

Tema: Tratamento Térmico

## AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS DE TRATAMENTOS TÉRMICOS POR CONTROLADOR PID E SCADA\*

Raul Victor Medeiros da Nóbrega<sup>1</sup>  
Iara Magalhães Fernandes<sup>2</sup>  
Lorena Braga Moura<sup>3</sup>  
Auzuir Ripardo de Alexandria<sup>4</sup>

### Resumo

Os tratamentos térmicos são operações de aquecimento e resfriamento controlados, que visam afetar as características dos materiais, agrupando diversos tipos de processos, diferentes patamares de temperatura, velocidades de resfriamento e adição de elementos químicos, com o intuito de aperfeiçoar as propriedades mecânicas (ductilidade, tenacidade), tribológicas (desgaste, fadiga) ou de resistência à corrosão, dependendo da necessidade de aplicação. O controle do processamento térmico por programas computacionais tornou-se uma prática cada vez mais frequente no meio industrial. Utilizando ferramentas como o controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo), o sistema SCADA (Supervisor Control and Data Acquisition) e um protocolo de comunicação industrial, é possível configurar os parâmetros de entrada, acompanhar o desenvolvimento do processo, visualizar seus valores em cada instante do ciclo e valores finais (de saída), obter gráficos do processo em tempo real, comparando valores, aumentando a confiabilidade do processo, e por tanto, do produto final. Foi desenvolvido um sistema livre que, além de auxiliar na configuração dos parâmetros, exerce funções de monitoramento, de controle e de registro dos dados nos processos de tratamento térmico. Esse sistema poderá ser empregado em fornos na indústria e nos laboratórios de pesquisa

**Palavras-chave:** Tratamento térmico; Controle de processos; Sistemas SCADA.

### AUTOMATION OF HEAT TREATMENT PROCESSES BY PID CONTROLLER AND SCADA

#### Abstract

Heat Treatments are controlled heating and cooling operations, which aim to affect the characteristics of materials, attaching several kinds of processes and different temperature levels, cooling rates and chemicals additions so that improve the mechanicals properties (ductility, Toughness), tribological (wear, fatigue) or corrosion resistance, depending on the application need. Nowadays, the control of thermal processing by the use of computer program has become a common practice in industry. Using tools such as the controller PID (Proporcional-Integral-Derivativo), the system SCADA (Supervisor Control and Data Acquisition) and an industrial communication protocol, it is possible configuring the input parameters, monitoring the development process, visualizing their values at each instant of the cycle and their final figures(output), obtaining graphs of the process in real time, comparing values, increasing the reliability of the process and, consequently, the final product. An open source system has been developed for, among other factors, assisting in setting of the input parameters, performing functions of monitoring, controlling and recording data of thermal treatment processing. This system can be used in industrial furnaces or in research labs.

**Keywords:** Heat treatment; Process control; System SCADA.

<sup>1</sup> *Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Graduando, bolsista, Indústria, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.*

<sup>2</sup> *Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Graduando, bolsista, Indústria, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenharia e Ciências dos Materiais, Doutoranda, Professora, Indústria, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenharia de Teleinformática, Doutor, Pró-reitor, Pesquisa, Pós-graduação e Inovação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.*

\* *Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de tratamentos térmicos em ligas metálicas é uma prática muito importante para o desenvolvimento tecnológico e industrial. Consiste no aquecimento e resfriamento controlados do material, de modo que o mesmo atinja propriedades mecânicas adequadas à aplicação [1,2]. Quando estas operações são conjugadas a etapas de conformação mecânica, são chamados de tratamentos termomecânicos. Os aços e ligas especiais são submetidos a diversos tratamentos termomecânicos com a intenção de aperfeiçoar as suas propriedades.

Para ser feito um tratamento térmico, é preciso antes analisar as propriedades do material, tais como: temperatura de recristalização, temperatura crítica superior (austenitização), tempo de processo etc. [3]. Vale ressaltar que uma peça não resfria e aquece de forma homogênea. Esses tempos são diferentes, e essa diferença gera tensões que podem trincar a peça. Também devemos atentar que o processo tanto de aquecimento, como resfriamento começam pela superfície e aumentam em direção ao centro, e isso pode gerar diferenças na microestrutura central e superficial do material [4].

