldes foram fabricados com uma mistura de cimento refratário, possuindo uma gradnulometria de uma faixa de 50 até 500 μm [24], com composição apresentada na Tabela 2, e gesso. Foram então fabricados dois moldes com diferentes composições, assim foi utilizado um molde com 100% de gesso e outro com 80% gesso e 20% de cimento refratário.

Tabela 2 - Composição química do cimento refratário

Elemento	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	PF
(%) Comp.	53,73	35,08	1,63	0,32	2,46	3,24	2,74	1,12	0,26

O modelo foi projetado afim de produzir quatro corpos de prova (CP), seguindo a norma ASTM –E8 [25], Figura 1. Foi feita a impressão do modelo, utilizando uma impressora 3D, o material utilizado para a impressão foi o Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol (PETG), com preenchimento de 17% e orientação de ângulo de 45°.

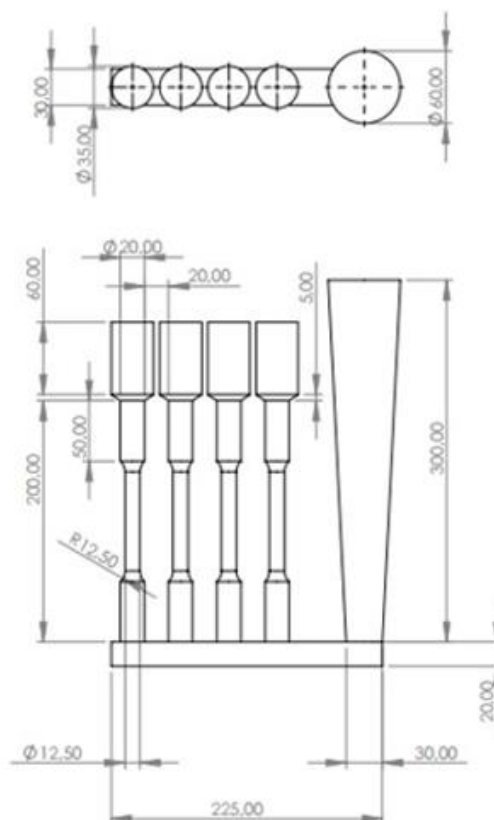


Figura 1 – Projeto do modelo para fundição

Para a preparação das peças para os ensaios foram utilizadas a serra-fita e esmerilhadeira para a usinagem e rebarbação dos corpos de prova, respectivamente, lixas e a politriz para o polimento e para a análise das propriedades mecânicas e microestruturais foram utilizadas a máquina de tração universal, microscópio óptica, microscopia de varredura eletrônica (MEV) e rugosidade.

3.2 Procedimento Experimental

Primeiramente foi feita a preparação do material a ser utilizado para a fabricação dos moldes, tais moldes possuem dimensões de 140x326x400 mm. Foi pesado cerca de 12 kg de gesso para a fabricação o do molde de 100% gesso e utilizado cerca de 2 litros de água, já o segundo molde foi feito utilizando uma proporção de 80% gesso e 20% massa refratária, segundo a massa total do molde, logo foram pesados e misturados manualmente cerca de 9,6 kg de gesso e 2,4 kg de massa refratária e foi utilizado cerca de 2,5 litros de água. Após a fabricação ambos os moldes foram colocados no sol por cerca de 24 horas para cura do gesso e remoção da umidade.

Foram adicionados machos para garantir um melhor encaixe das duas partes, o molde foi vedado, utilizando massa epóxi, para evitar possível vazamentos de material e preso com elásticos e ripas de madeira para evitar aberturas, Figura 2.

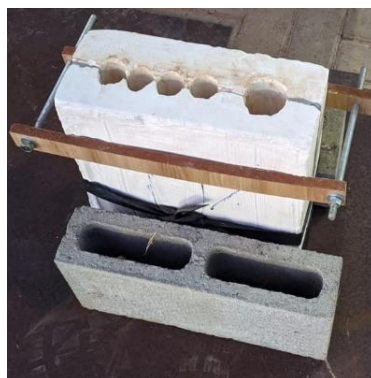


Figura 2 - Preparação do molde para o vazamento do alumínio

O Alumínio foi então fundido e vazado a uma temperatura de cerca de 10% maior que a temperatura de fundição, cerca de 750 ± 10 °C, tal temperatura foi medida com um termopar tipo K e Arduino®, afim de garantir uma boa fluidez durante e vazamento e evitar possíveis solidificações antecipadas. Após 12 horas do vazamento do alumínio em cada molde, para garantir que as peças tinham solidificado corretamente, o material fundido foi desmoldado.

