

DETERMINAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO DE ENFORNAMENTO BASEADO NO ENCHARQUE DO REVESTIMENTO REFRAATÁRIO *

Riane Angeli Lopes¹
Danilson Gonçalves de Melo e Silva²
Ângelo Gontijo da Silva³
Raquel Katelem Macedo Barros⁴

Resumo

O presente artigo apresenta o desenvolvimento de uma prática para retomada de produção em fornos de tratamento térmico de tubos de aço, após períodos não produtivos de 8 a 16 horas, durante os quais os queimadores do forno são desligados. Na prática atual, após a retomada da temperatura do forno até o seu valor de **setpoint**, o equipamento é mantido nessa temperatura por algumas horas até que seja considerado encharcado, com o posterior reinício da produção. O presente estudo apresenta um procedimento no qual o forno é reaquecido e, logo em seguida, o enforamento é iniciado. Essa proposta foi formulada através da análise da temperatura na camada mais interna do revestimento refratário da soleira do forno. Assim sendo, o encharque é atingido em um momento anterior ao atualmente praticado, e o enforamento pode começar mais cedo. A adoção da nova prática foi validada através de testes mecânicos dos tubos de aço tratados antes e depois da adoção do procedimento proposto, e os resultados foram satisfatórios mesmo depois da implementação. Através desse estudo, foi obtida uma economia média de 560 Nm³ de consumo de Gás Natural a cada vez que o novo procedimento é adotado.

Palavras-chave: Fornos de tratamento térmico; Tubos de aço sem costura; Consumo; Revestimento refratário.

DEFINITION OF A LOADING PROCEDURE BASED ON THE REFRACTORY LINING SOAKING

Abstract

This paper presents the development of a practice to resume steel tubes heat treatment furnaces production after 8 to 16 hours of non-productive periods. During these periods, the furnace burners are off. According to the current practice, after the furnace temperature reaches the setpoint value, the furnace is kept at this temperature for some hours until it's considered soaked and then the production is restarted. This paper presents a procedure in which the furnace is reheated and soon after the loading begins. This proposal was made through the analysis of the temperature in the inner layer of the hearth refractory lining. Therefore, the soaking is reached earlier than with the current procedure and the charging can begin earlier as well. The new procedure was validated through mechanical tests in heat treated steel tubes before and after the adoption of the new practice. Both results were adequate. An average cost saving of 560 Nm³ of Natural Gas per production resume was obtained through this study.

Keywords: Heat treatment furnace; Seamless steel tubes; Consumption; Refractory lining.

- ¹ *Estudante de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Tecnologia e Engenharia de Processos, Vallourec Soluções Tubulares do Brasil S.A., Belo Horizonte – MG, Brasil.*
- ² *Engenheiro Químico, Doutor, Engenheiro, Tecnologia e Engenharia de Processos, Vallourec Soluções Tubulares do Brasil S.A., Belo Horizonte – MG, Brasil.*
- ³ *Estudante de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Tecnologia e Engenharia de Processos, Vallourec Soluções Tubulares do Brasil S.A., Belo Horizonte – MG, Brasil*
- ⁴ *Engenheira Mecânica, Técnica de Processo, Laminação e Engenharia de Processos, Vallourec Soluções Tubulares do Brasil S.A., Belo Horizonte – MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O tratamento térmico de tubos de aço sem costura é essencial para dar a estes as propriedades mecânicas e metalúrgicas exigidas pelos consumidores. Este tratamento é realizado em fornos industriais que devem, para operar corretamente, estar em condições de estabilidade térmica, ou seja, encharque. O encharque acontece quando os materiais refratários que revestem todas as partes do equipamento, como soleira, teto e paredes, encontram-se em determinada proporção do estado de regime permanente e, quando os tubos são inseridos dentro do forno, toda a energia proveniente da combustão dos gases é direcionada ao aquecimento dos tubos, e não ao aquecimento dos revestimentos refratários.

O critério de encharque do forno para quando este retoma sua produção após períodos não produtivos de 8 a 16 horas é determinado a partir da temperatura da atmosfera do forno, do tempo em que essa temperatura é mantida e das propriedades mecânicas e metalúrgicas que os tubos apresentam após o tratamento térmico. O objetivo do presente trabalho é propor um novo critério de encharque para fornos de tratamento térmico de austenitização e determinar, a partir desse novo procedimento, os impactos no consumo de combustível e nas propriedades mecânicas e metalúrgicas dos tubos submetidos a esse processo.