Os aços são ligas ferro-carbono que podem conter concentrações apreciáveis de outros elementos de liga [5]. As propriedades mecânicas são sensíveis ao teor de carbono que é normalmente inferior a 1%p. Alguns dos aços mais comuns são classificados de acordo com a concentração de carbono, quais sejam, os tipos com baixo, médio e elevado teor de carbono [6].

Alguns tratamentos térmicos feitos nesses materiais com fornos tipo câmara são: normalização, têmpera, revenimento, esferoidização, martêmpera, austêmpera, solubilização [7,1].

Quanto ao recozimento, pode-se obter alteração das propriedades mecânicas, como resistência e ductilidade, ajustamento do tamanho de grão, diminuição da dureza para melhorar a usinabilidade e alívio de tensões internas. O tratamento de esferoidização ou coalescimento pode ser realizado através do aquecimento por tempo prolongado a uma temperatura logo abaixo da linha inferior da zona crítica ou com o aquecimento e resfriamentos alternados entre temperaturas que estão logo acima e logo abaixo da linha inferior de transformação. Produzindo-se uma estrutura globular ou esferoidal de carbonetos no aço, melhorando a usinabilidade, especialmente dos aços alto carbono e facilitando a deformação a frio. A normalização é usada antes da têmpera e do revenido. Tem como objetivos, refinar o grão e melhorar a uniformidade da microestrutura. A têmpera visa obter estrutura martensítica que promove o aumento da dureza, o aumento na resistência à tração e a redução na tenacidade. Em virtude das tensões geradas durante o processo de têmpera torna-se necessário a realização do tratamento de revenimento posteriormente a tempera. O revenimento alivia ou remove tensões, reduz a dureza e aumenta a tenacidade. Na martêmpera, por sua vez, o resfriamento é temporariamente interrompido, criando um passo isotérmico, no qual toda a peça atinge a mesma temperatura. Em seguida, o resfriamento é efetuado lentamente de modo que a martensita se forma uniformemente através da peça. No processo da austêmpera, o procedimento é análogo à martêmpera, entretanto a fase isotérmica é prolongada até que ocorra a completa transformação em bainita, ao invés da martensita, por a microestrutura formada ser mais estável ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) [8].

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



Ao longo das últimas décadas, as aplicações e as áreas de atuação dos sistemas supervisórios, ou SCADA (Supervisor Control and Data Acquisition), vêm se expandindo aceleradamente. Esses sistemas tanto proporcionam o monitoramento e controle centralizado dos dispositivos de campo, quanto o armazenamento de informações, geração de relatórios e automação dos processos de proteção em tempo real [9]. Contudo, normalmente, os mesmos possuem custos elevados, impossibilitando sua utilização em pequenas instalações.

O sistema SCADA é um sistema responsável pela coleta e transferência de informações lógicas e analógicas sobre o estado corrente de um sistema, pela exibição desses dados na sala de controle e pelo comando remoto de dispositivos [10].

O Controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) compara um valor medido de um processo (variável de processo) com um valor de referência. A diferença destes valores (erro) é usada para calcular um novo valor, desta vez para a variável manipulada, que levará o processo ao valor desejado, ou seja, para o valor de referência. O algoritmo do PID ajusta as saídas do processo baseada no histórico e taxa de variação do erro do sinal, o que confere ao controlador mais precisão e estabilidade. Os controles PID podem ser facilmente ajustados [11].

No desenvolvimento do processo de tratamento térmico, um forno laboratorial tipo câmara (Figura 1) é utilizado, e seus valores de temperatura e tempo, bem como a ativação de alarme e qualquer outra função são efetuados. Com este trabalho será desenvolvido um aplicativo para automatizar esse serviço a partir de uma interface via computador [12]. O objetivo é desenvolver e distribuir uma aplicação livre para o monitoramento e registro de dados em processos de tratamento térmico, em materiais metálicos, empregando controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) e sistema SCADA.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Podemos dividir o desenvolvimento deste trabalho em quatro subgrupos: estabelecer a comunicação entre PC e controlador, implementar uma interface homem máquina (IHM) com o Eclipse SCADA, levantar os parâmetros da curva de tempo/temperatura de cada tratamento térmico a ser pré-configurado e validar o supervisório em condições reais.

