

Nº 179342

Ferro fundido de alto cromo como material alternativo para a produção de moldes de injeção: desenvolvimento e avaliação de protótipos

Bianka Nani Venturelli

*Palestra apresentado na In: ENCONTRO
SUL-AMERICANO DE USUÁRIOS
MAGMA, 2024, Curitiba. 37 slides.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

PROIBIDO REPRODUÇÃO

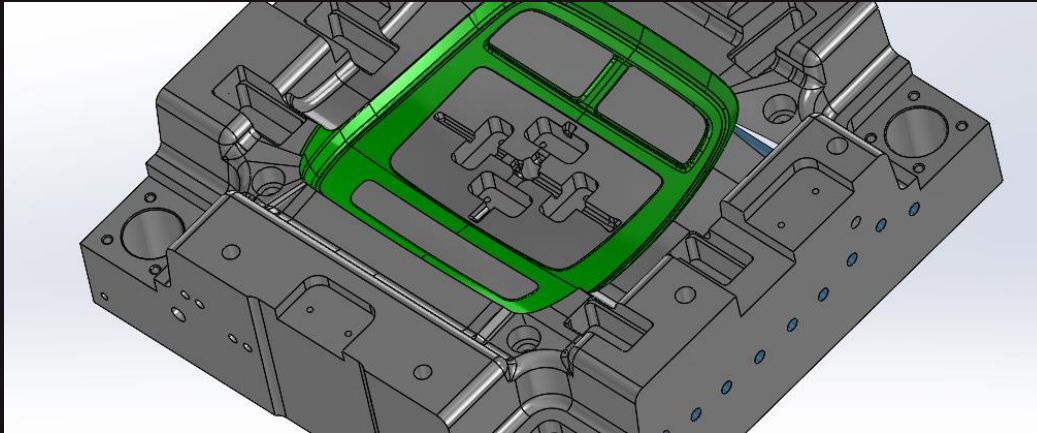


ENCONTRO
SUL-AMERICANO

DE USUÁRIOS MAGMA

User Group Meeting MAGMA 2024

09 e 10 de Maio de 2024 | Curitiba

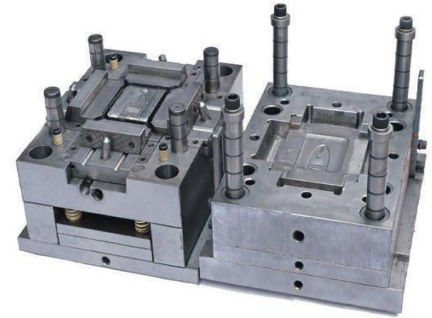


Ferro fundido de alto cromo como material alternativo para produção de moldes de injeção

Desenvolvimento e avaliação de protótipos

Ferros fundidos de alto cromo como alternativa para a produção dos moldes

- Tradicionalmente os moldes para injeção de polímeros são produzidos por meio de usinagem de blocos forjados de aço-ferramenta, como o P20.
- A utilização de ligas da classe dos ferros fundidos de alto cromo para a produção desses moldes pode proporcionar:
 - Redução do volume de material a ser removido por usinagem, já que o processo de fundição permite utilizar o conceito de “near net shape”.
 - Material com elevada resistência ao desgaste, dispensando a utilização de revestimentos duros nas aplicações relativas a polímeros de maior abrasividade.
 - **Possibilidade de obter o molde com canais para refrigeração diretamente no processo de fundição.**
 - Facilidade para reciclagem do material no final de vida útil.



Ferros fundidos de alto cromo

- Ligas do sistema Fe-Cr-C, com %Cr \geq 10 e %C \geq 1,8%.
- Composições químicas descritas na norma ASTM - A532.

DUREZAS Brinell		
Bruto de fusão	Recozido	Temperado
450 a 550	350 a 450	600 a 800

Aplicações tradicionais

Bolas de moinho



Revestimento de moinho



Bombeamento de lamelas abrasivas



Foco: resistência ao desgaste (material)
e geometrias (processo)

moagem de carvão



Ferro fundido de alto cromo

Microestrutura

- Os FFAC são “compósitos” naturais:
 - Matriz** : 60 a 90% de “aço”
 - Resistência mecânica
 - Tenacidade
 - “Fabricabilidade”:
 - fundição e usinagem
 - Carbonetos M_7C_3** :
10 a 40% de “cerâmica”
 - Resistência ao desgaste

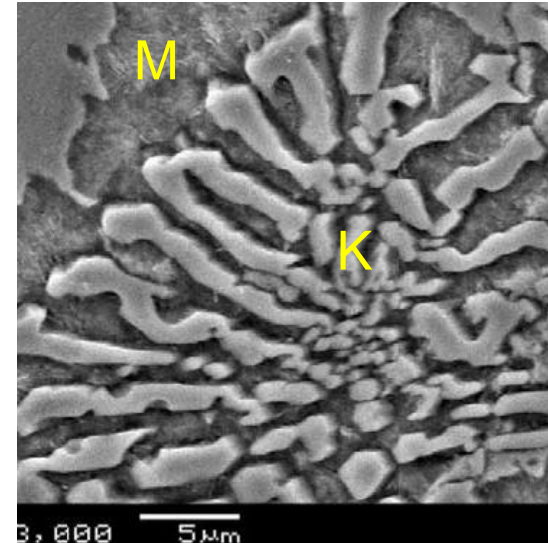
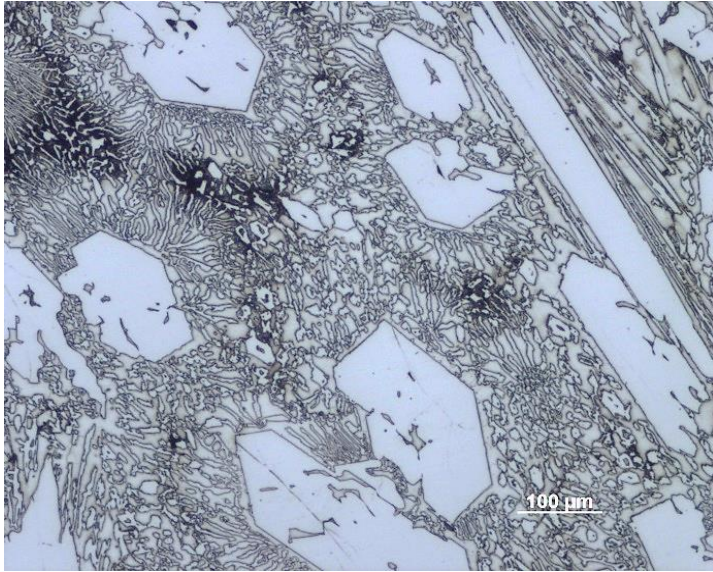


