

## **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CURA E DO TEOR DE AREIA VIRGEM NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE MOLDES DE FUNDIÇÃO**

**Igor Casagrande Miotto<sup>1</sup>, Joélcio Wojciechowski Junior<sup>2</sup>, Diego Rodolfo Simões de Lima<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense – Campus Luzerna SC / miotto01@hotmail.com

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense – Campus Luzerna SC

*Resumo: Neste trabalho, diferentes amostras de areia de fundição foram coletadas no processo produtivo de uma indústria de fundição de Luzerna-SC, com variações no percentual de areia virgem da mistura resinada e na temperatura de cura das resinas, empregadas para conferir resistência mecânica aos moldes. Destas amostras foram confeccionados corpos-de-prova, os quais foram então submetidos a ensaio de tração. Para a realização deste teste, foi utilizado um dispositivo desenvolvido nesta pesquisa e acoplado a uma máquina universal de ensaios, dotada de célula de carga para aferição da força aplicada, extensômetros para medir o deslocamento das placas da máquina e sistema de aquisição e tratamentos de dados, que permitiram posterior análise dos dados obtidos no procedimento experimental proposto. Os resultados mostraram que os corpos-de-prova com maior percentual de areia virgem na mistura apresentaram resistência mecânica aproximadamente 33% superior em relação aos corpos-de-prova com maior teor de reaproveitamento deste aglomerante. Em relação a temperatura de cura da resina, os espécimes com cura em temperaturas mais elevadas, obtidas em estufa, apresentaram resistência mecânica até 18,8% superior aos corpos-de-prova originários de cura em temperaturas ambientes, portanto mais baixas. Ainda, pode ser constatado pequena variação de resistência mecânica entre os moldes curados em temperatura ambiente, sendo que as moldagens curadas em 25 °C apresentaram 5,2% de resistência mecânica superior aos moldes curados em dias mais frios, com temperatura de 18 °C. Esta sutil diferença sugere que em variações maiores de temperatura ambiente possa ser aferido maiores diferenças de resistência mecânica e deve ser objeto de estudos em trabalhos posteriores na sequência do projeto.*

*Palavras-Chave: Ensaio, Tração, Areia, Resinada, Cura, Quente, Frio.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Um dos setores fabris no meio oeste catarinense é a fundição, que gera centenas de empregos diretos na economia local, mas desde sua implantação na região, por volta dos anos 80, carece de investimentos em tecnologia e qualidade nos processos utilizados. Observando isto, este projeto pretende auxiliar na melhoria de qualidade e economia no processo de fundição nas empresas locais.

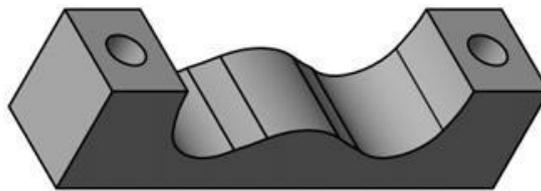
É com essa proposta que se desenvolveu um projeto de extensão entre as empresas da região da AMMOC (Associação dos Municípios do Meio Oeste Catarinense) e o Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna, montando-se um laboratório de areias de fundição onde pode-se analisar e testar as características da areia de fundição, material utilizado como molde na fundição de diversos tipos de peças.

Um dos métodos para se conhecer as propriedades mecânicas da areia de fundição é o teste de tração de areia resinada, onde se coleta a areia, insere-se em um molde com o formato específico

de corpo-de-prova e, após cura da mistura resinada, traciona-se o corpo de prova, a fim de se verificar a resistência máxima que cada molde possui.

