

# ESTUDO DE CASO: COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DA ÁGUA DA PISCINA DE RESFRIAMENTO NO TRATAMENTO TÉRMICO DE AUSTENITIZAÇÃO DO AÇO HADFIELD\*

*Keli Vanessa Salvador Damin<sup>1</sup>*

## **Resumo**

O tratamento de austenitização é de fundamental importância para a qualidade do aço Hadfield, já que é o tratamento que garantirá a total austenitização do material. Dentre as variáveis que devem ser controladas estão a temperatura de tratamento e a velocidade de resfriamento. O presente trabalho aborda um estudo de caso sobre o controle da temperatura dentro do forno de tratamento térmico bem como o comportamento da temperatura da água na piscina durante o resfriamento do material.

**Palavras-chave:** Tratamento térmico, Aço Hadfield.

## **CASE STUDY: BEHAVIOR OF WATER TEMPERATURE OF THERMAL COOLING POOL IN THE AUSTENITIZING TREATMENT HADFIELD STEEL**

### **Abstract**

The austenitizing treatment is of fundamental importance to the quality of Hadfield steel, because is the that treatment will ensure the complete austenitizing of the material. Among the variables that must be controlled are the treatment temperature and the cooling rate. This paper presents a case study on the control of the temperature inside the heat treatment furnace and the behavior of the pool water temperature during the cooling of the material.

**Keywords:** Heat treatment; Hadfield Steel.

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

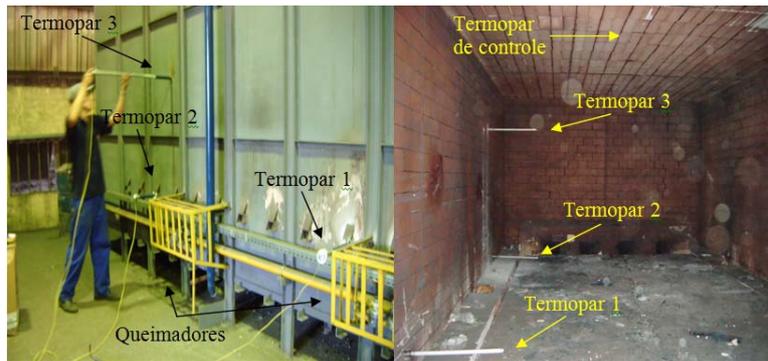
## 1 INTRODUÇÃO

Para o aço Hadfield apresentar a adequada condição de uso, o mesmo deve apresentar matriz totalmente austenítica, para isso é realizado o tratamento térmico de austenização. Neste tratamento o material é colocado num forno e é aquecido até chegar a temperatura de aproximadamente 1080°C para garantir que todo o material esteja austenitizado [1]. Após o material passar pelo tempo de encharque dentro do forno ele é imerso numa piscina contendo água para reduzir rapidamente a sua temperatura, garantindo que não haja tempo suficiente para a precipitação de carbonetos no contorno de grão o que seria prejudicial ao desempenho do mesmo. A água utilizada para resfriar as peças deve estar próxima da temperatura ambiente, caso contrário o resfriamento não é eficiente e possibilita a precipitação de carbonetos no material, reduzindo a vida útil do material em serviço. Geralmente o material é transportado do forno de tratamento térmico para a piscina de resfriamento por meio de grelhas, desta forma além de resfriar as peças que estão sobre a grelha a água da piscina deve resfriar a grelha também já que ela é imersa junto com a peças. Dependendo da capacidade do forno de tratamento pode haver mais do que uma grelha a ser resfriada na piscina.

O presente trabalho faz um estudo de caso numa empresa que para cada tratamento de austenitização resfria três grelhas de material na piscina. As grelhas são resfriadas uma de cada vez. Desta forma enquanto a primeira grelha é resfriada, as outras duas permanecem dentro do forno até que o material da primeira grelha atinja uma temperatura que seja próxima a da ambiente. O estudo visa avaliar o comportamento da temperatura da água ao longo da imersão das três grelhas com a qualidade do material obtido. Desta forma este trabalho serve como uma metodologia base para outras empresas que também queiram avaliar a eficiência do resfriamento da piscina de resfriamento com a qualidade do produto obtido. O trabalho também avaliou o aquecimento do material dentro do forno em vários pontos para verificar se o mesmo atinge a temperatura setada no controlador.