A proposta inicial foi simular o comportamento do controlador NOVUS 1100 e do sensor de temperatura Tipo K sob pequenas variações de temperatura, apenas o suficiente para validar pontos como: ligação correta do sensor ao controlador, calibração da leitura e transmissão das informações via serial para o computador.

Para realizar esse procedimento foi utilizado um cabo adaptador RS-232/RS-485 da NOVUS com o propósito de estabelecer a comunicação entre o controlador, que usa o padrão RS-485 a três fios, e o computador, que usa o RS-232 com um conector DB-9.

Para garantir a compatibilidade e interoperabilidade entre o supervisório e o controlador foi utilizado o drive de comunicação Modicon Modbus Master (ASC/RTU/TCP), facilmente encontrado no site oficial do Eclipse Software, o qual é responsável por encapsular, transmitir e traduzir as informações segundo um padrão pré-estabelecido.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



A configuração do drive pode ser feita adicionando o arquivo modbus.dll ao SCADA em “Organizer ->Drives” e posteriormente inserindo seus parâmetros (P1 à P4) de acordo com o manual que o acompanha.

Vale ressaltar que não está no escopo deste trabalho discutir a eficiência dos drives de comunicação, sendo assim, o critério para a seleção desse drive baseou-se apenas na capacidade do mesmo em preencher satisfatoriamente os requisitos de funcionamento do SCADA.

Com a conexão física devidamente estabelecida e com o drive configurado, a próxima etapa foi desenvolver as telas ou as IHM do aplicativo no Eclipse SCADA.

À procura da interação entre o usuário e o sistema, foram desenvolvidas duas telas utilizando os objetos fornecidos pelo Eclipse SCADA. A primeira tela, que é a inicial do programa, possui um gráfico de tendência para o registro da temperatura e um menu composto por quatro botões. Esse menu é responsável pela inicialização, monitoramento, restauração, desligamento, geração do relatório parcial ou final e possui um atalho para a tela de configuração. A segunda tela, que é a área de configuração da aplicação, possui campos como: nome do arquivo de saída, painel de pré-configuração dos tratamentos e configuração manual dos parâmetros.

Durante os estudos realizados para o desenvolvimento desse aplicativo, notou-se que alguns tratamentos térmicos dependem de uma taxa de refrigeração superior a que é oferecida pelo forno. Por isso foi implementado no software um alerta sonoro e visual que é ativado quando o tratamento estiver necessitando de refrigeração externa.

Além disso, foi elaborado um relatório parcial e final em que foram utilizados dois objetos do Eclipse SCADA: o Histórico e o Relatório. O primeiro escreve um arquivo .DAT na pasta onde a aplicação está instalada, que por sua vez contém as informações de tempo e temperatura registradas a cada 10 segundos. O relatório é o objeto responsável por ler o arquivo .DAT e exportá-lo para um arquivo externo, nos formatos XLS e TXT, além de compilar seus dados em um gráfico e salvá-lo em um formato BMP. Vale ressaltar que os arquivos de saída contêm o nome especificado durante a configuração do processo.

Na terceira etapa, os tratamentos de têmpera, revenimento e envelhecimento tiveram suas curvas de tempo e temperatura armazenadas no programa. Os parâmetros destes tratamentos podem ser inseridos de forma semiautomática ao clicar-se no menu da tela de configuração do supervisor. Os critérios estabelecidos para a escolha destes tratamentos se basearam nas suas importâncias para a indústria, como também na frequência com que eles são realizados no Laboratório de Ensaio Mecânicos (LEM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), campus Fortaleza. Outro fator a ser considerado é que os dados salvos pelo controlador são válidos para amostras de uma polegada de aço 1006, 1020 e 1045.

Concluindo, o processo para a validação em condições reais do aplicativo SCADA desenvolvido neste trabalho foi dividido em duas partes e foi realizado em um forno câmara da Nabertherm (9309032). A primeira parte da validação baseou-se na configuração do controlador com parâmetros “aleatórios” (valores dentro de uma faixa de 25°C a 1.000°C) a fim de comprovar o funcionamento correto da comunicação e transmissão dos dados. A segunda parte analisou o funcionamento adequado do forno quando inseridos os parâmetros dos tratamentos pré-configurados.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos por este trabalho podem ser analisados através do conjunto de figuras abaixo, que representam as telas do aplicativo desenvolvido, e dos relatórios gerados pelo mesmo.

