

## ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA RESINA ALCALINA DE CURA ESTER COM A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA\*

*Keli Vanessa Salvador Damin<sup>1</sup>  
Aguinaldo Pereira Gonzalez<sup>2</sup>*

### Resumo

A produtividade de uma linha de moldagem numa fundição é determinada pela vida de banca dos moldes. No processo com resina fenólica alcalina (Alphaset), a cura ocorre devido à reação de polimerização entre a resina e o catalisador orgânico ester. O tempo no qual a reação de polimerização ocorre é influenciado por dois fatores: temperatura e a relação entre a quantidade de resina e catalisador (vazão mássica). Esse estudo procura estabelecer um entendimento entre estes dois fatores no tempo de banca, estabelecendo o mais predominante, para que assim possa-se aperfeiçoar o processo utilizando a quantidade adequada de resina e catalisador, sem perder a produtividade. Para avaliar o efeito da temperatura no tempo de banca foi realizado o teste de gel time com a resina em diversas temperaturas. Para avaliar a variação da vazão mássica da resina devido as diferentes condições de temperaturas foi realizado o ensaio com o Copo Ford. Observou-se que o tempo de polimerização da resina reduz exponencialmente com o aumento da temperatura da resina, sendo o inverso verdadeiro também. O teste com o Copo Ford mostrou que a vazão da resina é muito sensível a temperatura, aumentando quase 40% num acréscimo de 10°C na temperatura.

**Palavras-chave:** Resina; Vazão mássica; Fundição.

### STUDY OF BEHAVIOR POLYMERIZATION RESIN ALKALINE ESTER WITH TEMPERATURE CHANGE

### Abstract

The productivity in a casting molding line is determined by the bank of life of the molds. In Alphaset process healing occurs because of the polymerization reaction between the resin and the catalyst. The time at which the polymerization reaction occurs is influenced by two factors: the relationship between temperature and the amount of resin and catalyst (mass flow). This study wishes to establish an understanding between these two factors in the banking time, establishing the most prevalent, so we can optimize the process using the best type of resin and catalyst, without losing productivity. To evaluate the effect of temperature on the bank time was conducted the gel time test with the resin at different temperatures. To evaluate the variation of mass flow of resin due to the different conditions of temperature was carried out the test Ford Cup. It was observed that the resin polymerization time decreases exponentially with increasing temperature of the resin, and the opposite is also true. The Ford Cup test showed that the flow of the resin is very sensitive to temperature, increasing almost 40% with in a 10°C increase in temperature.

**Keywords:** Resin; Mass flow; Foundry.

<sup>1</sup> *Engenheira de materiais, mestre, professora, curso técnico em mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina, Chapecó, Santa Catarina, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Metalurgista. Pós-graduado em Gestão de Produção pelo INPG. Metalúrgica Spillere, Nova Veneza, Santa Catarina, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

O gargalo para muitas fundições está na etapa de moldagem, esta que por sua vez é determinada pela vida de banca do molde [1]. Esse tempo é em função de dois fatores: temperatura e a proporção entre resina e catalisador [2].

Em dias frios há uma diminuição da quantidade de moldes produzidos devido ao aumento do tempo da reação de cura da resina, que é causada pela temperatura mais amena. Já em dias mais quentes há uma perda de moldes devido ao rápido processo de cura da mesma, que por vezes acontece mesmo antes de se terminar o molde. Esse problema é agravado se além da temperatura ambiente estiver elevada, se acrescentar areia quente ao processo, pois geralmente os trocadores de calor dos sistemas de areia também perdem a eficiência no verão.

Dessa forma é necessário trabalhar com resinas ou catalisadores que se adequem melhor a essa instabilidade no processo, e que também possam reduzir os custos do mesmo. Esse estudo procura estabelecer um entendimento entre estes dois fatores na vida de banca, estabelecendo o mais predominante, para que assim possa-se aperfeiçoar o processo utilizando a melhor relação de resina e catalisador, sem perder a produtividade.

No processo de cura a frio temos dois tempos importantes, a saber:

- Vida de banca: tempo que o processo de polimerização da resina inicia-se
- Tempo de cura: tempo que o processo de polimerização da resina termina.