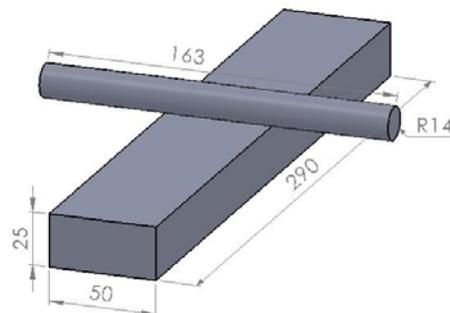
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para medir a temperatura das peças fora do forno de tratamento foi utilizada uma pistola de infravermelho. A temperatura da água foi medida em intervalos sequencias com o auxílio de um termômetro de mercúrio. Além disso, foi realizado o acompanhamento da temperatura do forno ao longo do tratamento com o auxílio de 4 termopares em posições específicas do forno: os termopares 1 e 2 foram instalados na parte dianteira e traseira no forno, medindo respectivamente, a temperatura da primeira e terceira grelha. O termopar 3 foi instalado no meio da parede lateral do forno, a uma altura de 1200 mm em relação ao solo. Já o termopar de controle é o utilizado para o registro da temperatura do sistema automático do forno (Figura 1). Iniciado o tratamento, as temperaturas de cada termopar foram coletadas a cada 30 minutos. A piscina de tratamento estudada tinha volume de aproximadamente 20 m<sup>3</sup> e vazão de entrada e saída de água iguais.



**Figura 1.** Localização dos termopares.

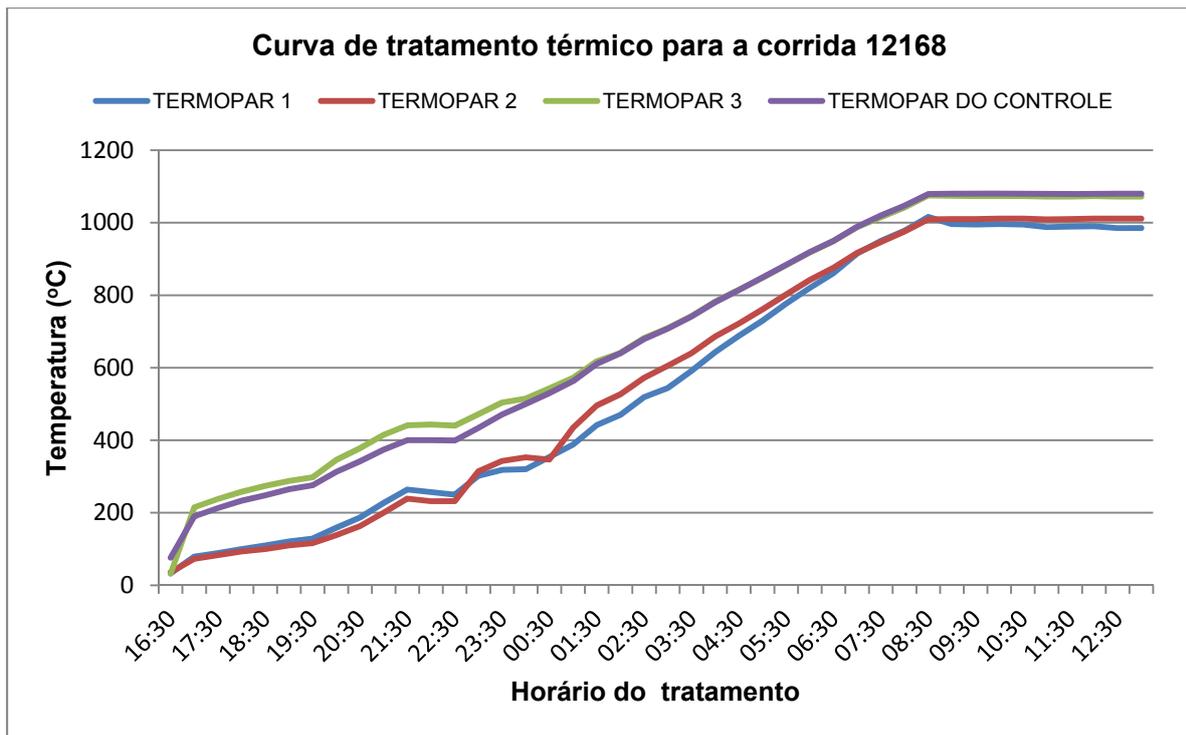
Foi colocado um conjunto de 2 corpos de prova, um cilíndrico e outro retangular, (Figura 2) em cada grelha para posterior exame metalográfico e ensaio de dobramento.