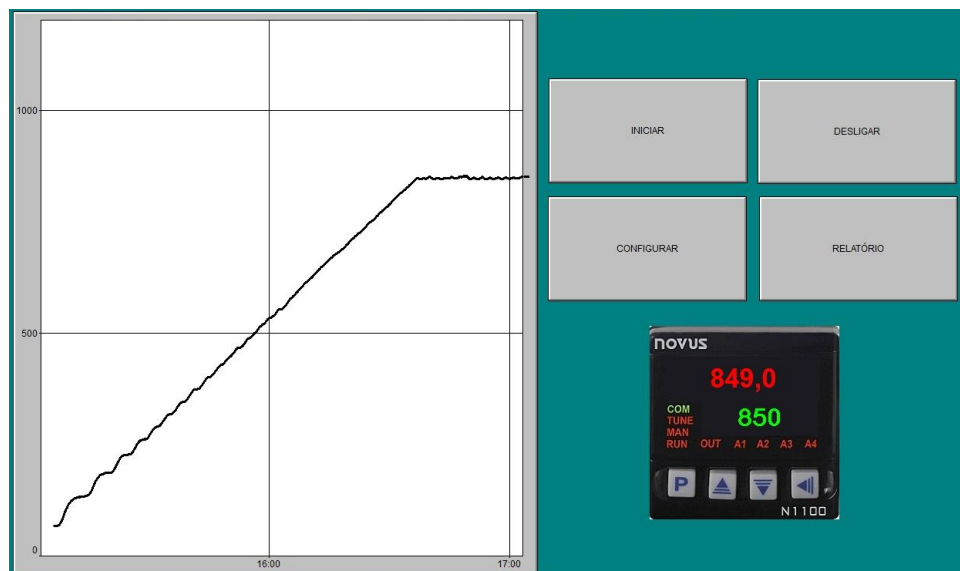


Figura 1. Tela inicial do supervisório.

A Figura 1 exibe a tela inicial do supervisório desenvolvido no Eclipse SCADA. Essa tela contém os campos de monitoramento do histórico de temperatura, temperatura atual (dígitos de cor vermelha) e temperatura desejada (dígitos de cor verde); e os botões de: relatório, início, parada e configuração do processo.

Nome do Arquivo Do Relatório		RELATÓRIO	
Tipos de Relatórios	<input checked="" type="checkbox"/> EXCEL		
	<input checked="" type="checkbox"/> BLOCO DE NOTAS		
	<input checked="" type="checkbox"/> GRÁFICO		
Tipos de Tratamento			
AÇO 1006	TÊMPERA		
AÇO 1020	REVENIMENTO		
AÇO 1045	ENVELHECIMENTO		
CARREGAR			
VOLTAR			
TEMPERATURA	TEMPO		
Temperatura Inicial	Temperatura Atual		
25	25		
PS01	PT01		
850	50		
PS02	PT02		
850	60		
PS03	PT03		
850	999		
PS04	PT04		
0	0		
PS05	PT05		
0	0		
PS06	PT06		
0	0		
PS07	PT07		
0	0		

Figura 2. Tela de configuração do tratamento.

A Figura 2 mostra a tela de configuração do supervisório onde podemos fornecer os parâmetros de entrada do tratamento como: parâmetros de temperatura e tempo,

\* Contribuição técnica ao 69<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14<sup>o</sup> ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

tipos de relatórios desejados e nome do arquivo dos relatórios. Existe também a possibilidade da configuração automática de três tratamentos para três tipos de aço (1.006 1.020 e 1.045).