Para isso, foi estudado o comportamento térmico das camadas que constituem o revestimento refratário quando o forno passa por períodos não produtivos e a relação deste comportamento com o perfil de temperaturas operadas pelo forno. Os resultados obtidos permitiram a definição de um novo momento de enforamento, anterior ao atualmente praticado, sem prejuízo aos parâmetros mecânicos e metalúrgicos dos tubos. Esse novo procedimento de enforamento permite, ainda, que se mantenha o forno aquecido, sem produção (durante o chamado tempo de encharque), por um tempo menor, o que representa significativa redução do consumo de combustível.

2 DESENVOLVIMENTO

Para analisar o comportamento do revestimento refratário do forno de austenitização, foram instalados termopares em três diferentes pontos da soleira, como mostrado na Figura 1. O material C está localizado na camada mais interna do forno, ou seja, mais próxima à face quente. O material B localiza-se na camada intermediária e o material A encontra-se na camada mais externa, isto é, mais próxima à face fria do forno. O revestimento refratário desta região foi definido como objeto de estudo, por apresentar uma maior inércia térmica em relação às demais áreas do forno. A região da soleira apresenta materiais semi-isolantes e isolantes, com densidades variando entre 2.200kg/m^3 e 650kg/m^3 . Já os produtos refratários utilizados no teto e parede são compostos por fibras isolantes, apresentando valores de densidade próximos a 128kg/m^3 . Segundo SILVA et al.¹, as características físico-químicas das fibras fazem com que estes materiais tenham uma menor inércia térmica dentre os revestimentos refratários utilizados. Desta forma, quando a soleira está encharcada, todos os outros revestimentos do forno também estarão.

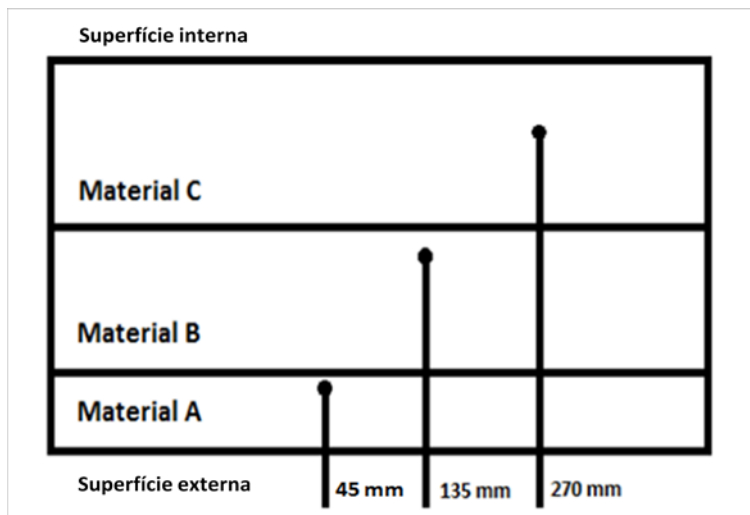


Figura 1. Desenho esquemático da posição dos termopares.

Foi realizada uma comparação entre os valores de temperatura medidos por esses termopares e pelo termopar de processo que mede a temperatura no ambiente interno do forno, de modo a se avaliar o comportamento das camadas de refratário quando submetidas a diferentes temperaturas. Os resultados obtidos para as medições em um período de não produção de 16 horas são exibidos na Figura 2. Foi escolhida a zona mais crítica do forno (zona de encharque) para o estudo supra.