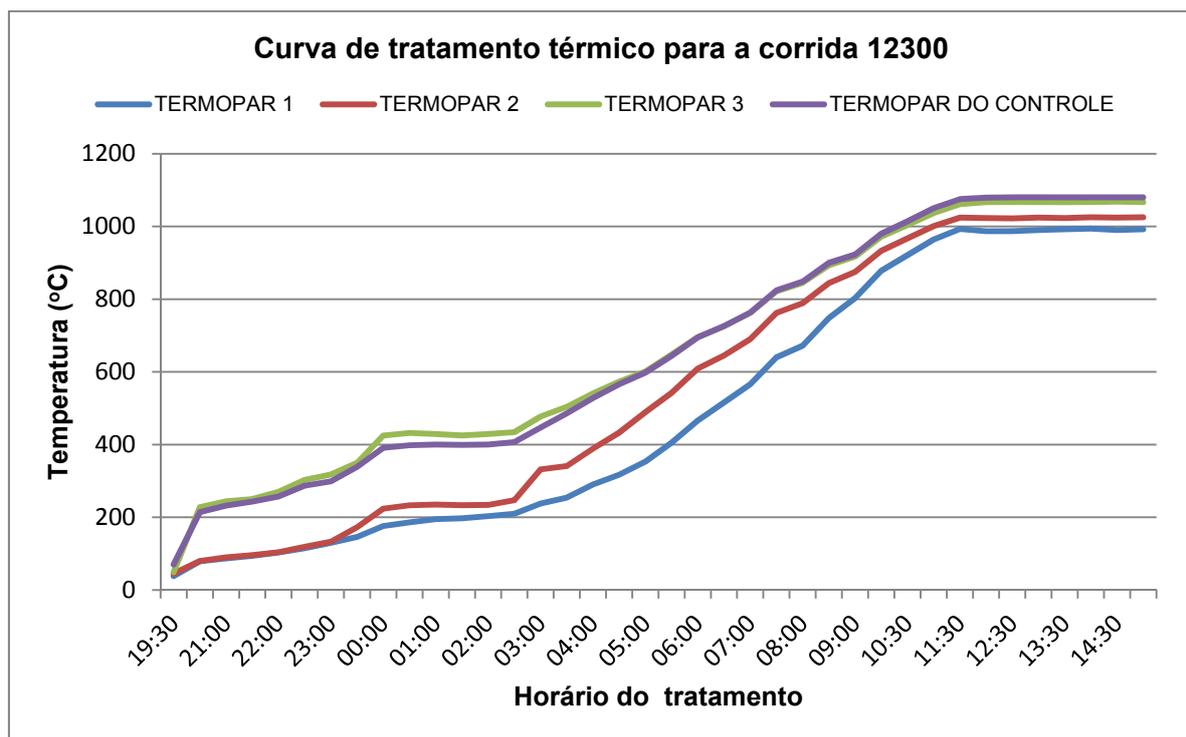
**Figura 2.** Corpo de prova usado. Unidades em milímetros.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