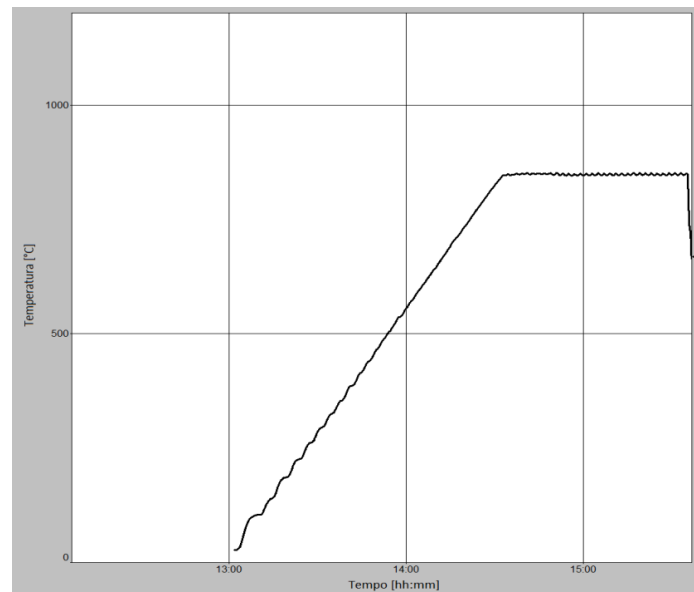


Figura 3. Relatório gráfico gerado através de uma tempera.

Foi realizado um teste para validar o adequado comportamento do forno na configuração automática dos tratamentos pré-configurados. Como podemos observar na Figura 3 temos a curva real de temperatura gerada pelo supervisor ao término de uma têmpera. Vale a pena lembrar que como as condições de resfriamento com elevadas taxas de arrefecimento não são realizadas dentro do forno, o supervisor emite um alarme visual e sonoro para alertar tanto o fim do processo quanto a necessidade de realizar o resfriamento externo. Na Figura 4, podemos observar uma variação na cor da tela, inicialmente verde e agora vermelha indicando o acionamento do alarme visual.

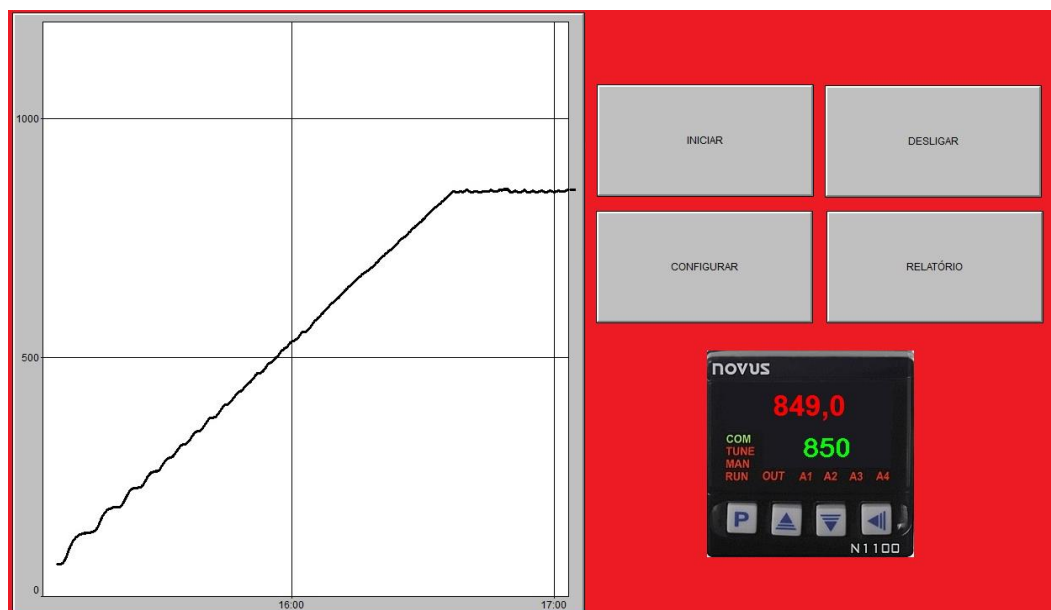


Figura 4. Exemplo do alarme quando o fim do processo é atingido (a cor do fundo oscila entre verde e vermelho).

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Outros relatórios que podem ser gerados a partir do histórico de temperatura são os em formato XLS e TXT demonstrados nas Figuras 5 e 6. Esses relatórios podem indicar qualquer interrupção ocorrida durante o tratamento térmico, por exemplo, devido a algum problema de queda de energia.