3.3 Caracterizações

3.3.1 Ensaio de tração

Para os ensaios de tração a peça ensaiada segundo a norma ASTM-E8 [25], com uma velocidade de 3 mm/min. Para os ensaios os CP's foram usinados dos fundidos e rebarbados, não houve necessidade de usinagem para melhoria da qualidade superficial.

3.3.2 Ensaio de dureza

Foram usinadas uma amostra cilíndrica de 35 mm de diâmetro e 40 mm de altura e uma prismática com 30 mm, 20 mm e 80 mm de altura das peças geradas pelos moldes de 100% de gesso e 80% de gesso e 20% cimento refratário, respectivamente, Figura 3.

Para o preparo das peças foi utilizado as lixas de 180, 220, 320 e 400 foram aplicadas com auxílio lixadeira politriz. O ensaio de dureza foi feito de acordo com a norma ASTM E18 [26] para materiais macios, uma vez que para os parâmetros exigidos pela norma para ligas de alumínio não foi obtido nenhum resultado, assim foi usado um endentador com ponta esférica de aço com 0,5 polegadas, pré-carga de 10 kgf, carga de 60 kgf, por 10 segundos, para uma melhor análise da dureza foram feitas cerca de cinco marcações em cada peça.

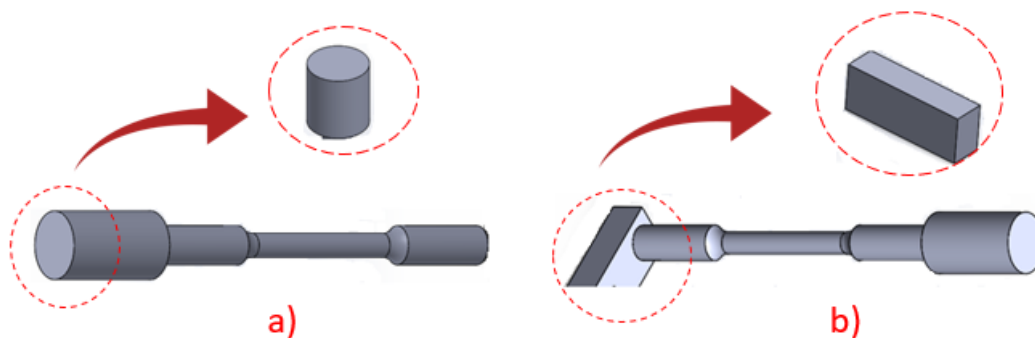


Figura 3- Croqui das amostras usadas para o ensaio de dureza a) fabricado com o molde de 100% de gesso, b) fabricado com o molde de 80% de gesso

3.3.3 Microscopia Ótica

Para a análise da microscopia ótica, foi tirada uma amostra de cada um dos produtos fundidos pelos moldes com 100% de gesso e 80% de gesso, ambos com diâmetro de 12,5 mm e altura de 20 mm, Figura 4. Para o polimento foram lixadas com utilizando uma sequência de lixas: 400, 600, 800, 1000 e 1200 na politriz e o polimento foi finalizado com uma mistura de água e alumina, para assim poder fazer o ensaio de microscopia com a ampliação de 100 vezes.

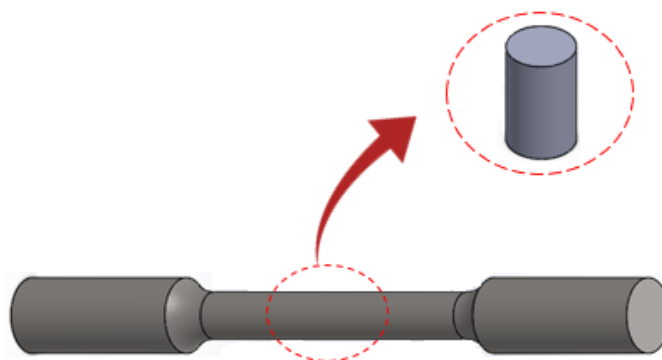


Figura 4- Croqui da amostra usada para os ensaios de microscopia ótica, MEV e rugosidade

3.3.4 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)

As amostras para o ensaio do MEV foram usinadas das partes úteis dos CP's gerados pela fundição, Figura 4 e então polidos com a mesma sequência de lixas usada do ensaio de microscopia ótica e polido com uma mistura de alumina e água. Após o polimento foi feita uma limpeza ultrassônica utilizando álcool 70%, após o tempo de secagem foi necessária a aplicação de elétrons de ouro para a realização do ensaio. Foi então aplicada uma aproximação de 50 vezes para gerar a imagem.