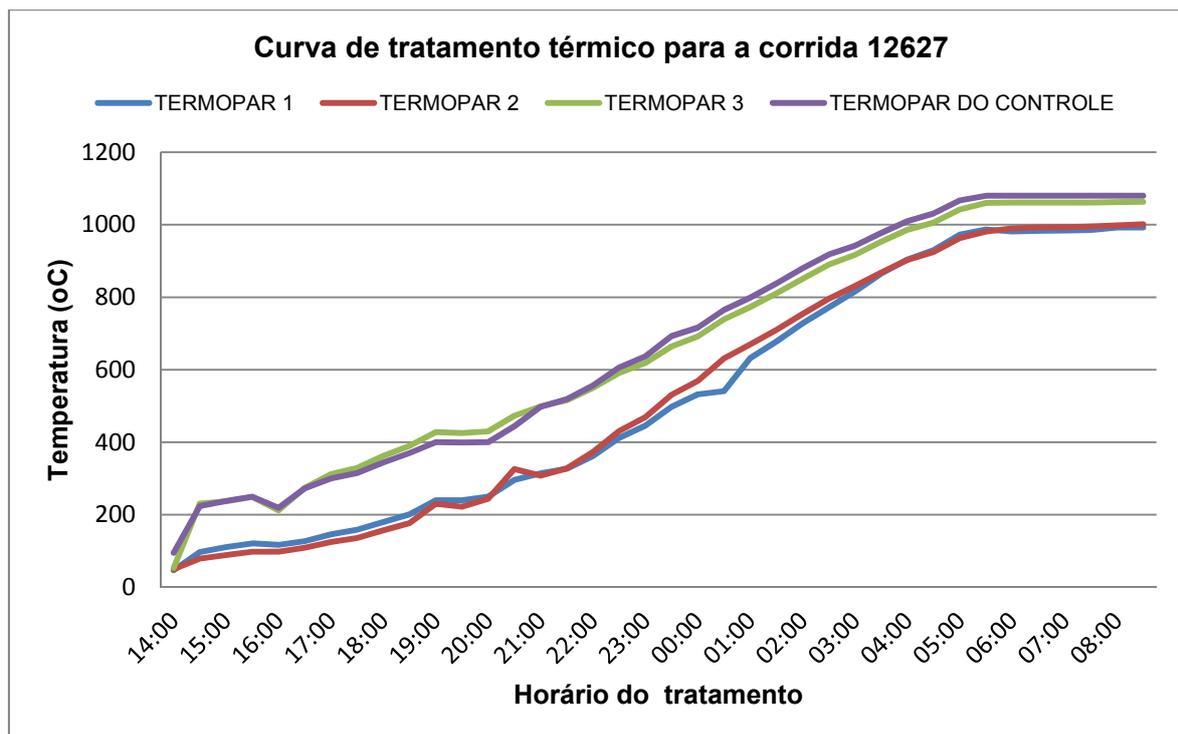
As Figuras 3, 4 e 5 mostram a rampa de aquecimento obtida para cada termopar instalado durante os tratamentos de número de corrida 12168, 12300 e 12627.



**Figura 3.** Comportamento térmico do forno, corrida 12168.



**Figura 4.** Comportamento térmico do forno, corrida 12300.



**Figura 5.** Comportamento térmico do forno, corrida 12627.

A Tabela 1 mostra as temperaturas que os termopares atingiram no patamar de 1080°C para as três corridas estudadas. Observa-se que apesar do termopar de controle acusar a temperatura de 1080°C as medidas de temperatura dos outros termopares distribuídos ao longo do forno mostram que nem todas as regiões do forno alcançam a temperatura de patamar.

**Tabela 1.** Temperatura no patamar.

Corrida	Temperatura (°C)		
	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 3
12168	985	1011	1072
12300	992	1025	1067
12627	992	1001	1063

A Tabela 2 mostra o tempo que cada grelha ficou na temperatura de patamar para os três tratamentos e também o peso de material resfriado para cada grelha.

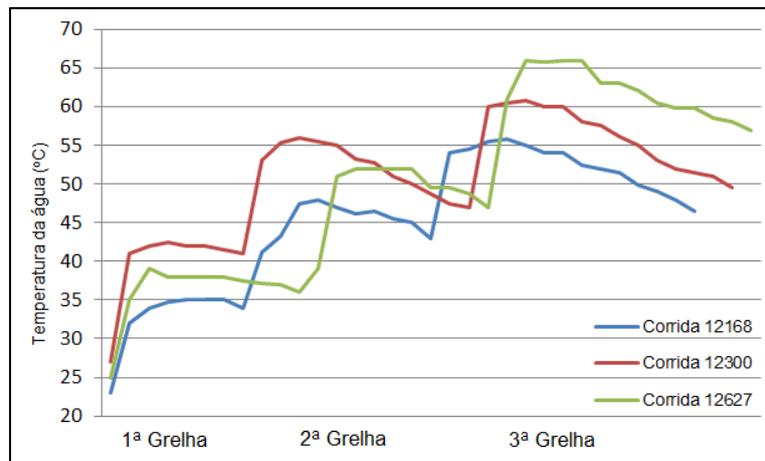
**Tabela 2.** Tempo de permanência da cada grelha no patamar (h:min:s) e seus respectivos pesos.