	A	B
1	<b>TEMPO [dd/mm/aaaa hh:mm]</b>	<b>TEMPERATURA [°C]</b>
2	13/03/2014 15:35	774
3	13/03/2014 15:35	774
4	13/03/2014 15:35	774
5	13/03/2014 15:35	774
6	13/03/2014 15:35	773
7	13/03/2014 15:35	773
8	13/03/2014 15:35	773
9	13/03/2014 15:35	773
10	13/03/2014 15:35	773
11	13/03/2014 15:35	773
12	13/03/2014 15:35	773

Figura 5. Amostra do relatório no formato XLS.

RELATÓRIO - Bloco de notas	
TEMPO [dd/mm hh:mm:ss]	TEMPERATURA [°C]
"12/02 12:35:04"	553,00
"12/02 12:35:14"	553,00
"12/02 12:35:24"	553,00
"12/02 12:35:34"	553,00
"12/02 12:35:44"	554,00
"12/02 12:35:54"	554,00
"12/02 12:36:04"	554,00
"12/02 12:36:14"	554,00
"12/02 12:36:24"	554,00
"12/02 12:36:34"	554,00
"12/02 12:36:44"	554,00

Figura 6. Amostra do relatório no formato TXT.

As funcionalidades desenvolvidas e validadas neste trabalho se assemelham as alcançadas anteriormente por outros autores em patentes como: US 2002/0156542 A1, que registra métodos, dispositivos e sistemas para monitoramento, controle e otimização de processos utilizando CLP, SCADA e sensores; o US 6.940.047 B2, que registra a invenção de um aparato para tratamento térmico de materiais com sistema de controle de temperatura. Contudo o grande diferencial aqui apresentado é a criação de um aplicativo robusto, de fácil utilização, gratuito e de código aberto.

## 4 CONCLUSÃO

Ao término deste trabalho conseguimos desenvolver e validar um sistema de monitoramento, registro e controle de um controlador PID de um forno industrial para tratamentos térmicos de acordo com os requisitos iniciais. Além de agregar novas funcionalidades, confiabilidade e conforto aos seus usuários este aplicativo será distribuído gratuitamente para os laboratórios e estudantes do IFCE.

Dos resultados alcançados têm destaque os relatórios gerados no término de cada tratamento térmico, pois apenas com a configuração manual dos parâmetros não

\* Contribuição técnica ao 69<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14<sup>o</sup> ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



obtemos informações precisas sobre a temperatura durante os intervalos. Isso se deve a quantidade limitada de pontos que podem ser configurados. Com o relatório gráfico e as tabelas geradas, superamos tais dificuldades e ainda fornecemos uma base de dados para outros trabalhos na área de controle e materiais.

## Agradecimentos

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação IFCE e ao PROINFRA.

## REFERÊNCIAS

- 1 Chiaverini V. Tratamentos térmicos das ligas ferrosas. 2ª ed. São Paulo: ABM; 1987.
- 2 Silva ALVC, Mei PR. Aços e ligas especiais. 2 ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher; 2006.
- 3 Lawrence H, Vlack V. Princípios de ciências dos materiais. São Paulo: Editora Edgard Blücher; 1970.
- 4 Askeland DR, Phulé PP. Ciência e engenharia dos materiais. 1ª ed. São Paulo: Cengage learning ; 2008.
- 5 Chiaverini V. Aços e ferros fundidos. 7ª ed. São Paulo : ABM ; 2005.
- 6 Callister WD. Ciência e engenharia de materiais – Uma introdução. 7ª ed. Rio de Janeiro : LTC ; 2008.
- 7 Chiaverini V. Tecnologia mecânica, vol. III. 2ª ed. São Paulo: McGraw-Hill ; 1986.
- 8 Colpaert H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher; 2008.
- 9 Stouffer K, Falco J, Kent K. Guide to supervisory and data acquisition (SCADA) and industrial control systems security. Gaithersburg: Initial Public Draft; 2006.
- 10 Albuquerque PUB, Alexandria AR. Redes Industriais. 1ª ed. Fortaleza: Edições Livro Técnico; 2007.
- 11 Guerra WA. Implementação de controle proporcional, integral e derivativo digital em controladores lógico programáveis [Monografia]. Recife: UFP; 2009.
- 12 Moraes CC, Castrucci PL. Engenharia de automação industrial. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC; 2007

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.