## 2. DESENVOLVIMENTO

O projeto se iniciou pelo desenho e obtenção de moldes para confecção de corpos-de-prova em areia de fundição. Em um software de desenho 3D, foi projetado o molde e, após se projetar, usinou-se em duas partes a ferramenta bipartida, conforme pode se observar na Figura 1:



*Figura 1 - Molde Bipartido desenhado em 3D*

Fonte: Próprio Autor

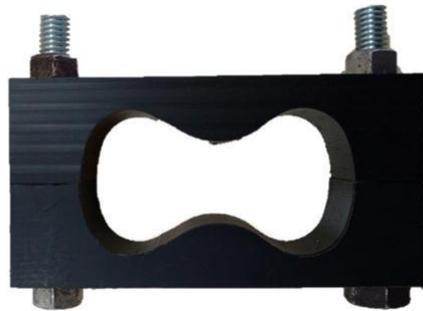
Utilizou-se como material dos moldes o *nylon* pois é um material de menor custo, não necessita de revestimento, não ocorre corrosão e, no momento da usinagem, não necessita utilizar fluido para lubrificar a peça e as ferramentas. Após a usinagem pronta, foram obtidas duas peças iguais, cada uma conforme Figura 2 apresentada.



*Figura 2 - Molde em nylon para confecção de corpos-de-prova*

Fonte: Próprio Autor

Usinado os dois moldes bipartidos, unindo duas partes pode-se colocar areia no vão interno e esperar o processo de cura, que dura em torno de 3 a 5 minutos, dependendo do processo utilizado, podendo ser de cura a quente ou a temperatura ambiente.



*Figura 3 - Macho bipartido pronto para fazer molde*

Fonte: Próprio autor

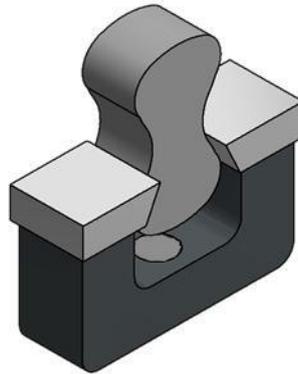
Após o processo de cura do molde de areia resinada, pode-se desmoldar, abrindo os parafusos laterais do macho mostrado anteriormente, retirando o corpo de prova, para realização dos ensaios de tração. A norma CEMP E-10 estabelece o formato e as dimensões dos corpos de prova conforme ilustra a Figura 4. Esta determina uma variação máxima de até 4 milímetros nas suas cotas, os corpos de prova tracionados, ficaram dentro dos limites especificados.



*Figura 4 - Corpo de prova em areia resinada*

Fonte: Próprio Autor

A usinagem das garras para ensaio de tração, foi feita através de um software de desenho em CAD 3D. Foi projetado a peça, onde optou-se por fazer em parte única, ou seja, o mordente que prende o molde de areia e as garras unidas em uma peça só, como mostra a Figura 5.



*Figura 5 - Garra e mordentes para ensaio de tração*

Fonte: Próprio autor

Após o projeto das peças restar finalizado, foram usinadas duas garras, que são presas com um encaixe. Optou-se por utilizar ferro fundido para a fabricação dos mordentes e das garras, devido a sua grande resistência ao desgaste. Fez-se um ensaio teste em uma máquina de ensaio universal, com as finalidades de encontrar a força necessária para romper o corpo de prova e observar o seu comportamento enquanto é tracionado. Como apresenta a Figura 6, as garras são presas na Máquina de Ensaio Universal EMIC DL-10000 e, posteriormente, acomoda-se o corpo de prova no centro, e inicia-se o ensaio, afastando uma garra da outra tracionando o corpo de prova.



*Figura 6 - Ensaio de Tração*

Fonte: Próprio autor

A Máquina de Ensaios Universal fornece valores de tempo, força e deslocamento durante o ensaio. O principal dado obtido neste ensaio é a força necessária para romper o corpo de prova, já que o deslocamento das garras é muito pequeno neste tipo de material que não sofre empescoamento, mas simplesmente rompe.

Com o valor da força e, sabendo-se a área da secção do corpo de prova, pode-se posteriormente calcular a tensão máxima que o molde de areia resiste ao esforço de tração. A Figura 7 apresenta um comportamento típico de ensaios de tração de moldes de areia.