Corrida	1ª Grelha	2ª Grelha	3ª Grelha	Peso total tratado (kg)
12168	04:50:00 (2290 kg)	05:10:00 (2019 kg)	05:40:00 (2172 kg)	6681
12300	04:00:00 (2563 kg)	04:30:00 (2500 kg)	05:00:00 (2480 kg)	7543
12627	04:20:00 (2071 kg)	05:25:00 (2340 kg)	05:55:00 (3530 kg)	7941

Isso significa que, para a corrida 12168, a segunda e a terceira grelha ficaram, respectivamente, 7,8% e 18,0% de tempo a mais no patamar do que a primeira grelha. Já para a corrida 12300 estes valores são de 12,5% e 25% e para última corrida essa diferença é de 25% e 36,3%. Essa diferença de tempo de patamar ocorre porque enquanto a primeira grelha é resfriada as outras duas permanecem

no forno até que a primeira grelha seja totalmente resfiriada e retirada da piscina para a entrada da segunda grelha, por exemplo.

A Figura 6 mostra um acompanhamento geral do aumento da temperatura da água da piscina ao longo das três grelhas para os três tratamentos realizados.



**Figura 6.** Acompanhamento do aumento da temperatura da água ao longo das grelhas.

Uma análise mais detalhada das temperaturas encontradas ao longo dos tratamentos é apresentada nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3.** Temperatura máxima (em °C) que a água atingiu em cada grelha para os três tratamentos.

Corrida	1ª Grelha	2ª Grelha	3ª Grelha
12168	35,0	48,0	55,8
12300	42,5	56,0	60,8
12627	39,0	52,0	66,0

Nota-se na Tabela 3 que a temperatura da água chega a atingir 66 °C e como era esperado ela ocorre na terceira grelha. A Tabela 4 mostra a diferença entre a temperatura máxima e a inicial atingida para cada grelha para os 3 tratamentos estudados.

**Tabela 4.** Variação da temperatura da água (em °C) ao longo de cada grelha.

$\Delta T = \text{Temperatura máxima} - \text{Temperatura inicial}$			
Corrida	1ª Grelha	2ª Grelha	3ª Grelha
12168	12,0	14,0	12,8
12300	15,5	15,0	13,8
12627	14,0	13,0	19,0

Observa-se que a variação da temperatura da água entre a entrada e a saída de cada grelha fica entre 12 a 15°C, com exceção a terceira grelha que apresentou uma diferença de 19°C, contudo isso é explicado pelo maior peso que esta grelha tinha (3530kg) quando comparado as outras (2172/2480kg) dos outros tratamentos.

A composição química do material estudado está na Tabela 5 e de acordo com o diagrama Fe-C para um percentual de 13% de Mn a temperatura mínima para ocorrer a austenitização do material estudado é de 945°C. Contudo devido a fatores de segurança deve-se aumentar essa temperatura em 50°C (995°C) para garantir que o material fique realmente austenitizado. O termopar 1 não atingiu a

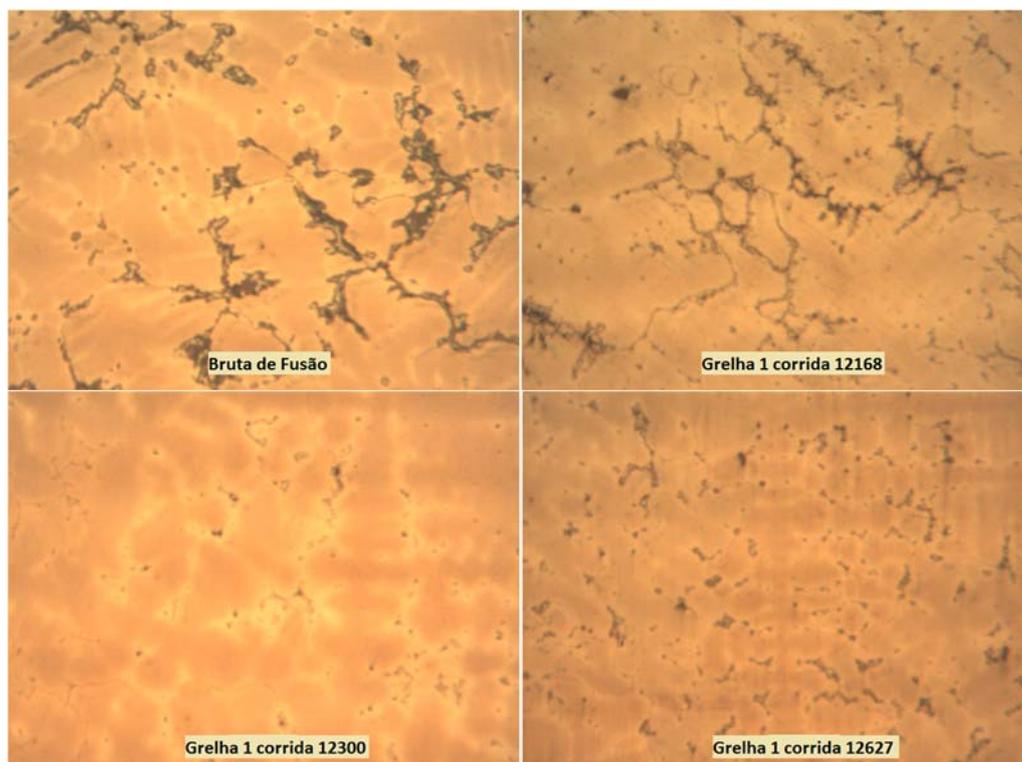
temperatura mínima de 995°C, ficando em 985°C para a corrida 12168, 992°C para a corrida 12300 e 994°C para a corrida 12627. O fato do material não atingir a temperatura mínima de 995°C prejudica a transformação austenítica do material, bem como a dissolução de carbonetos existentes no mesmo.