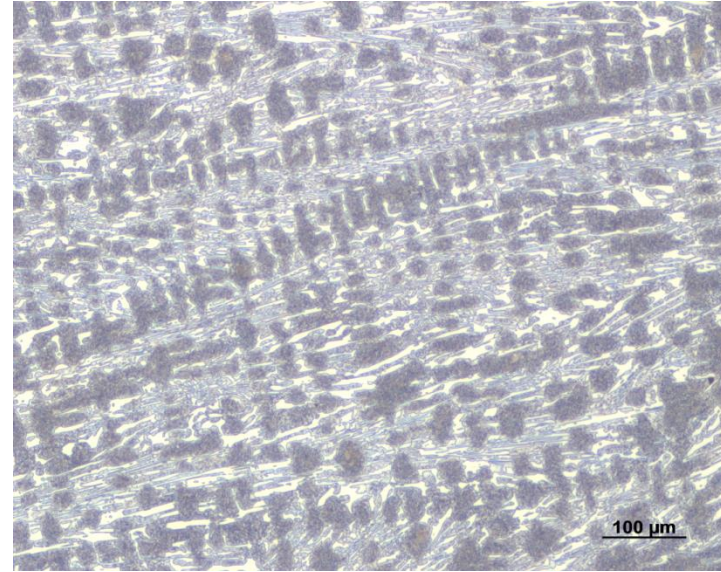
Imagem em microscópio eletrônico indicando as regiões de carboneto (K) e matriz (M). Tese de doutorado Eduardo Albertin.

Microestrutura típica



Microestrutura típica consiste em carbonetos primários duros (M_7C_3) e/ou carbonetos eutéticos em uma matriz austenítica (BF).

Liga 30D, BF, 100x. Ataque: Villela.



Microestrutura típica hipoeutética consiste em regiões dendríticas e eutéticas (Recozimento 730°C).

Liga 19Cr, 100x. Ataque: Villela.

Ferramentas para desenvolver ou selecionar ligas

1) Solidificação / fundição

- Seleção da CQ básica (%Cr, %C).
- Previsão da % carbonetos e % dendritas.
- Previsão das T de início e fim de solidificação.

>Thermo-Calc

>Superfície liquidus Fe-Cr-C

>Análise térmica

>MAGMASOFT®

Análise térmica

Registro da curva de resfriamento ($T \times t$) da liga metálica



Recipiente



Sistema de aquisição



Computador

Aplicações- conseguimos prever: Grau de inoculação, propensão à rechupes, SDAS e DAS, morfologia da grafita, microestrutura de solidificação.

Reprodutibilidade/controlado da microestrutura -> propriedades mecânicas

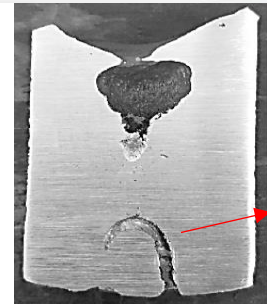
Análise térmica

Princípios

1-) A **formação de fases sólidas** no metal que resfria na cápsula de AT ocorre com a liberação do “calor latente”.

- ✓ O calor que foi necessário para fundir o material é devolvido ao ambiente.

2-) A liberação de calor devido à formação de fases sólidas **diminui o ritmo de resfriamento** registrado pelo termopar.



Termopar

Corpo de prova (seção transversal) obtido de uma cápsula de análise térmica

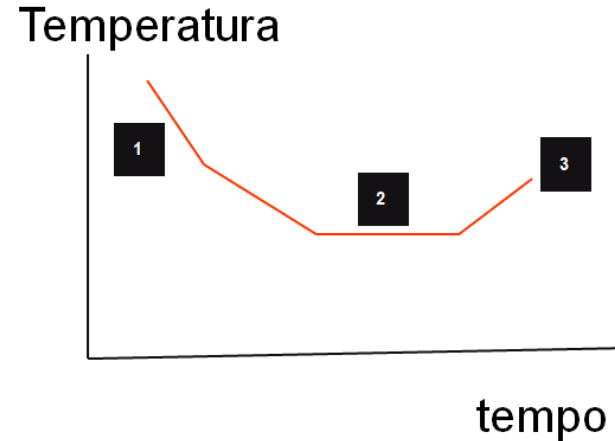
Análise térmica

Princípios

O aspecto dos eventos que aparecem nas curvas de AT depende somente do equilíbrio ou desequilíbrio entre a **retirada de calor** e a **geração de calor** dentro da amostra.

Podem ocorrer:

- Mudanças na inclinação (1)
- Patamares (2)
- Recalescências (3)



Análise térmica

Na prática...

- **Mudanças de Inclinação:** Reações envolvendo massas pequenas ou crescimento lento de fases.
- **Patamares:** Reações envolvendo crescimento rápido de frações grandes da massa da amostra
- **Recalescência:** Envolve grande dificuldade para nuclear e um crescimento relativamente rápido. É o caso do crescimento do eutético com grafita.