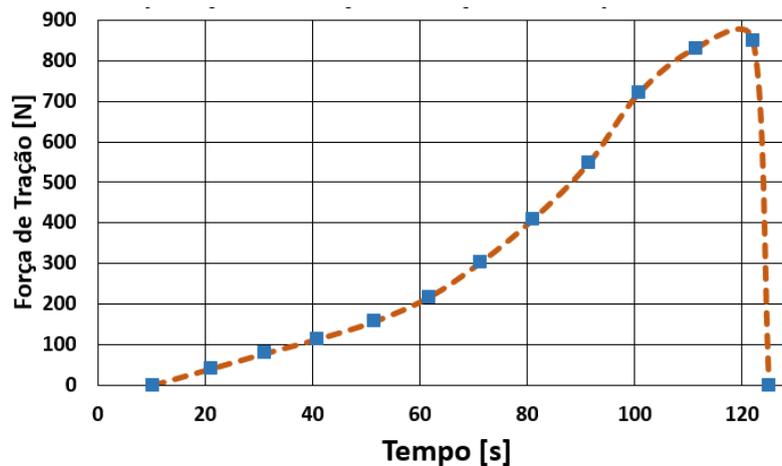


Figura 7 - Gráfico da tração dos corpos de prova de areia

Fonte: Próprio Autor

A linha demonstra um comportamento crescente da força de tração com o passar do tempo, até o instante em que acontece o rompimento do corpo de prova, então a força desce bruscamente até 0 N, encerrando o ensaio. Em linhas gerais, o ensaio pode ser dividido em duas partes, início da tração e rompimento do corpo de prova como mostra a figura 8 a seguir:

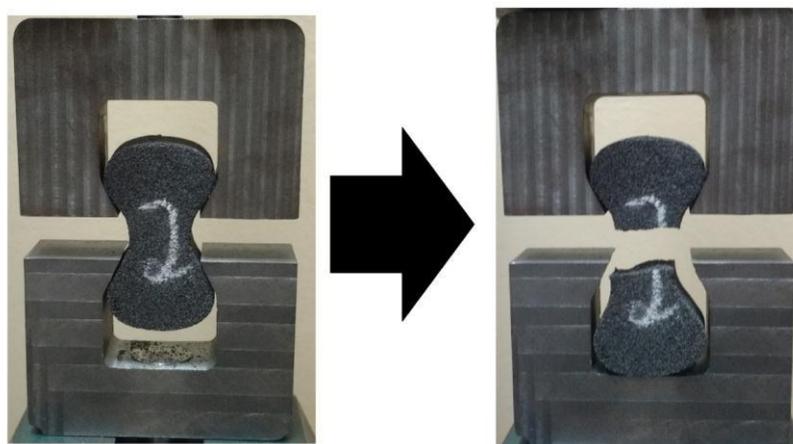


Figura 8 – Execução do Ensaio

Fonte: Próprio Autor

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram testados 10 corpos de prova durante a pesquisa, divididos em grupos de acordo com o tipo de cura, a temperatura de cura (18 °C , 25 °C e 150 °C) e o percentual de areia virgem adicionado. A Tabela 1 apresenta estas divisões.

Tabela 1 –Tipo de areia e moldagem analisados

Nº de amostras	Forma de Cura	Tipo de areia
2	Cura a 18°C	Virgem + Recuperada
2	Cura a 18°C	100 % virgem
3	Cura a 25°C	100 % virgem
3	Cura a Quente	100 % virgem

Ao preparar a areia para a moldagem, esta sofre uma mistura com areia já utilizada, porém não se pode determinar com exatidão a quantidade de areia recuperada que foi adicionada a areia virgem na exata proporção presente nos corpos-de-prova testados. No entanto, estima-se que esta proporção seja aproximadamente de 95% de areia recuperada, para apenas 5% de areia virgem.