**Tabela 5.** Composição química do aço hadfield tratado termicamente.

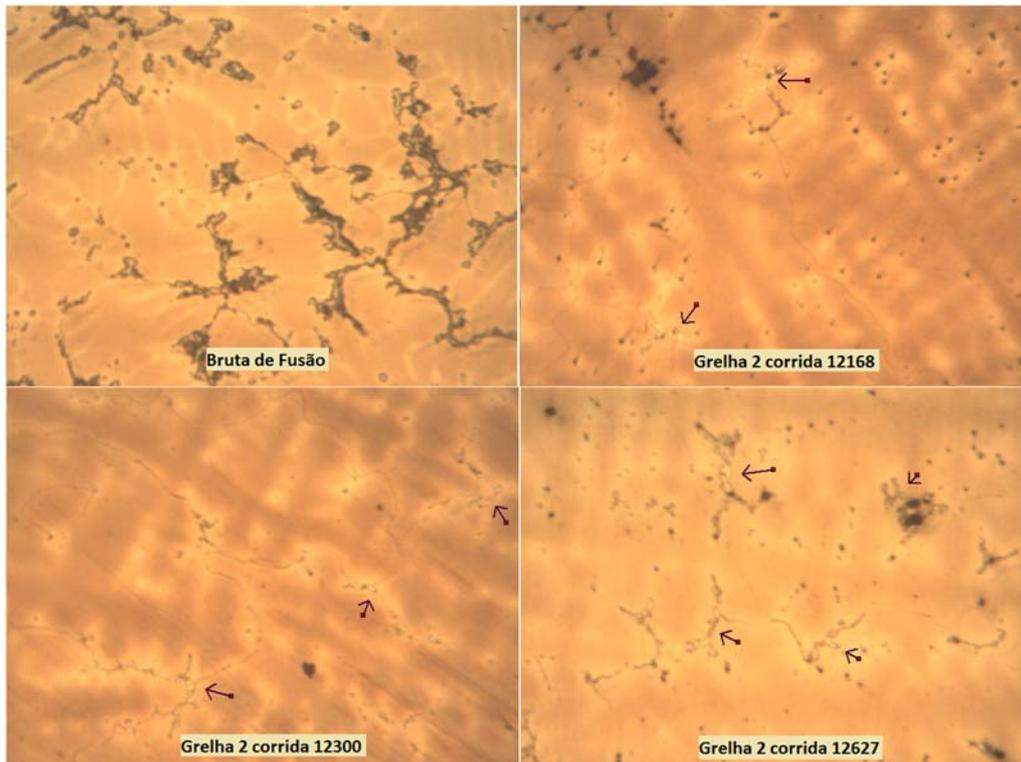
Corrida	Composição química (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Zr	Ce	La
12050	1,23	0,79	12,43	0,046	0,014	2,03	0,329	0,084	0,014	0,014	<0,005

Na Figura 7 é mostrado o aspecto metalográfico dos corpos de prova cilíndricos para a amostra bruta de fusão (amostra sem tratamento) e da primeira grelha para os três tratamentos. Em todas as amostras verificou-se a presença de dendritas. Na amostra bruta de fusão observou-se a presença de muitos carbonetos, principalmente na região central da amostra, onde os carbonetos apresentaram-se de forma grosseira. Os carbonetos estavam distribuídos tanto no interior dos grãos quanto em seu contorno.