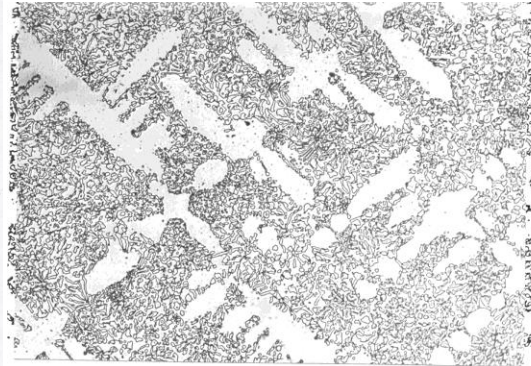
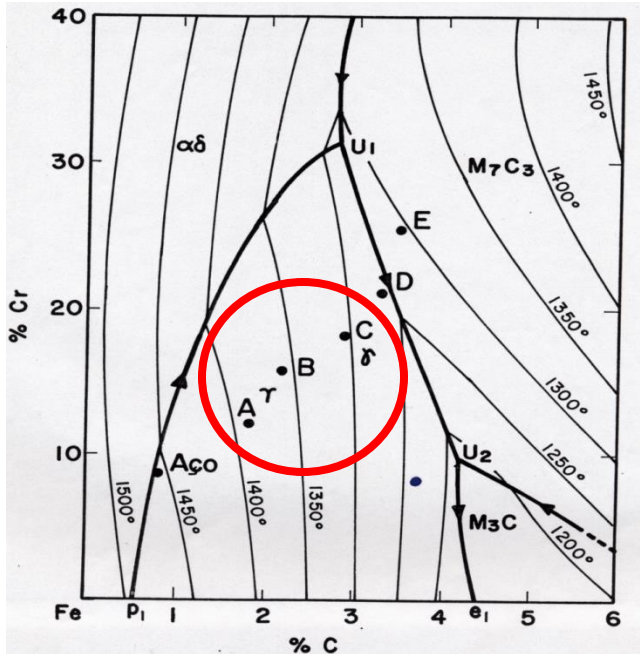
Sistemas de Análise térmica

Aplicações

- Nos sistemas de análise térmica podemos obter simultaneamente:
 - Gráfico da temperatura x tempo (T x t).
 - Derivada primeira (patamares).
 - Derivada segunda (inicio e final da solidificação).
 - Cálculo do CE com base na indicação da TL.
 - Cálculo do intervalo de solidificação da liga.
 - Outras análises quantitativas: grau da recalescência, inclinação dos patamares, etc.

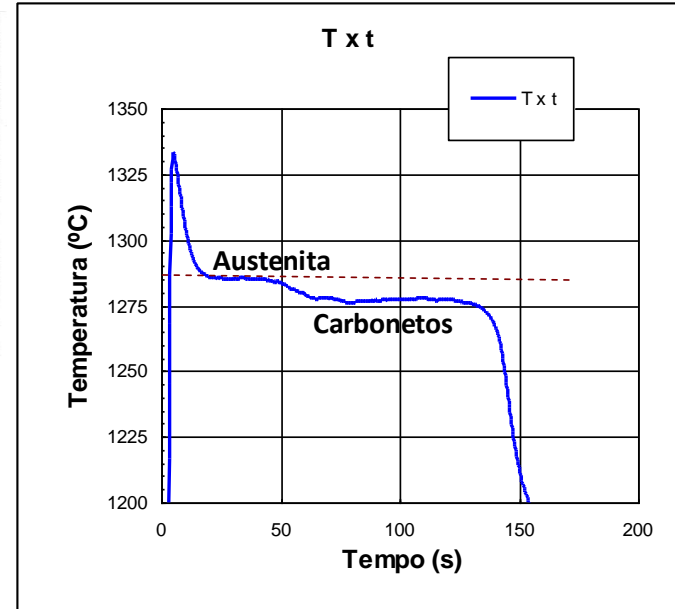
Superfície liquidus Fe-Cr-C e Análise térmica

Liga hipoeutética



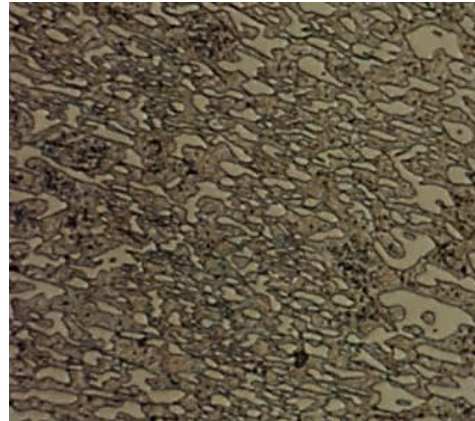
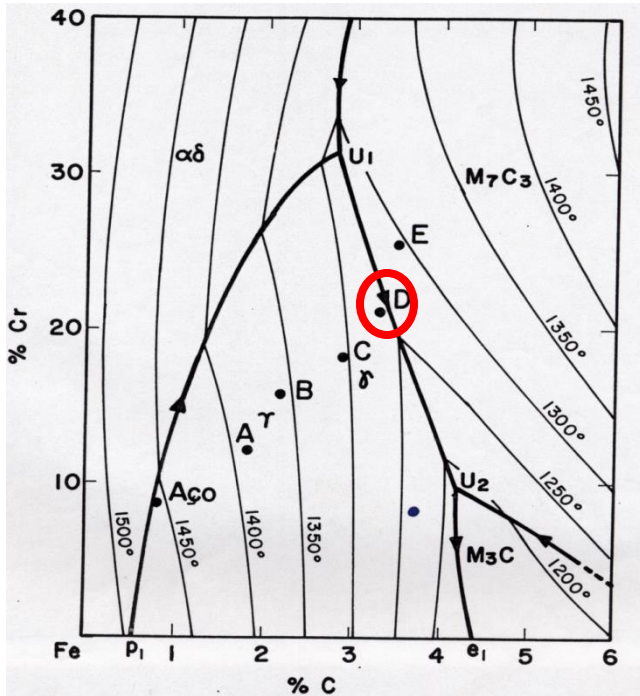
Microestrutura hipoeutética: dendritas de austenita (fase primária) e carbonetos eutéticos.