3.3.5 Rugosidade (Ra)

A rugosidade foi medida com o auxílio do rugosímetro, modelo ISR C300, que tem uma faixa de medição de 0,05 – 32 μm e o auxílio da norma ABNT NBR ISO 4288:2008 [27]. Foi usado um *cut-off* (λ_c) de 0,8 mm,

com um comprimento de amostragem de cinco e uma faixa de $\pm 40,00\text{mm}$. A amostra ensaiada foi uma parte da parte útil do CP de tração, Figura 4 que foi presa com o auxílio da morsa para evitar movimentos relativos e melhor posicionamento, Figura 5. Foram feitas cerca de 12 medições, sendo 3 para cada metade do CP, para verificar o nível de rugosidade de cada parte.



Figura 5- Configuração usada para o ensaio de rugosidade

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a fabricação dos moldes notou-se que o molde com 80% de gesso e 20% cimento refratário estava mais frágil e possuía mais trincas superficiais, quando comparado ao molde fabricado com 100% de gesso. Tal fragilidade é decorrente da maior granulometria do cimento refratário presente na mistura tornando o molde mais frágil, como explica [10]. Além disso, corroborando [7], devido à baixa granulometria do material de ambos os moldes foi possível atingir uma boa acurácia dimensional, Figura 6.

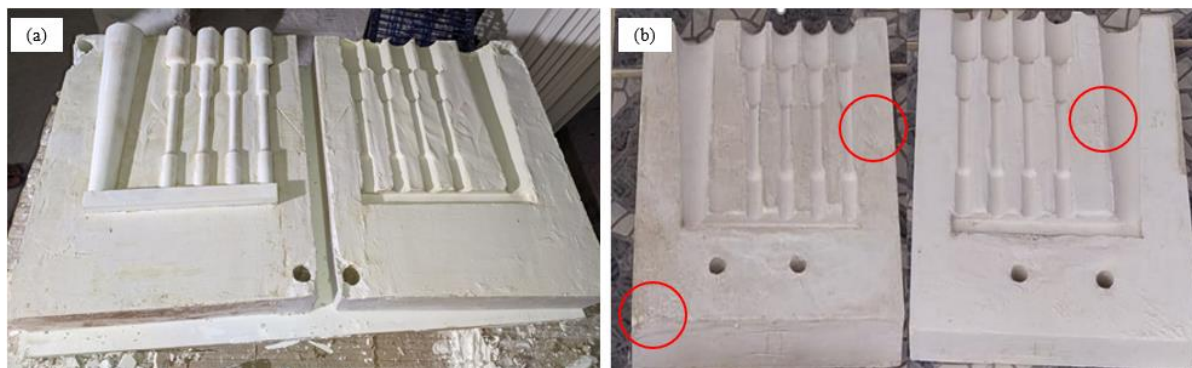


Figura 6- Moldes fabricados a) 100% de gesso b) 80% de gesso e 20% massa refratária

Posterior ao vazamento e solidificação houve a desmoldagem e retirada das peças fundidas, Figura 7. Observou-se que a parte interna de ambos os moldes tinha sido queimadas e algumas partes ficaram presas nos fundidos, assim não é possível a reutilização dos moldes após a fundição.

Constatou-se que quatro dos oito corpos de provas, dois de cada um dos moldes, apresentaram rechupes e vazios, visíveis a olho nu estando aptos apenas quatro CP's, dois de cada um dos moldes, figura 8. Além disso ambos os fundidos apresentaram uma grande quantidade de rebarbas, decorrentes da junção imperfeita entre as metades de cada molde.