Na sequência dos ensaios de tração, os valores de força registrados foram expressos e são agora apresentados na tabela 2:

Tabela 2 - Resultados das Forças de Tração

Nº Corpo de Prova	Forma de Cura	Tipo de areia	Força (N)
1	Cura a 25°C	100 % virgem	663.49
2	Cura a 25°C	100 % virgem	625.75
3	Cura a 25°C	100 % virgem	660.34
4	Cura a Quente	100 % virgem	754.67
5	Cura a Quente	100 % virgem	830.14
6	Cura a Quente	100 % virgem	613.17
7	Cura a 18°C	Virgem + Recuperada	424.50
8	Cura a 18°C	Virgem + Recuperada	499.97
9	Cura a 18°C	100 % virgem	628.90
10	Cura a 18°C	100 % virgem	603.74

Os corpos de prova número 7 e 8 apresentaram valores menores de força pois a porcentagem de areia virgem foi menor, do que a porcentagem utilizada nos outros moldes. A força variou de 424 a 500 N aproximadamente.

Nos processos de cura a quente, ou seja, quando o molde é colocado em uma estufa com temperaturas superiores às do ambiente, o molde suporta tensões maiores se comparado com os outros processos de cura a temperatura ambiente por exemplo. Isso é um benefício explorado quando existe necessidade de se ter um molde de rigidez elevada. Esse tipo de molde é geralmente utilizado na fundição de peças grandes, pois a quantidade de ferro fundido utilizado é maior, aplicando mais peso sobre o molde assim, necessitando de uma tensão de ruptura elevada, para não ocorrer a ruptura do mesmo. Esse processo necessita de uma estufa para a fazer a cura do molde de areia, fazendo com que o custo fique diretamente maior se comparado aos outros métodos.

Os corpos de prova 1, 2, 3, 7, 8, 9 e 10, foram curados a temperatura ambiente. Porém os corpos de prova número 7, 8, 9 e 10, foram feitos logo cedo pela manhã onde a temperatura ambiente estava em torno de 18°C, e os corpos de prova 1, 2, e 3 foram feitos próximos das 12 horas, nesse instante a temperatura chegava a 25°C.

Se torna impraticável fazer testes de tração a cada nova mistura feita nas fundições, pois ocupa uma demanda de tempo e mão de obra. O que se faz é definir as quantidades ideais de areia e aglomerante para cada tipo de cura, assim, sempre obtendo a mesma mistura, realizando-se testes de tração periodicamente, para verificação da resistência das moldagens. Os valores médios de força de tração, para cada processo de cura específico, pode ser visualizado na tabela 3.

Tabela 3 - Força de Tração Conforme o Processo de Cura

<b>Forma de Cura</b>	<b>Tipo de areia</b>	<b>Valor médio de força (N)</b>
<b>Cura a 18°C</b>	Virgem + Recuperada	462,23
<b>Cura a 18°C</b>	100 % virgem	616,32
<b>Cura a 25°C</b>	100 % virgem	649,86
<b>Cura a Quente</b>	100 % virgem	732,66

Fonte: Próprio Autor

Os valores de força podem ser traduzidos em valores de tensão de ruptura ( $\sigma$ ), seguindo a equação 1. A área da seção transversal do corpo-de-prova é apresentada na Figura 4.

$$\sigma = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \quad (\text{Eq. 1})$$