Curva de análise térmica



Superfície liquidus Fe-Cr-C e Análise térmica

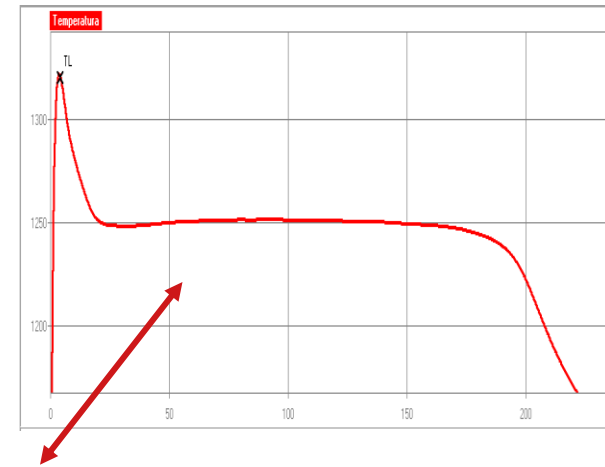
Liga eutética



A liga D é eutética.

Todo o líquido solidifica-se pela reação: $L \rightarrow \gamma + M_7C_3$

Curva de análise térmica



Formação da Matriz

Transformações em estado sólido

- A matriz metálica do FFAC é determinada pela interação entre CQ da matriz e tempos e temperaturas de reação:
 - 1) Altos teores de Cr, Mn, Ni, Mo na matriz favorecem a temperabilidade .
 - 2) Baixos teores desses elementos e resfriamento lento favorecem a perlita.
 - 3) **Martensita é obtida adequando a CQ à velocidade de resfriamento ou vice-versa.**

Tratamento térmico: formando a martensita

- Para obtenção da máxima resistência ao desgaste, os FFAC são temperados e revenidos.
- O tratamento térmico envolve basicamente 3 etapas:
 - 1) Re-austenitização ou desestabilização da austenita.
 - 2) Resfriamento “rápido”.
 - 3) Revenimento

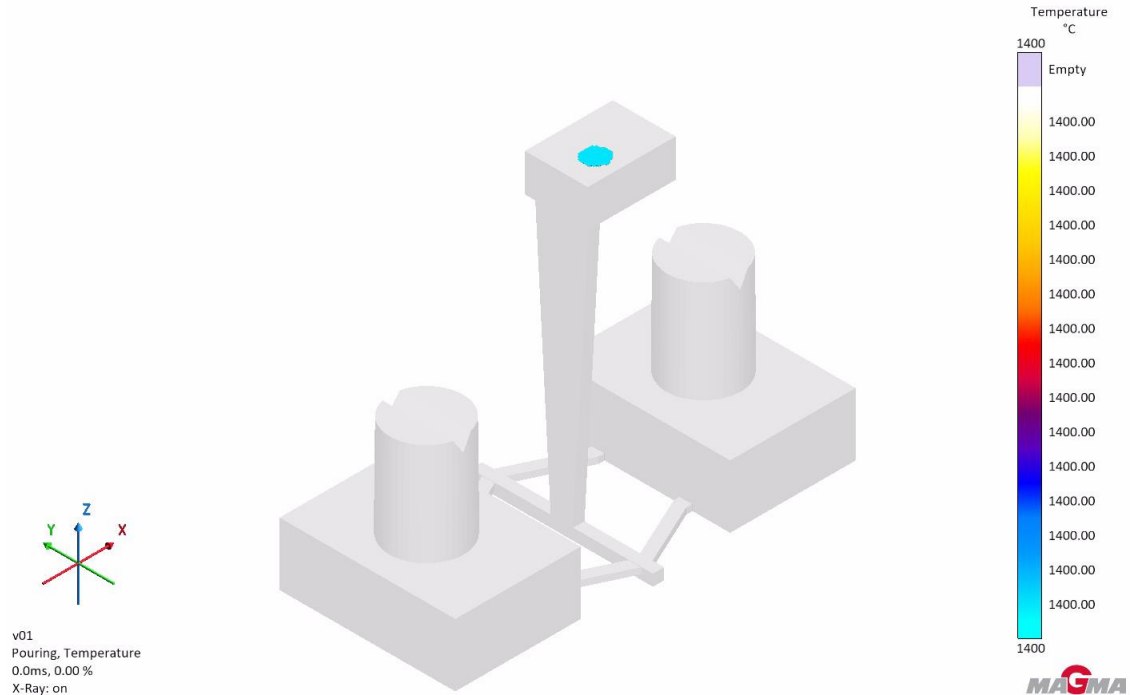
Projeto do sistema de fundição

- Dados e parâmetros do projeto de fundição

Dados de partida		Parâmetros selecionados		Parâmetros calculados	
Volume do bloco	663 cm ³	Contração na solidificação	6%	Massalote: Volume, D, H	497 cm ³ D=86 mm H=86 mm (reduzido depois, usando luva isolante)
Área do Bloco	528 cm ²	Rendimento do massalote	14%	V média na base do canal	82 cm/s
Peso	5 kg	Tempo de enchimento	10 s	Área na base do canal de descida	1,6 cm ²
Número de peças	2	Fator de perdas de velocidade nos canais	0,40	distribuição	2 ramais (seção de 0,8 cm ²)
Altura do sistema	24 cm	Posição massalote	topo	ataque	2 / pç

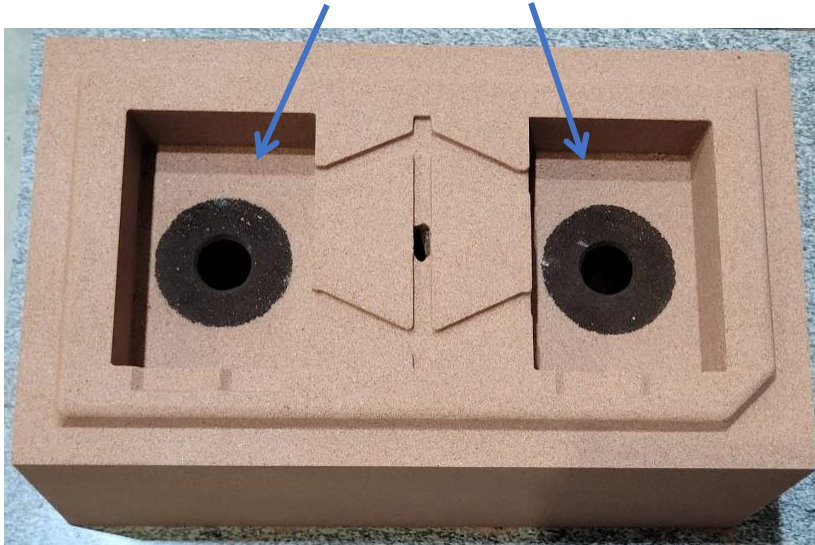
Desenvolvimento do sistema de fundição

Simulações realizadas no MAGMASOFT® para desenvolvimento do sistema de fundição dos corpos de prova