Após a usinagem de algumas seções do fundido notou-se a presença de partículas de óxido, decorrentes da não remoção da camada de óxido superior formada durante o processo de fundição de vazamento do alumínio, assim sendo necessária a retirada de amostras de diferentes partes para a análise de dureza, afim de evitar possível erros durante o ensaio.

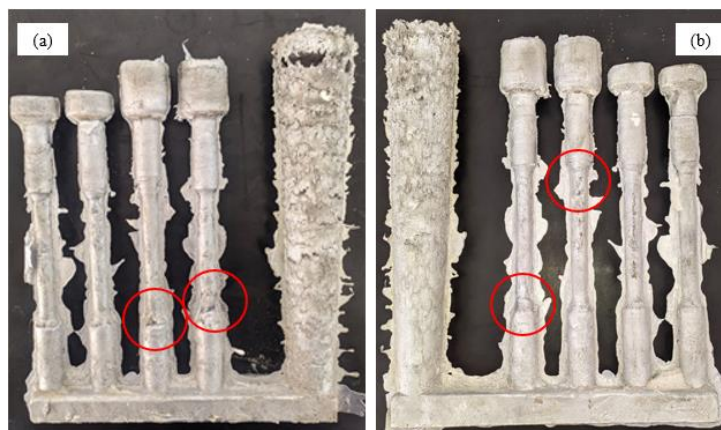


Figura 7- Fundidos gerados pelo a) Molde de 100% gesso b) Molde de 80% gesso e 20% cimento refratário

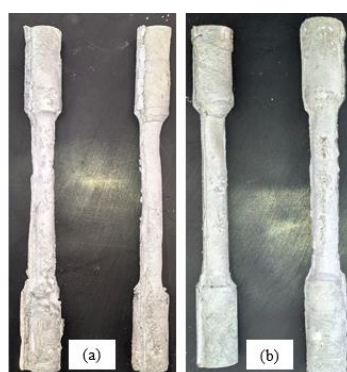


Figura 8 - a) CP produzidos pelo molde com 100% de gesso b) CP produzidos pelo molde com 80% de gesso

A Tabela 3 e os gráficos da Figura 9 mostram os resultados obtidos após o ensaio de tração dos corpos de prova.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de tração

Amostra	CP 100% Gesso		CP 80% Gesso e 20% Cimento Refratário	
	Tensão (MPa)	Deformação (mm/mm)	Tensão (MPa)	Deformação (mm/mm)
1	59,74	0,02	81,57	0,03
2	61,8	0,02	74,85	0,02
Média	60,76	0,02	78,2	0,025
Desvio Padrão	1,45	0	4,75	0

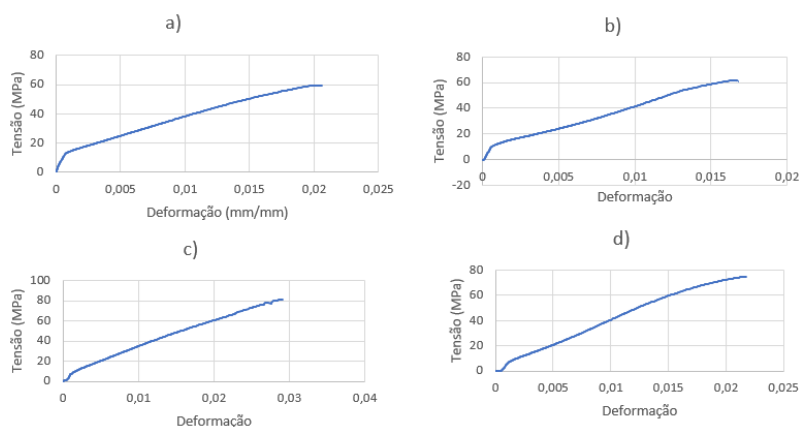


Figura 9 - Gráfico tensão x deformação a) CP1 molde de 100% gesso, b) CP2 molde de 100% gesso, c) CP1 molde de 80% gesso, d) CP2 molde de 80% gesso

Foi observado uma deformação e tensão de ruptura médias de 0,020 mm/mm e 60,76 MPa, para os CP's gerados pelo molde de 100% gesso, e 0,027 mm/mm e 78,20 MPa, para os CP's gerados pelo molde de 80% gesso, tais valores condizem com a faixa de resultados encontrados por [21, 22].