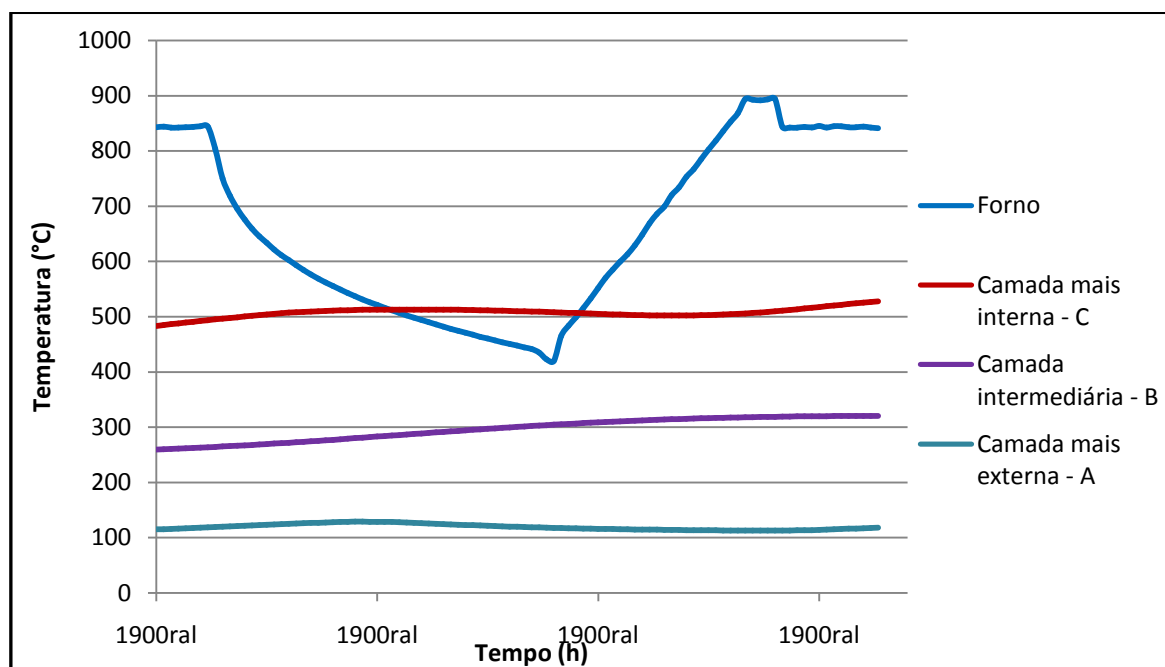


Figura 2. Medições de temperatura no ambiente do forno e na soleira.

Para definir qual camada da soleira seria mais importante na determinação do critério de encharque, foi usado o software SIMU-THERM². Este calcula a quantidade de energia armazenada e as temperaturas em cada uma das camadas considerando regime transiente. Todas as três principais propriedades, capacidade calorífica, densidade e condutividade térmica, dos revestimentos refratários da soleira foram inseridas no programa. Apenas os valores de condutividade variaram com a temperatura. As demais propriedades foram consideradas constantes. A simulação realizada no software SIMU-THERM é demonstrada na Figura 3.