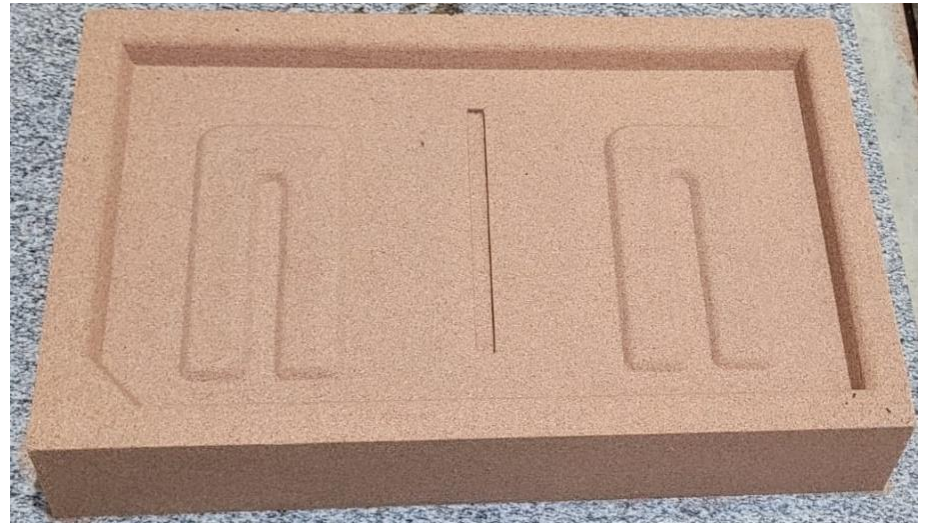


Molde de areia

Luvras isolantes inseridas na caixa de cima

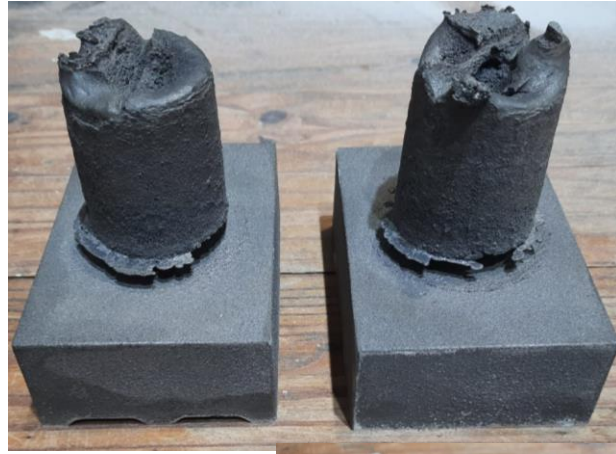


Superfície de trabalho na caixa de baixo



Desmoldagem

Corpos de prova para ensaios de usinagem



Peças finais com bom acabamento

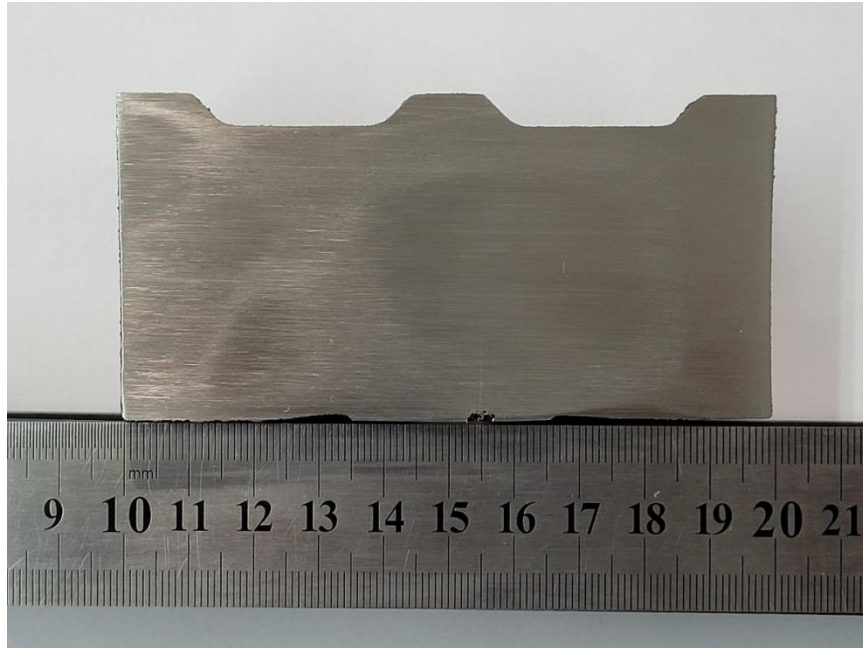


Foram disponibilizados blocos fundidos e tratados nas várias condições indicadas na Tabela.