A Tabela 4 apresenta os valores medidos para as durezas das amostras obtidas de cada um dos moldes.

Tabela 4 - Valores encontrados pelo ensaio de dureza em cada uma das amostras

	CP 100% Gesso	CP 80% Gesso e 20% Cimento Refratário
Medição	Dureza (HRR)	Dureza (HRR)
1	95	116
2	111,3	115
3	110,6	114,1
4	108,1	113,5
5	107,7	113,4
Média	108,1	114,1
Desvio Padrão	6,63	1,10

Assim concluiu-se que para os moldes com 100% gesso as amostras possuem uma dureza média de 108,1HRR, já os moldes de 80% gesso a dureza média encontrada foi de 114,1HRR. Os resultados medidos das propriedades mecânicas mostraram, assim como afirma [13, 14], a influência do cimento refratário nas propriedades das peças fundidas.

Devido a presença do cimento refratário o molde de 80% de gesso atendeu melhor aos requisitos, exposto em [6], necessários aos moldes para fundição, assim sendo capaz de gerar peças com propriedades mecânicas melhores. A falta de um material refratário no molde de 100% faz com que esse não tenha uma boa troca de calor na interface material/molde, assim impedindo a formação de núcleos mais refinados, como explica [17].

A análise de microscopia ótica, Figura 10, e do MEV, Figura 11, revelou que para as peças fundidas utilizando os moldes de 100% de gesso apresentaram uma quantidade muito maior de porosidade e microporosidades, devido a velocidade de vazamento incorreta, sendo está muito rápida, e pela troca de calor ineficiente entre o molde/material e molde/ambiente nos moldes de 100% houve o surgimento de porosidades e microporosidades [17, 24].

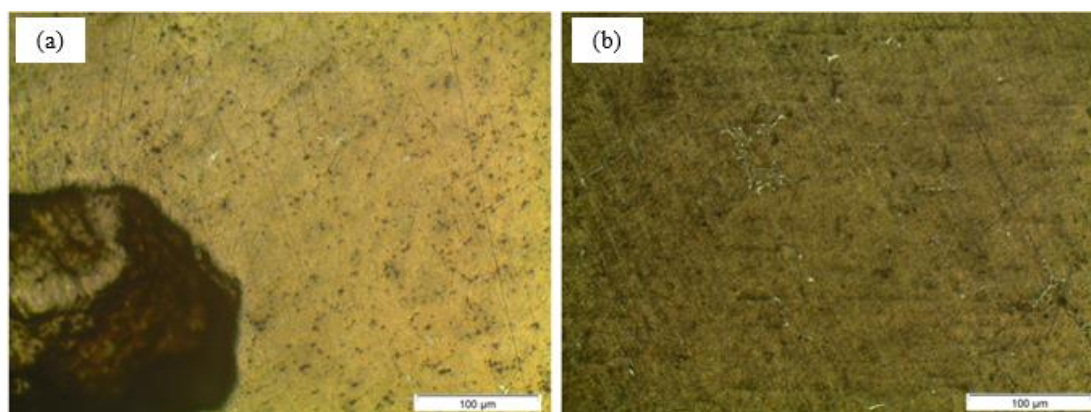


Figura 10- Resultados da microscopia a) amostra gerado pelo molde de 100% gesso b) amostra gerado pelo molde de 80% gesso

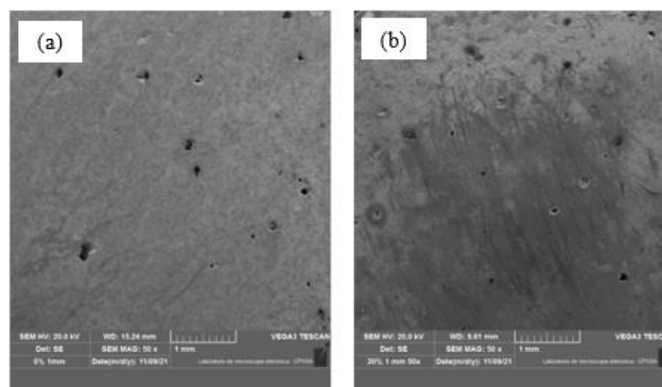


Figura 11- Resultados da microscopia a) amostra gerado pelo molde de 100% gesso b) amostra gerado pelo molde de 80% gesso

A presença maior de porosidades e microporosidades na amostra gerada pelo molde de 100% de gesso, bem como a redução das propriedades mecânicas quando comparadas as amostras geradas pelo molde de 80% de gesso, estão de acordo com Mugica *et al* [23], pois a presença de poros nas peças fez com que houvesse uma redução na tensão de ruptura última e dureza.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos após a medida da rugosidade de cada amostra.