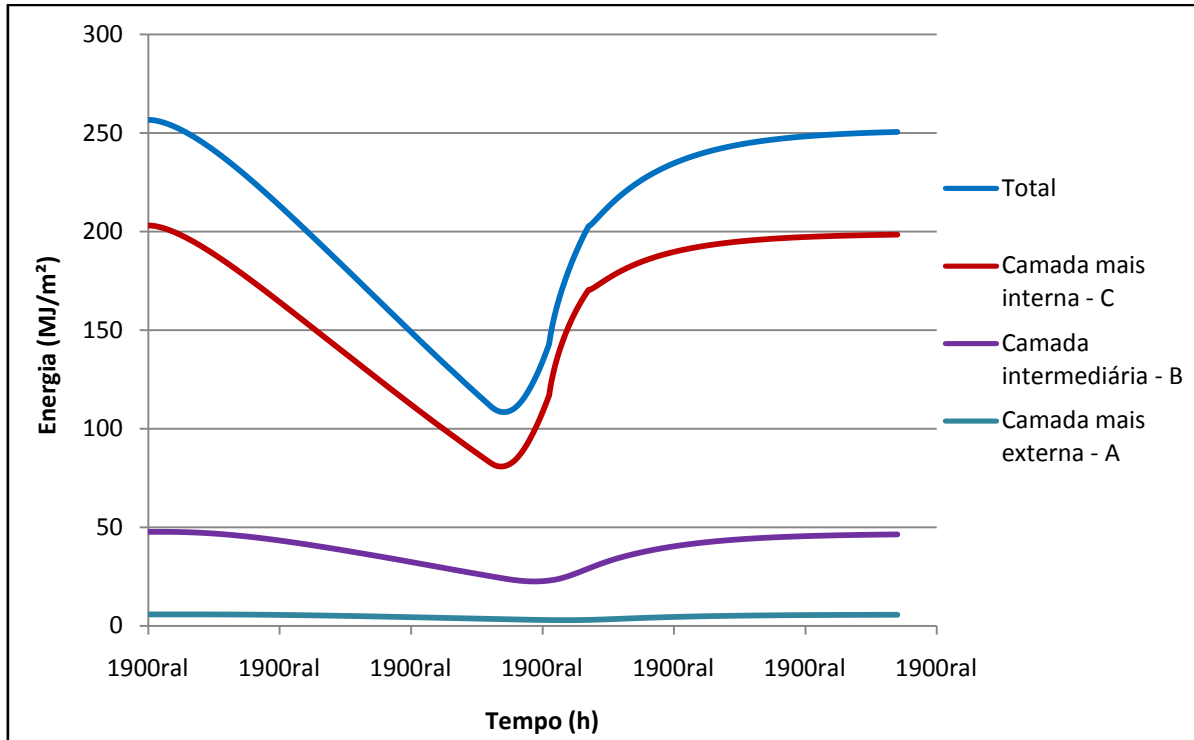


Figura 3. Energia acumulada nas camadas do refratário.

A partir dos resultados observados na Figura 3, foi possível concluir que a energia acumulada na camada mais interna corresponde a 90% da energia total armazenada na soleira. Além disso, observa-se, na Figura 4, que a energia acumulada e a temperatura apresentam o mesmo comportamento. Desta forma, ficou estabelecido que a temperatura na camada refratária mais interna da soleira é o parâmetro a ser analisado para determinação do critério de encharque.

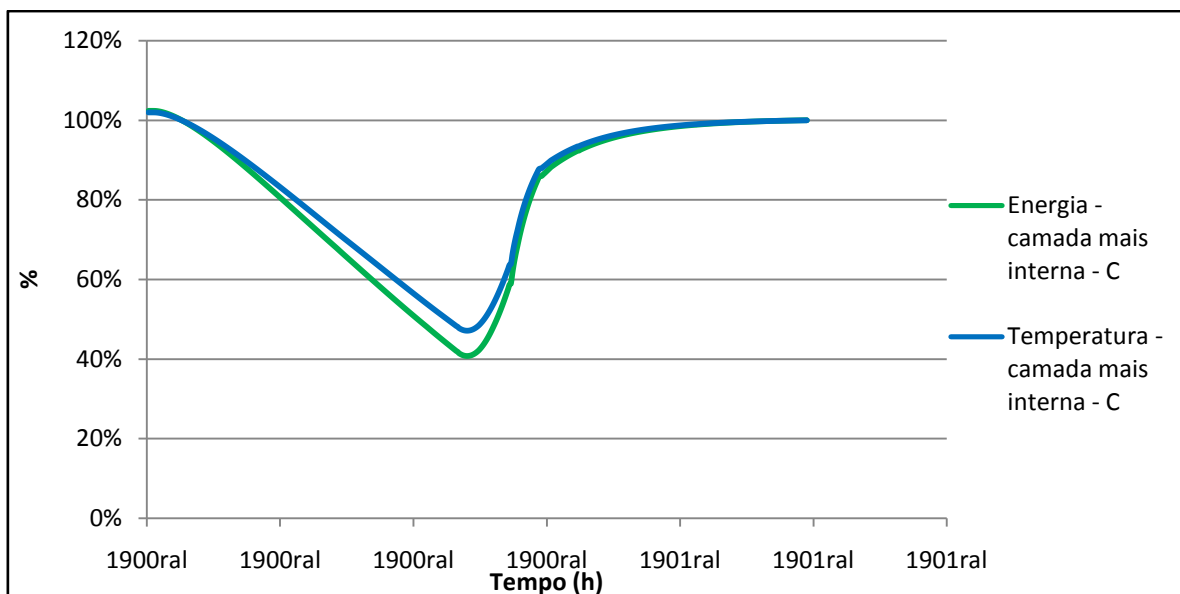


Figura 4. Relação entre a energia e a temperatura na camada mais interna do refratário.

Para determinação do novo critério de encharque, analisou-se, portanto, as temperaturas do ambiente do forno e da camada refratária mais interna da soleira.

Foi observado que, durante todo o período entre o começo do resfriamento e a retomada da produção do forno, a temperatura da camada refratária mais interna sofreu uma variação máxima de 4%, como exposto na Figura 5. Essa variação tem influência desprezível em relação ao encharque do refratário. Assim sendo, pode-se considerar que o forno já se encontra encharcado quando alcança a temperatura de **setpoint** determinada, sem necessidade de se consumir energia extra nos dois últimos patamares previstos na curva de temperatura do forno.