LIGAS		Trat termico	
19 Cr	Hipoeutética	temperado	recozido
19 Cr	Eutética	temperado	recozido
26 Cr	Hipoeutética	temperado	recozido
26 Cr	Eutética	temperado	recozido

Corpos de prova para ensaios usinabilidade

Avaliação da sanidade – peça isenta de porosidades



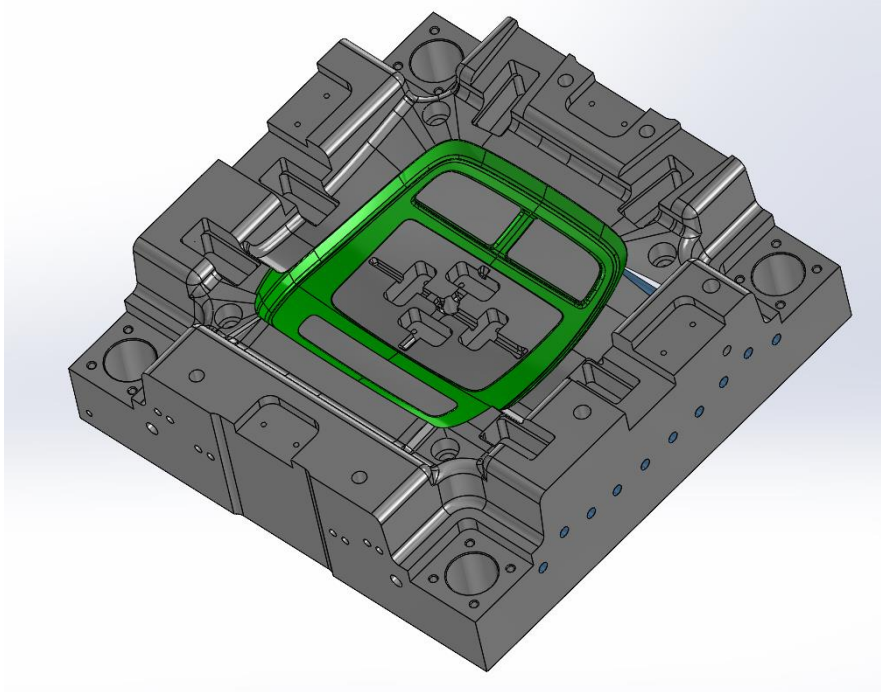
Conclusão dos ensaios de usinabilidade

- Os estudos de usinabilidade concluíram pela utilização da liga 19%Cr eutética temperada e revenida, com dureza controlada para a faixa 56-59HRC, para a produção do protótipo.
- Próxima etapa: Fundição e Tratamento térmico do protótipo.

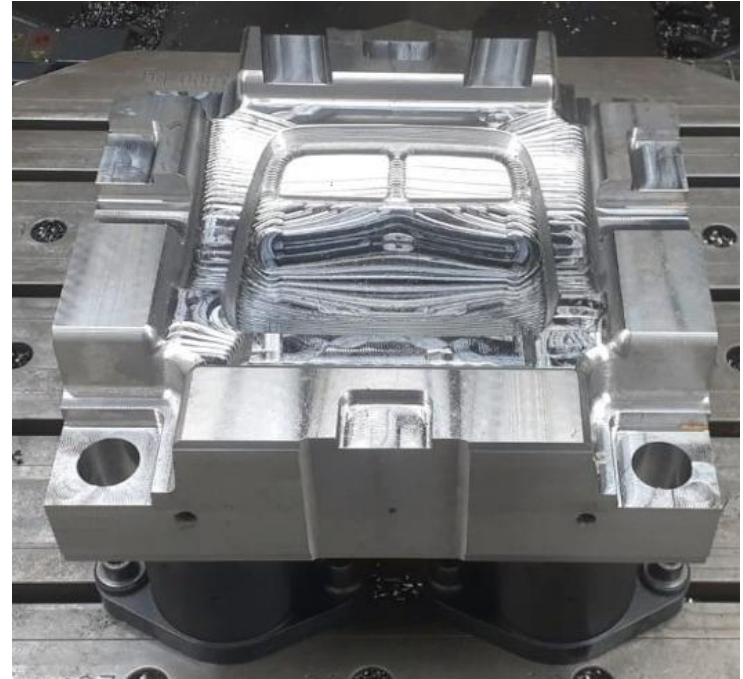
LIGAS		Tratamento térmico	
19 Cr	Hipoeutética	temperado	recozido
19 Cr	Eutética	temperado	recozido
26 Cr	Hipoeutética	temperado	recozido
26 Cr	Eutética	temperado	recozido