Tabela 5 - Resultados das medições de rugosidade de cada lado da amostra

Medição	CP 100% Gesso		CP 80% Gesso e 20% Cimento Refratário	
	Lado 1	Lado 2	Lado 1	Lado 2
1	1,69	1,28	3,11	5,3
2	1,65	1,15	3,17	3,94
3	1,64	1,31	2,99	5,11
Média	1,65	1,28	3,11	5,29
Desvio Padrão	0,03	0,08	4,75	0,14

Os resultados revelaram que o corpo de prova feito com o molde de 100% de gesso teve uma rugosidade média total de 1,466 μm , já o molde com 80% de gesso foi medido resultados divergentes entre cada uma das metades, uma delas apresentando uma rugosidade média de 4,196 μm . Assim é confirmado [9], uma vez que a sua menor granulometria os moldes com 100% de gesso são capazes de gerar peças com uma melhor qualidade superficial ao longo de toda a peça.

Além disso uma houve a influência do precipitado do cimento nas paredes internas, sendo o responsável pela diferença da qualidade superficial, evidenciada pela diferença da granulometria.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que devido a presença do cimento refratário, os moldes com 80% de gesso são capazes de gerar peças com melhores propriedades mecânicas. Para o molde de 100% de gesso mediu-se uma tensão de ruptura e dureza médias de 60,76 MPa e 108,1 HRR, respectivamente, já para o CP gerado pelo molde de 80% gesso e 20% cimento refratário apresentou uma tensão de ruptura e dureza médias de 78,2 MPa e 114,1 HRR, respectivamente.

Além disso foi constatado uma menor presença de poros e microporos nas amostras fundidas com o molde que possui o material refratário na sua composição