Atingido o tempo de cura não é mais possível ligar os grãos de areia, se houver grãos não ligados no molde, esses são removidos facilmente pelo metal líquido podendo causar problemas nas peças fundidas. Em moldes pequenos essas diferenças no tempo de cura não são muito perceptíveis e até apreciadas, pois há um aumento na produtividade. Fator que já é indesejável em moldes grandes, pois devido à demora no preenchimento da caixa de moldagem podem ocorrer regiões com diferentes tempos de cura, causando a falta de coesão no molde, podendo ocasionar quebras, penetração de metal ou em casos mais graves vazamento dos moldes.

Em função disso foi realizado um estudo para verificar a influência da temperatura na vida de banca da resina. Nos testes foi utilizada uma resina comercial, aquecida em várias temperaturas para simular as variações da temperatura da areia.

A vazão mássica de resina e catalisador também tem importância no processo de cura. O catalisador possui uma viscosidade praticamente constante independentemente se o dia é típico de verão ou inverno [3]. O mesmo não ocorre para a resina que tem sua viscosidade afetada em função da sua temperatura que a mesma se encontra. Deste modo em dias quentes adentra mais resina no processo do normalmente se esperaria; já em dias frios a viscosidade da resina aumenta, o que dificulta a passagem da resina pela bomba, fazendo diminuir a taxa na qual a resina chega no processo de moldagem.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Vida de Banca

O ensaio para avaliar a vida de banca foi o de gel time, para isso usou-se  $50,000 \pm 0,010$ g de resina do tipo alcalina, para  $12,500 \pm 0,010$ g de catalisador lento (triacetina). Os dois componentes foram misturados num recipiente por 1 minuto com o auxílio de um bastão de vidro e em seguida deixados em repouso. O tempo entre a

mistura dos componentes até a vida de banca foi cronometrado. Nos testes a resina foi aquecida em várias temperaturas (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C) para simular as variações da temperatura da areia, já o catalisador permaneceu a mesma temperatura de 25 °C em todos os ensaios. Este ensaio foi realizado 4 vezes para cada uma das temperaturas estudadas.

## 2.2 Vazão Mássica

Para avaliar a vazão mássica da resina foi realizado o ensaio com o Copo Ford. O ensaio constitui em determinar quanto tempo certo material (neste caso a resina) levava para escoar por um determinado orifício. O orifício utilizado foi o de número 3. O material foi colocado no Copo Ford, retirado seu excesso e à primeira interrupção do fluxo o tempo era anotado e massa de resina que escoou era pesada. O ensaio foi realizado com a resina em diferentes temperaturas (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C). Para cada uma das temperaturas foram realizadas três medições.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