Sistema de fundição do protótipo

Estudos no MAGMASOFT®



Desenho do protótipo

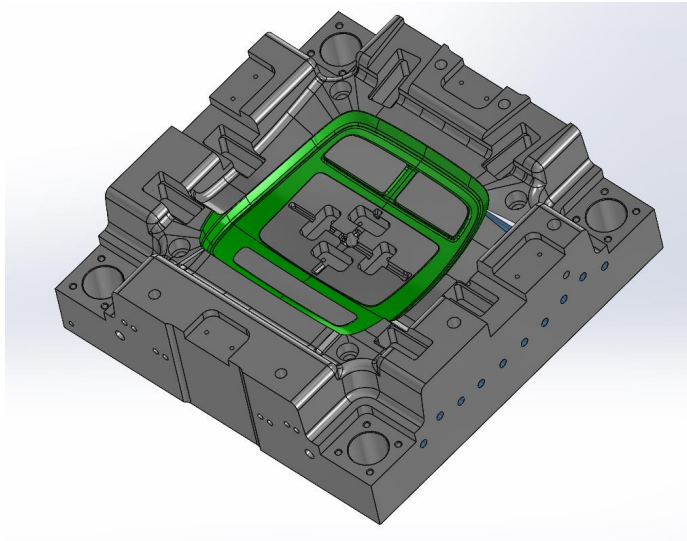


Protótipo fundido e usinado

Sistema de fundição do protótipo

Estudos no MAGMASOFT®

— Avaliação preliminar

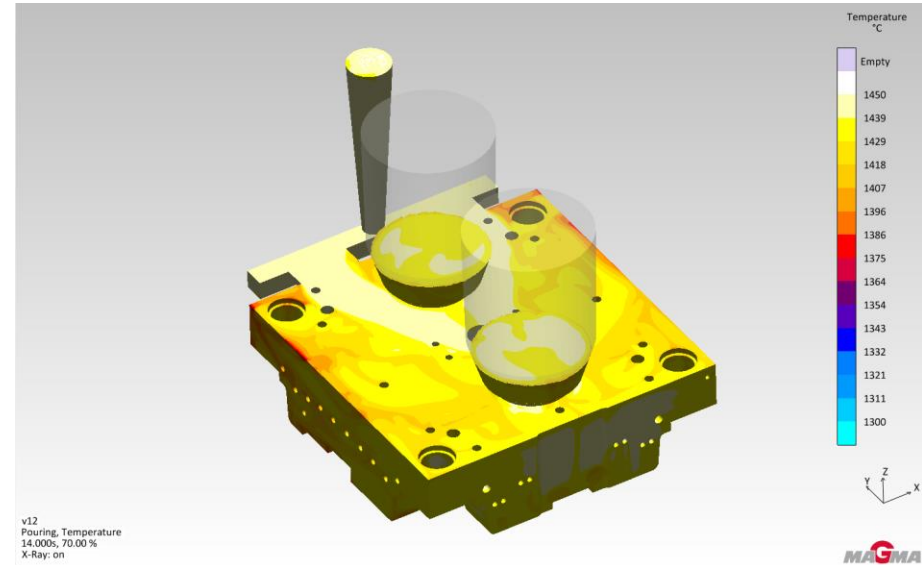


Solidificação natural: Regiões sujeitas a rechupe de contração durante a solidificação da peça



sistema de fundição do prototipo de molde - Estudo COM MAGMA

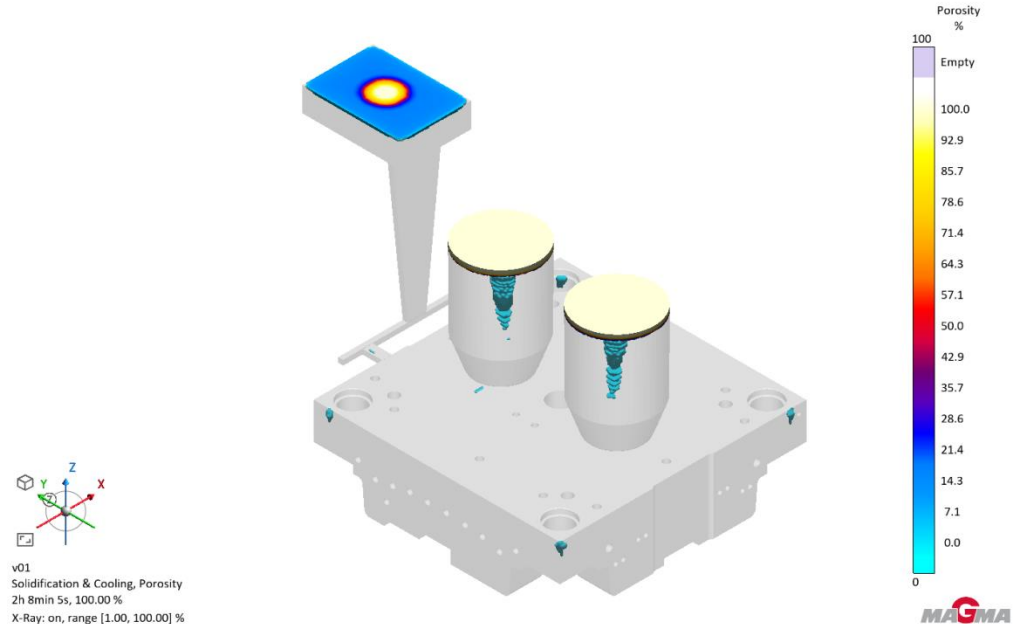
- Avaliação do sistema de enchimento (canais).
- A simulação mostra que todas as regiões da peça estão com temperatura adequada ao final do enchimento (1400-1440°C).



sistema de fundição do prototipo de molde - Estudo COM MAGMA

— Desenho e dimensionamento do sistema:

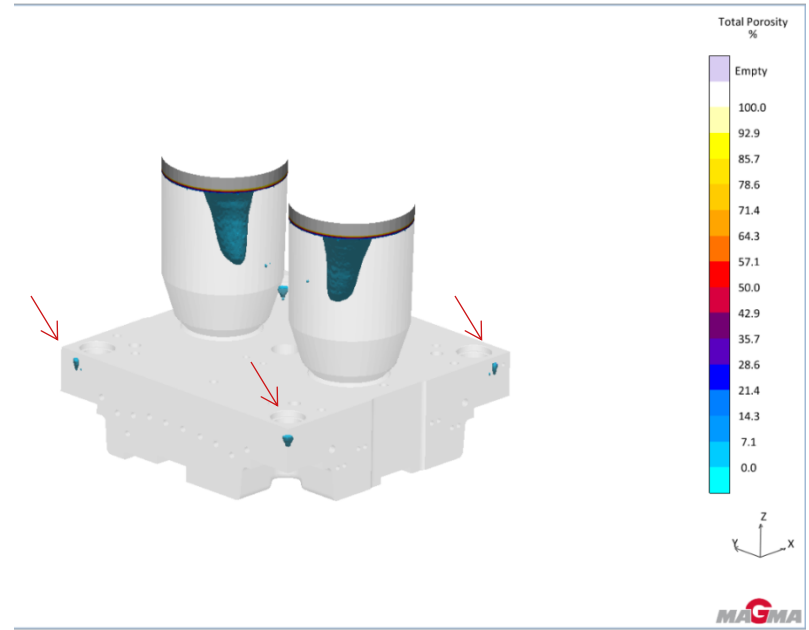
- Foram selecionadas e posicionadas duas luvas isolantes.
- A simulação no MAGMA mostrou que essas luvas permitiram atender aos 3 critérios da alimentação.