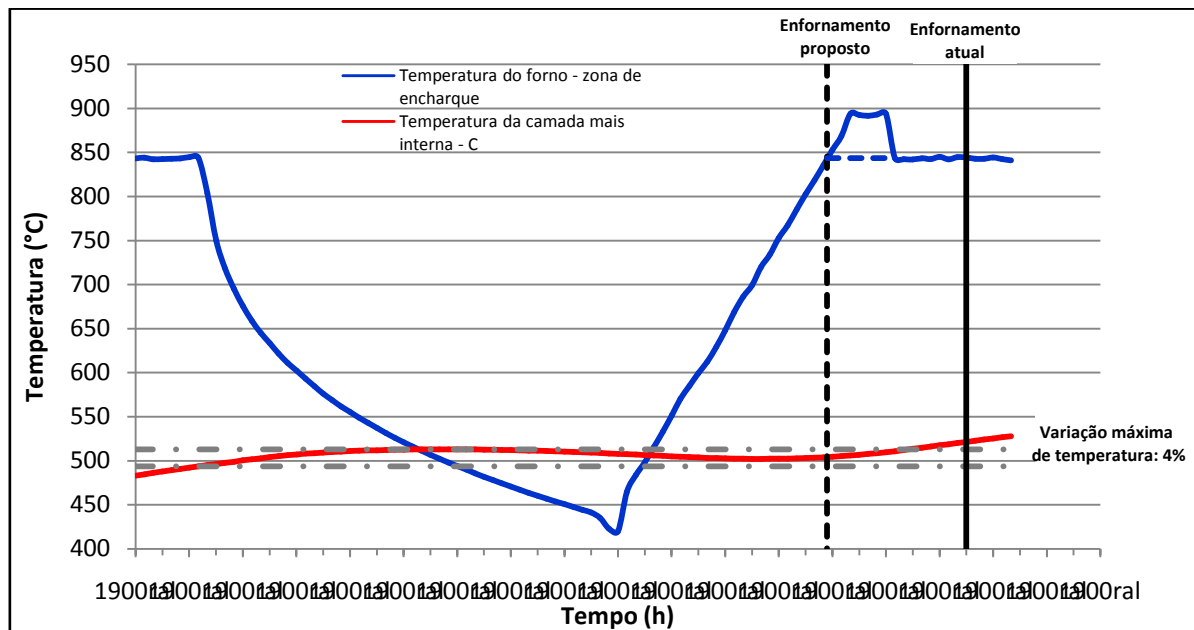


Figura 5. Variação de temperatura do refratário e procedimentos de enformamento.

Desta forma, como evidenciado na Figura 5, propõe-se um novo momento de enformamento. A partir dele, é possível obter uma economia de combustível, no caso, Gás Natural, de cerca de 560 Nm³ a cada vez que o novo procedimento é adotado. Considerando que essa prática de resfriamento e aquecimento é frequente ao longo do ano, uma substancial economia de gastos com combustível para os fornos pode ser alcançada.

Para verificar o modelo proposto, foram realizados testes de limite de escoamento nos tubos tratados no forno antes e após o novo modelo de aquecimento e enformamento. Os resultados são apresentados nas Figuras 6 e 7. Os testes de 17/03/2018 correspondem ao procedimento de enformamento padrão, enquanto os testes de 14/04/2018 correspondem aos tubos enformados após a adoção do novo procedimento proposto. Os testes foram realizados nessas datas porque antes e depois dos períodos de resfriamento e aquecimento estudados foi tratado o mesmo material, ou seja, as condições dos processos eram semelhantes.