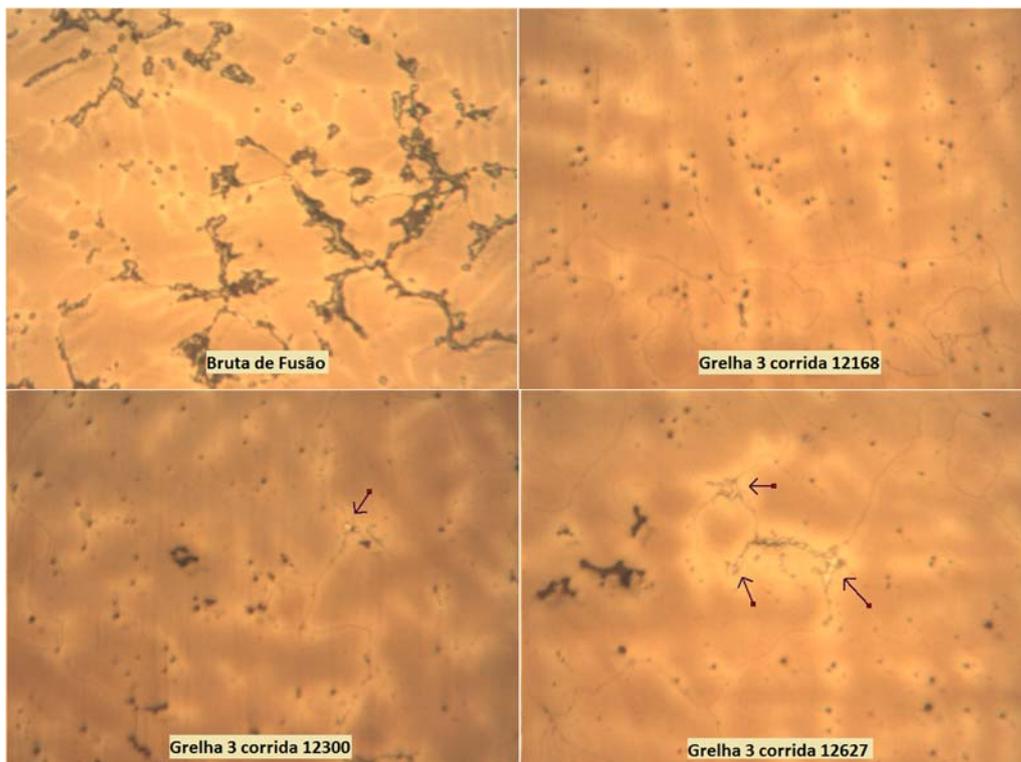
As grelhas de número 1 das corridas 12627 e 12168 apresentaram o mesmo volume de carbonetos, contudo para a amostra da corrida 12627 os carbonetos estavam mais finamente distribuídos. A corrida 12300 foi a que apresentou melhor aspecto. A presença destes carbonetos para amostra grelha 1 da corrida 12168, está relacionado a temperatura na qual o material ficou exposto (985°C), que foi insuficiente para a total dissolução destes carbonetos. A região central da amostra é a que mais apresenta carbonetos.



**Figura 7.** Amostra bruta de fusão em comparação com as amostras retiradas da 1ª grelha de cada tratamento.



**Figura 8.** Amostra bruta de fusão em comparação com as amostras retiradas da 2ª grelha de cada tratamento.



**Figura 9.** Amostra bruta de fusão em comparação com as amostras retiradas da 3ª grelha de cada tratamento.

A análise dos resultados de microscopia ótica para os três tratamentos em geral mostra que a quantidade de carbonetos diminuiu da primeira grelha em direção a terceira grelha para todos os tratamentos.

A presença de carbonetos em si, não é um fator não é prejudicial, desde que estejam no interior do grão, pois não afetam a tenacidade do material e ainda auxiliam contra o desgaste. Contudo quando estes estão localizados no contorno do grão eles podem gerar a quebra do material em serviço. A Tabela 6 mostra a quantidade de carbonetos encontrados no contorno de grão para cada grelha.