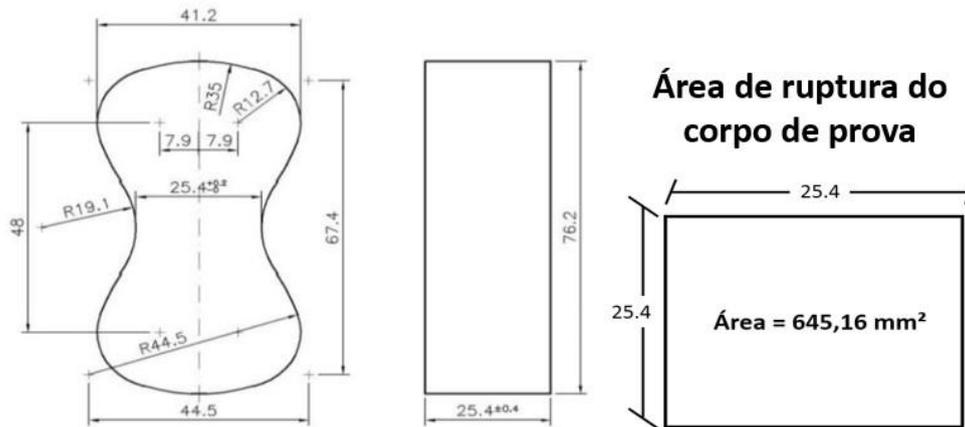


Figura 9 - Corpo de Prova Utilizado

Fonte: Próprio Autor

A unidade usual para esse tipo de resultado é dado em N/cm<sup>2</sup>, segundo a normativa CEMP-162 disposta pela CEMP-Comissão de Estudos de Matérias Primas. Com a equação (1), obteve-se as seguintes tensões, apresentadas pela Tabela 4:

Tabela 4 - Tensão de Ruptura dos Moldes

Forma de Cura	Tipo de areia	Valor médio da Tensão de Ruptura (N/cm <sup>2</sup> )
Cura a 18°C	Virgem + Recuperada	7,16
Cura a 18°C	100 % virgem	9,55
Cura a 25°C	100 % virgem	10,07
Cura a Quente	100 % virgem	11,35

Fonte: Próprio Autor

Os parâmetros levados em consideração foram a porcentagem de areia virgem, que tem importância relevante como se viu nos resultados, a temperatura, considerando duas diferentes (18°C e 25°C) e a temperatura da estufa que é de 150°C quando curado com cura a quente.

Quando fixado uma porcentagem de areia e alterado a temperatura ocorreu uma variação significativa na tensão de ruptura. Com uma temperatura superior de 7°C, o molde se tornou 5,5% mais resistente a ruptura.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Após a análise dos resultados, o trabalho evidenciou o aumento da resistência à ruptura para os corpos-de-prova curados a quente (estufados), em relação aos espécimes curados a frio. A diferença, nesta pesquisa, foi de 18,8% no caso mais crítico, considerando-se a mistura com apenas areia virgem.

Em relação às moldagens curadas a frio, foi possível se constatar que variações sutis de temperatura ambiente podem apresentar consideráveis variações de resistência à ruptura. Pode-se perceber que um aumento de apenas 7°C representou 5,2% de incremento de resistência aos moldes, o que lança alerta para as moldagens nos dias mais frios do inverno, onde as temperaturas locais alcançam temperaturas próximas a 0°C. Resta evidenciada a necessidade de se controlar a resistência dos moldes diariamente, para verificar o comportamento destes de acordo com a temperatura e umidade do ar em cada caso.

Por fim, a pesquisa identificou a diferença de 25% na resistência a ruptura em favor de moldes que se utilizaram apenas areia virgem, em relação a moldagens com 95% de areia recuperada.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a empresa Medal Fundação Ltda por todo o apoio e materiais cedidos à pesquisa. Ao laboratório LABEMM (Laboratório de Ensaios Mecânicos e Metalúrgicos) do Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna, que disponibilizou a máquina de ensaios universal. Este projeto é financiado com recursos do Instituto Federal Catarinense, a quem os autores também agradecem.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIFA. CEMP-162 **Resina cura a frio para fundição - determinação da resistência à tração da mistura-padrão.** Comissão de Estudos de Matérias-Primas, ABIFA. Julho de 2017

ABIFA. CEMP-163 **Resina cura a frio para fundição - determinação da Vida Útil Pelo Método de Resistência à tração Da Mistura Padrão** Comissão de Estudos de Matérias-Primas, ABIFA. Julho de 2017

ABIFA. CEMP-186 **Materiais Para Fundição – Determinação Da Colapsibilidade Em Areias De Macharia.** Comissão de Estudos de Matérias-Primas, ABIFA. Julho de 2017.