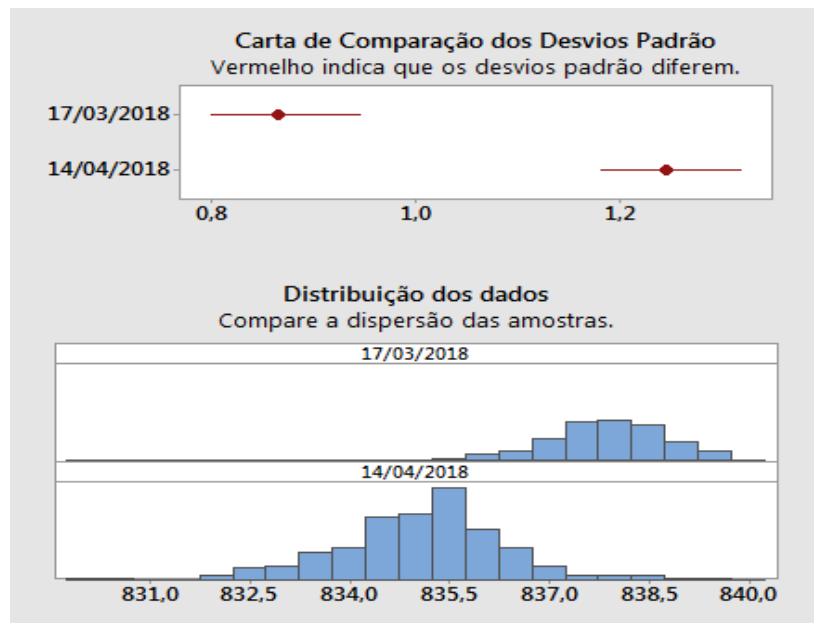


Figura 6. Desvio padrão dos limites de escoamento.

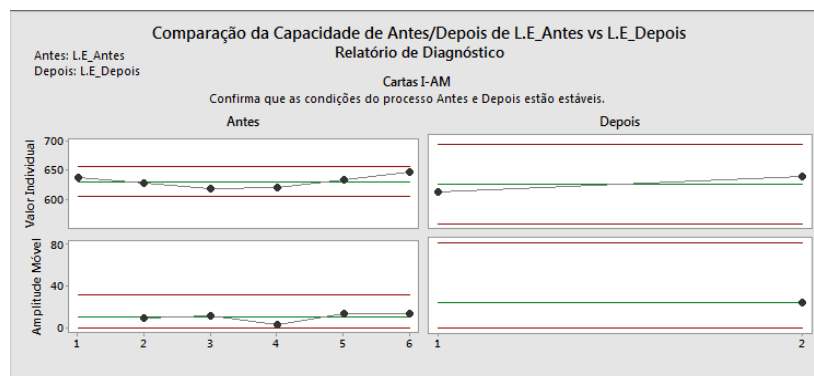


Figura 7. Valores Individuais e Amplitudes Móveis dos limites de escoamento.

É possível perceber, através da análise mostrada na Figura 6, que o desvio padrão do limite de escoamento foi maior para tubos tratados termicamente após a adoção do novo procedimento. Esse novo desvio padrão, porém, é ainda pequeno e encontra-se dentro da faixa de valores aceitos pelo processo.

Através da Figura 7, foram comparados os Valores Individuais e das Amplitudes Móveis dos limites de escoamento para as duas campanhas de medições. Esses valores apresentam um comportamento mais estável no caso dos tubos tratados após a adoção do novo procedimento.

3 CONCLUSÃO

Através do presente estudo, foi possível identificar um grande potencial de ganho financeiro (energia e produtividade) do forno de Austentização de tubos de aço. Esse ganho é obtido através do procedimento de retomada de produção proposto, que estabelece que o enforamento dos tubos deve ser iniciado assim que o forno atingir a temperatura estabelecida pelo processo. Sendo assim, o tempo excedente em que o forno é mantido na temperatura desejada para atingir o seu estado de encharque se mostra desnecessário, uma vez que, através da nova prática proposta, concluiu-se que as variações máximas de temperatura e de energia

armazenada na camada refratária mais interna da soleira são desprezíveis quando comparadas com a prática anteriormente adotada.

Através da adoção do novo procedimento, é possível reduzir o tempo de espera de enformamento em aproximadamente 2 horas e 30 minutos. Desta forma, obtém-se uma economia de aproximadamente 560 Nm³, a cada vez que se é adotada esta nova prática durante períodos não produtivos compreendidos entre 8 e 16 horas.

Agradecimentos

À Vallourec Soluções Tubulares do Brasil S.A., pelo incentivo à pesquisa e desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- 1 Silva DGM, Vasconcelos WL. Isolante térmico fibroso: motivos de sua utilização como revestimentos de trabalho em equipamentos industriais que operam em altas temperaturas - revisão da literatura - parte I. *Cerâmica*. 2017; 63(367): 281-294.
- 2 SIMU-THERM [computer program]. Version 7.1. Brühl: HDS Hilger& Daniel Software GmbH; 2013.