O teste de dobramento foi realizado com o auxílio de um prensa hidráulica. Os resultados também estão na Tabela 6 e mostram que o ângulo de dobramento aumentou da primeira grelha para a terceira grelha para as corridas 12168 e 12627. O resultado apresentado para a 3ª grelha da corrida 12300 mostra que o material não apresentou o dobramento esperado, ou seja, não apresentou um dobramento maior dos que as outras grelhas subseqüentes do mesmo tratamento, isso é devido a temperatura que a água durante a imersão que atingiu 66°C.

Após o ensaio de dobramento foi realizado o microscopia ótica de seções próximas à região de dobramento para ver se houve o surgimento ou não de maclas. A presença de maclas é importante porque faz com o material apresente uma melhor resposta no processo de encruamento, já que o surgimento das mesmas reduz o livre caminho médio no qual as discordâncias poderiam passar sem sofrerem interrupção, os resultados encontrados estão na Tabela 6.

**Tabela 6.** Dados obtidos no ensaio de dobramento e microscopia ótica.

Grelha	Tratamento	Carbonetos do contorno de grão	Tempo de permanência da cada grelha no patamar	Ângulo de dobramento (°)	Número de maclas
1	12168	alguns	04:50	54,2	poucas
1	12300	raros	04:00	50,8	algumas
1	12627	bastantes	04:20	29,0	bastantes
2	12168	raros	05:10	54,7	poucas
2	12300	poucos	04:30	51,8	bastantes
2	12627	alguns	05:25	31,8	bastantes
3	12168	raros	05:40	55,4	bastantes
3	12300	raros	05:00	42,7	algumas
3	12627	poucos	05:55	40,0	bastantes

Com os resultados da Tabela 6 pode-se concluir que os menores ângulos de dobramento para as amostras do tratamento 12627 está associado a presença de carbonetos no contorno de grão dessas amostras, o que por conseqüente está associado a temperatura no qual o forno estava.

Foi observado que a primeira grelha de cada tratamento apresentou um maior número de carbonetos o contorno de grão quando comparada com as demais grelhas. Esta incompleta dissolução é devido à temperatura que o forno atingiu naquela região ter sido insuficiente para austenitizar por completo o material. Um dos motivos para o qual o forno não atinge a temperatura necessária na primeira grelha (região do termopar 1) é que esta grelha fica localizada próxima da porta do forno, perdendo assim muito calor para o ambiente.

Com relação a água da piscina foi observado que a cada imersão de 2500 kg de material, a temperatura da água aumenta entre 12 a 15°C. A traves dos resultados obtidos no teste de dobramento notou-se que temperatura máxima que a água pode atingir durante a imersão das grelhas é 60°C. Com base esses resultados sugere-se imersão das grelhas na água se a mesma estiver com a temperatura de até 45°C; e para cada 1000kg de material, a temperatura inicial da água deve ser reduzida em 7°C, ou seja para uma grelha de 3500kg a temperatura máxima inicial para a imersão deve ser de 38°C. Desta forma, para assegurar a qualidade das peças, no

presente estudo de caso, a temperatura máxima que água deve apresentar antes da imersão de cada grelha deve obedecer a Tabela 7.

**Tabela 7.** Temperatura inicial da água de acordo com o peso de material a ser resfriado.

Peso total da grelha (kg)	Temperatura inicial máxima da água (°C)
2000	48,5
2500	45,0
3000	41,5
3500	38,0

#### 4 CONCLUSÃO

Sugere-se uma revisão no isolamento térmico da porta do forno de tratamento térmico.

Deve-se colocar as grelhas de menor massa na frente e as de maior massa no fundo do forno, pois estas últimas estarão na terceira grelha e ficarão mais tempo no patamar e também na região mais quente do forno o que garantirá a autenitização do material.

Para assegurar o resfriamento adequado e a qualidade do aço hadfield a temperatura inicial da piscina de resfriamento para o presente estudo de caso deve obedecer aos dados da Tabela 9.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Y.H. Wen, H.B. Peng, H.T. Si, R.L. Xiong, D. Raabe, A novel high manganese austenitic steel with higher work hardening capacity and much lower impact deformation than Hadfield manganese steel. *Materials & Design*. 2014; 55: 789-804.