Porém, a presença do cimento refratário acaba introduzindo impurezas com uma maior granulometria na composição do molde, que acabam precipitando fazendo com que as peças geradas tenham uma pior qualidade superficial, além com o aumento da quantidade do cimento refratário há uma redução na resistência do molde, levando ao aparecimento de trincas e rachaduras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CALLISTER JUNIOR, Willian D; RETHWISCH, David G. Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 817 p.
- [2] GUIMARÃES, José Rubson de Sousa. Desenvolvimento de um molde refratário para produção de peças metálicas pelo processo de fundição de precisão. 2019. 34 f. Monografia (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- [3] MORO, Noberto: fundição. Florianópolis: Entro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2007. Color. Fundição em areia a verde: uma abordagem experimental. / Paulo José Carvalho Mascarenhas Filho. – Cruz das Almas –BA, 2016.
- [4] Jones, S., & Yuan, C. (2003). *Advances in shell moulding for investment casting*. *Journal of Materials Processing Technology*, 135(2-3), 258–265. doi:10.1016/s0924-0136(02)00907-x
- [5] SPRING, Thomas. TÉCNICA DE FUNDIÇÃO EM CASCA. 2015. 14 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- [6] FILHO, Paulo José Carvalho Mascarenhas Filho. Fundição em areia a verde: uma abordagem experimental. / Paulo José Carvalho Mascarenhas Filho. – Cruz das Almas – BA, 2016
- [7] GROOVER, Mikell P. Introdução aos Processos de Fabricação. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 737 p
- [8] BEELEY, Peter. Foudry technology. 2.ed. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2001
- [9] PASTIRČÁK, R.; SLÁDEK, A.; KUCHARČÍKOVÁ, E.. The Production of Plaster Molds with Patternless Process Technology. *Archives of Foundry Engineering*, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 91-94, 1 jun. 2015. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.1515/afe-2015-0045>.
- [10] Ikushima T., and Mitsui T., ‘Influence of Sand Grains Distribution on Green Properties of Bentonite bonded sands compacted at high pressure’, *IIFS*, vol- 42,1970,
- [11] HIPEDINGER, Nora e; SCIAN, Alberto N; AGLIETTI, Esteban F. Magnesia–ammonium phosphate-bonded cordierite refractory castables: phase evolution on heating and mechanical properties. *Cement And Concrete Research*, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 157-164, jan. 2004. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846\(03\)00256-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846(03)00256-4).
- [12] SANTOS, Carlos Alexandre dos. Influência das taxas direcionais de resfriamento na evolução da solidificação em sistemas metal/molde. 1997. 117f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/264742>>. Acesso em: 21 jul. 2018.
- [13] VINOTHRAJ, D.; RAGAVANANTHAM, S.; SARAVANAKUMAR, M.; VIVEKANANTHAN, M.; SIVAGNANAMANI, G.s.. Heat dissipation and inter-relationship between physical properties of moulding sand. *Materials Today: Proceedings*, [S.L.], v. 37, p. 1809-1812, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.398>.
- [14] ROCHA, Otávio Lima et al. COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA INTERFACE METAL/MOLDE E VARIÁVEIS TÉRMICAS NA SOLIDIFICAÇÃO DIRECIONAL HORIZONTAL DA LIGA Al-6%Cu. *HOLOS*, [S.L.], v. 5, p. 28-39, nov. 2013. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1483>>. Acesso em: 02 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.15628/holos.2013.1483>.
- [15] ANDRADE, Ricardo Batista de. Análise da formação da microestrutura durante a solidificação de ligas metálicas ferrosas e não ferrosas em moldes com diferentes características. 2017. 13 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- [16] SILVA, Pedro Henrique Elói. INFLUÊNCIA DA LIGA AL-TI NA ESTRUTURA DE SOLIDIFICAÇÃO DE UMA PEÇA FUNDIDA. 2015. 49 f. Curso de Engenharia dos Materiais, Departamento de Engenharia de Materiais, Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- [17] SANTOS, C.A; QUARESMA, J.M.V; A GARCIA,. Determination of transient interfacial heat transfer coefficients in chill mold castings. *Journal Of Alloys And Compounds*, [S.L.], v. 319, n. 1-2, p. 174-186, abr. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0925-8388\(01\)00904-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-8388(01)00904-5).
- [18] SKRZYPCZAK, Tomasz; WęGRZYN-SKRZYPCZAK, Ewa. Mathematical and numerical model of solidification process of pure metals. *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, [S.L.], v. 55, n. 15-16, p. 4276-4284, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.03.070>.

- [19] WU, Ming; LIU, Lijun; DING, Junling. An enthalpy method based on fixed-grid for quasi-steady modeling of solidification/melting processes of pure materials. *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, [S.L.], v. 108, p. 1383-1392, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.01.01>
- [20] Ayoola, W.A., Adeosun, S.O., Sanni O.S. and Oyetunji A. (2012). Effect of casting mould on mechanical properties of 6063 aluminium alloy. *Journal of Engineering Science and Technology* Vol. 7, No. 1 (2012) 89 - 96.
- [21] ADEOSUN, S. O.; AKPAN, E. I.; SEKUNOWO, O. I.; AYOOLA, W. A.; BALOGUN, S. A.. Mechanical Characteristics of 6063 Aluminum-Steel Dust Composite. *Isrn Mechanical Engineering*, [S.L.], v. 2012, p. 1-9, 8 ago. 2012. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.5402/2012/461853>.
- [22] MUGICA, Gustavo Waldemar; TOVIO, Daniel Oscar; CUYAS, Julio César; GONZÁLEZ, Aulio César. Effect of porosity on the tensile properties of low ductility aluminum alloys. *Materials Research*, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 221-229, jun. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-14392004000200002>.
- [23] MatWeb material property, 2021. Disponível em: <[Aluminum 6063-O \(matweb.com\)](http://matweb.com)>. Acesso em: 04, Nove 2021.
- [24] SILVA, R.D.s. da; BRAGANÇA, S. R.. Avaliação de reutilização de resíduos de tijolos refratários mgo-c em massas refratárias secas. 2012. 12 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curitiba, 2012
- [25] ASTM E8 / E8M-21, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, www.astm.org
- [26] ASTM E18-20, Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org
- [27] Associação de Brasileira de Normas Técnicas, 2008, ABNT NBR ISO 4288, "Especificações geométricas de produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade", ABNT, Rio de Janeiro