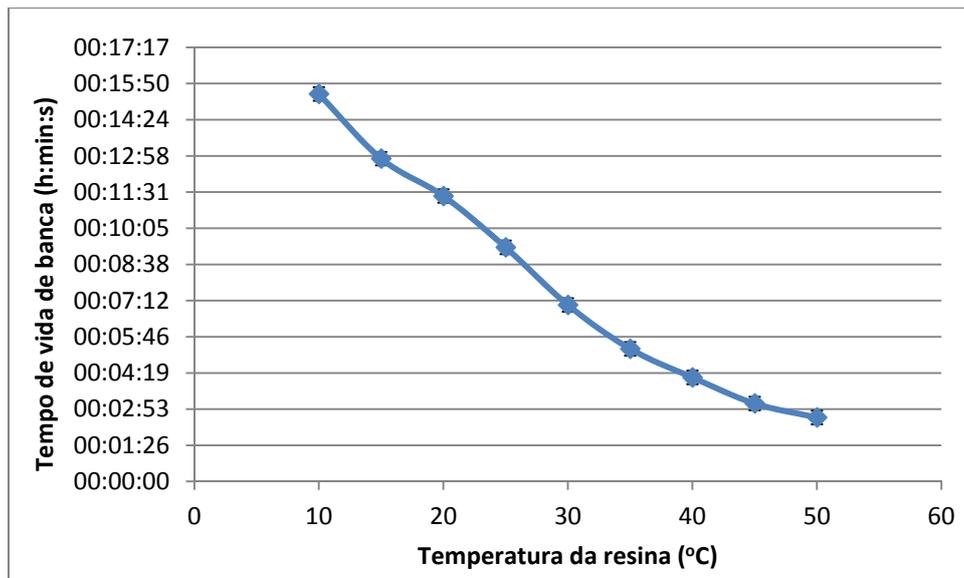
### 3.1 Vida de Banca

A Tabela 1 mostra os tempos de vida de banca obtidos no ensaio de gel time com a resina alcalina. A Figura 1 ilustra os resultados obtidos a partir da Tabela 1.

**Tabela 1.** Tempo de banca para resina em várias temperaturas.

Vida de banca (h:min:s)						
Temperatura da resina (°C)	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Média	Desvio padrão
10	00:15:35	00:15:15	00:14:48	00:16:04	<b>00:15:25</b>	00:00:32
15	00:13:38	00:12:19	00:13:07	00:12:20	<b>00:12:51</b>	00:00:39
20	00:11:22	00:11:27	00:11:32	00:11:06	<b>00:11:22</b>	00:00:11
25	00:09:10	00:09:23	00:09:25	00:09:19	<b>00:09:19</b>	00:00:07
30	00:07:00	00:06:40	00:07:13	00:07:13	<b>00:07:01</b>	00:00:16
35	00:04:53	00:05:13	00:05:42	00:05:19	<b>00:05:17</b>	00:00:20
40	00:04:21	00:03:59	00:04:07	00:04:07	<b>00:04:09</b>	00:00:09
45	00:03:07	00:03:11	00:02:55	00:03:12	<b>00:03:06</b>	00:00:08
50	00:02:30	00:02:37	00:02:35	00:02:29	<b>00:02:33</b>	00:00:04

Os resultados mostram que à medida que a temperatura aumenta o tempo de banca reduz, sendo o oposto verdadeiro também. A Figura 1 ainda mostra que esse comportamento apresenta-se com uma tendência exponencial.



**Figura 1.** Vida de banca da resina em função da temperatura.

Assumindo o tempo referente à temperatura de 25 °C como o tempo de vida de banca padrão é apresentada a Tabela 2, a qual mostra o acréscimo ou a redução, em percentual, do tempo de vida de banca em função do tempo de banca à temperatura de 25 °C.

**Tabela 2.** Variação o tempo de banca em percentual.

Temperatura da resina (°C)	Variação do tempo de banca
10	Acréscimo de 65,4%
15	Acréscimo de 37,9%
20	Acréscimo de 15,7%
25	Padrão
30	Redução de 24,6%
35	Redução de 44,5%
40	Redução de 55,4%
45	Redução de 66,7%
50	Redução de 72,6%

Pode-se observar que há uma redução no tempo de banca com o acréscimo da temperatura da resina, principalmente quando a resina tem um incremento de 15 °C sobre a temperatura padrão, onde a mesma começa a apresentar um comportamento instável.

### 3.1 Vazão Mássica

A Tabela 3 apresenta resultados de tempo de escoamento e massa escoada obtidos no teste com o Copo Ford para as diversas temperaturas estudadas.