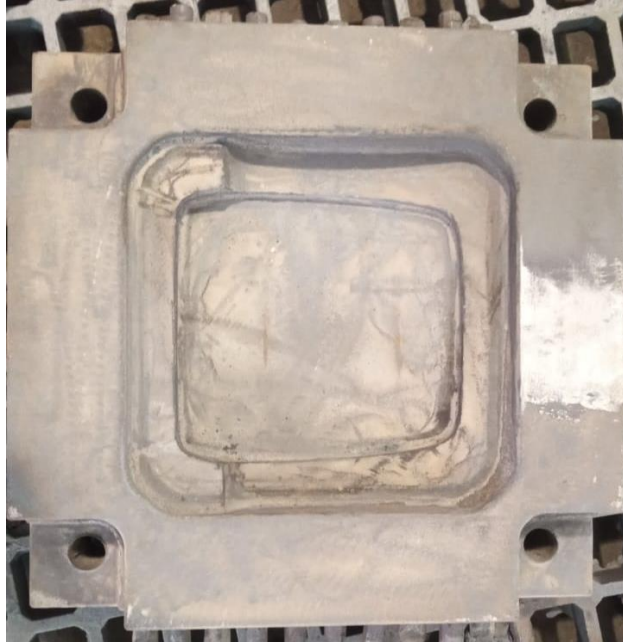
sistema de fundição do prototipo de molde - Estudo COM MAGMA

— Desenho e dimensionamento do sistema:

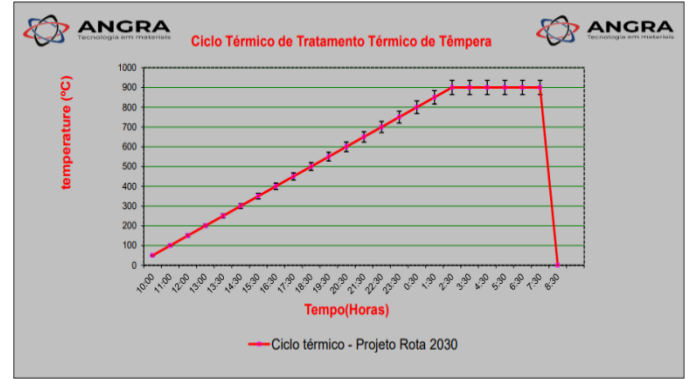
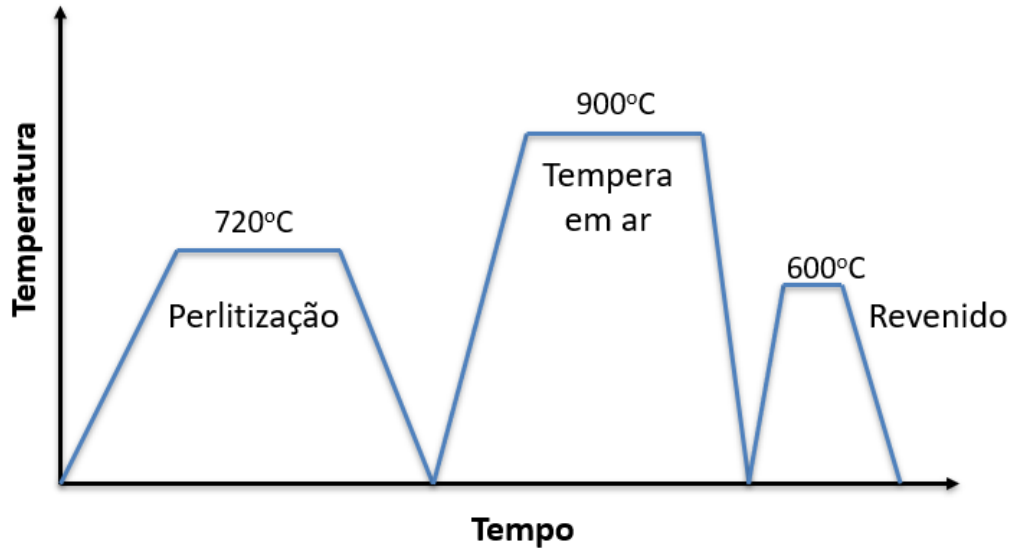
- A simulação mostra pequenos volumes de rechupe (contração) nos quatro cantos da peça, decorrentes da existência, nessas regiões, de paredes finas que limitam o fluxo do metal.
- Foi avaliado que essas imperfeições não afetarão o desempenho da peça em serviço.



produção da peça – bruta de fundição



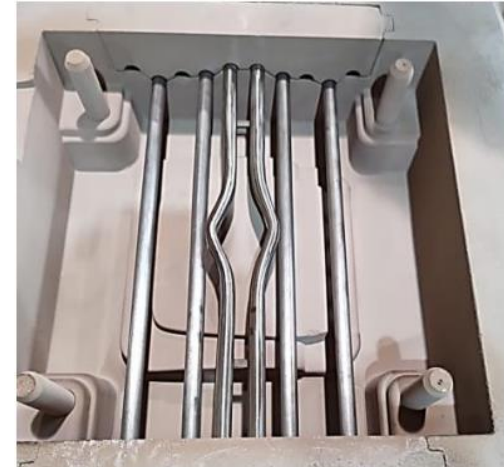
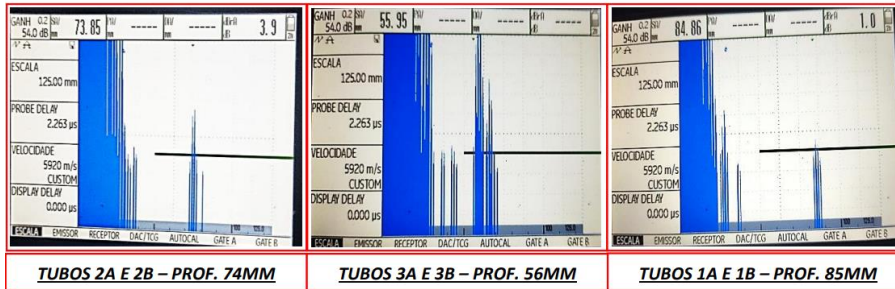
Tratamento térmico da peça



Ensaio de Ultrassom

Medição da profundidade e localização dos tubos

- Os tubos no geral apresentam mesma profundidade na entrada e saída, apenas no centro da matriz houve uma pequena descida de +/- 20mm.
- A localização interna dos tubos foi mantida dentro do esperado, sem alterações relevantes.



A close-up photograph of a person's hands holding a smartphone. The phone's screen is lit up with a solid blue background and the white LinkedIn logo in the center. The person's right hand is positioned as if about to tap the screen. The background is dark and out of focus.

LinkedIn



LinkedIn

SIGA NOSSA PÁGINA NO LINKEDIN

www.linkedin.com/company/magma-br

MAGMA