**Tabela 3.** Resultados do ensaio com Copo Ford para resina estudada.

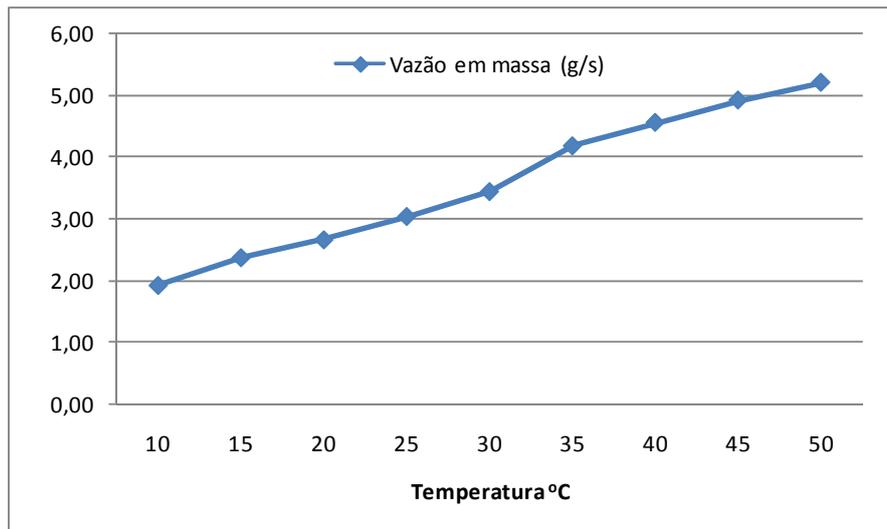
Temperatura (°C)	Tempo (s)	Massa (g)
10	68,84 ± 0,99	132,020 ± 0,625
15	55,09 ± 0,77	130,206 ± 0,924
20	49,42 ± 0,28	131,068 ± 0,937
25	43,02 ± 0,27	130,298 ± 0,816
30	38,10 ± 1,18	130,746 ± 0,473
35	31,04 ± 0,20	129,419 ± 1,146
40	28,24 ± 0,64	128,396 ± 1,515
45	26,39 ± 0,36	129,568 ± 0,196
50	24,95 ± 0,27	129,581 ± 0,036

Observa-se que diminuindo a temperaturas o tempo necessário para escoar a mesma quantidade de massa aumenta expressivamente sendo o inverso verdadeiro também, ou seja, para temperaturas maiores o tempo para escoar a resina diminui. A Tabela 4 mostra esta diferença mais detalhadamente, onde é mostrada a vazão mássica para cada temperatura estudada.

**Tabela 4.** Vazão mássica apresentada no teste com o Copo Ford.

Temperatura (°C)	Vazão em massa (g/s)
10	1,92
15	2,36
20	2,65
25	3,03
30	3,43
35	4,17
40	4,55
45	4,91
50	5,19

A Tabela 4 comprova que a vazão muda sensivelmente com a temperatura, onde, por exemplo, a 10 °C somente 1,92 g de resina por segundo são despejadas no processo enquanto que a 50 °C este valor cresce para 5,19 g, um aumento de 270 %. A Figura 2 ilustra estes dados.



**Figura 2.** Vazão mássica da resina. Valores obtidos da Tabela 4.

Observa-se, na Figura 2, que até 30 °C a curva possui uma tendência linear. Um salto na vazão é encontrado entre 30 °C e 35 °C e após esta temperatura a curva apresenta-se linear novamente. A Tabela 4 mostra essas variações em percentual considerando a temperatura de 25 °C como a padrão. O ponto mais crítico ocorre quando a temperatura passa de 30 °C para 35 °C onde a vazão praticamente triplica.

**Tabela 4.** Variação da vazão mássica em percentual.

Temperatura (°C)	Variação da vazão mássica
10	Redução de 36,4%
15	Redução de 22,1%
20	Redução de 12,5%
25	Padrão
30	Aumento de 13,29%
35	Aumento de 37,65%
40	Aumento de 50,13%
45	Aumento de 62,08%
50	Aumento de 71,50%

### 3.3 Comparativo - Vida de Banca versus Vazão Mássica

A fim de avaliar a influência da temperatura tanto quanto da vazão mássica, foi realizado o teste de gel time nas temperaturas mais usuais encontradas em produção (15, 20, 30 e 35 °C) [4] em duas etapas: utilizando-se a quantidade de resina obtida de acordo com a vazão mássica de cada temperatura, veja a Tabela 5, (note que para esse caso o percentual de catalisador em relação a massa de resina se altera para cada temperatura); e com a quantidade de resina fixa, numa proporção de 75 % resina e 25 % de catalisador (que é a proporção padrão na indústria), veja a Tabela 6. Nos testes a temperatura ambiente e do catalisador se manteve em 27 °C.

**Tabela 5.** Teste de gel time. Os parâmetros utilizados levam em consideração a vazão mássica de resina para cada temperatura usada.

Temperatura da resina (°C)	Massa de resina (g)	Massa de catalisador (g)	Percentual mássico de resina x catalisador
15	38,95	12,5	68% x 32%
20	43,75	12,5	71% x 29%
30	56,64	12,5	78% x 22%
35	68,83	12,5	82% x 18%

**Tabela 6.** Teste de gel time, utilizando a proporção padrão de resina/catalisador.

Temperatura da resina (°C)	Massa de resina (g)	Massa de catalisador (g)	Percentual mássico de resina x catalisador
15	50,00	12,5	75% x 25%
20	50,00	12,5	75% x 25%
30	50,00	12,5	75% x 25%
35	50,00	12,5	75% x 25%

Não foram realizados testes com a temperatura de 25 °C porque ela é considerada a temperatura padrão. Os resultados estão na Tabela 7.

**Tabela 7.** Os resultados obtidos dos testes das Tabelas 5 e 6.

Temperatura da resina (°C)	Massa de resina (g)	Massa de catalisador (g)	Média dos tempos encontrados (h:min:s)
15	38,95	12,5	00:09:29
15	50,00	12,5	00:09:49
20	43,75	12,5	00:06:45
20	50,00	12,5	00:07:34
30	56,64	12,5	00:04:44
30	50,00	12,5	00:04:13
35	68,83	12,5	00:04:11
35	50,00	12,5	00:03:47

Na Tabela 7 observa-se que, para a mesma temperatura, quando se aumenta a quantidade de resina (diminuindo a proporção de catalisador) aumenta-se também o tempo de banca, e o oposto também é válido, ou seja, quando se reduz a quantidade de resina (aumentado a proporção de catalisador) também se reduz o tempo de banca. Essas variações são mostradas percentualmente na Tabela 8.

**Tabela 8.** Variação do tempo de vida de banca quando se altera a quantidade de resina de acordo com os resultados do teste de vazão mássica.

Variação do tempo de banca quando realizado o ensaio de gel time com:			
Temperatura da resina (°C)	A resina numa proporção de 75% x 25%	A resina de acordo com a vazão mássica de cada temperatura	Saldo
15	↑ 37,9%	↓ 3,4%	↑ 34,5%
20	↑ 15,7%	↓ 10,8%	↑ 4,9%
30	↓ 24,6%	↑ 12,2%	↓ 12,4%
35	↓ 44,5%	↑ 10,6%	↓ 33,9%

De acordo com o resultado apresentado na coluna “saldo” na Tabela 8, pode-se concluir que a temperatura possui um efeito superior na vida de banca do que a proporção entre resina e catalisador que entra no processo (vazão mássica); ou seja, mesmo alterando a relação entre a quantidade de resina e catalisador é a temperatura do processo que determinará a velocidade da reação de polimerização.

#### 4 CONCLUSÃO

A temperatura tem um efeito muito significativo na vida de banca da resina. Seja a temperatura proveniente da areia ou do ambiente, ela pode ser considerada crítica para valores acima de 35 °C.

A temperatura tem um efeito expressivo na vazão mássica da resina. Esse efeito é mais pronunciado para temperaturas igual ou superior a 35 °C.

No comparativo entre temperatura e quantidade de resina e catalisador, observa-se que a proporção entre resina e catalisador que entra no processo possui um efeito menor do que da temperatura, no que diz respeito ao tempo de vida de banca do molde.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Alves, Luiz Henrique Dias. Stack molding: uma solução para melhoria da qualidade e produtividade na produção de peças de pequeno porte e grandes séries fundidas em moldes de areia. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais*. v. 1 n. 4, p. 22 - 25. 2005.
- 2 Chiaverini, Vicente. Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7. ed., ampl. e rev. São Paulo: ABM, 2002. 599 p.
- 3 Halliday, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. Física 2. 4. ed. -. Rio de Janeiro: LTC; 1996.
- 4 Períodos de Maiores e Menores Temperaturas e Pluviosidades Climatológicas. Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>. Acesso em: 17 nov. de 2014.