

# Desenvolvimento de modelo térmico para cálculo da temperatura de chama na queima de combustíveis e correções para a relação ótima Ar/Combustível<sup>1</sup>

Clara Gonçalves Pugirá<sup>2</sup>  
Marcelo Lucas P. Machado<sup>3</sup>

## RESUMO

O trabalho apresenta um modelo térmico desenvolvido em linguagem de programação C++ baseado no conceito de balanço térmico com a finalidade de determinar a temperatura de máxima chama, a temperatura de chama em relação ao volume de ar e de combustível fornecidos, a relação ótima, volume de ar/ volume de combustível e também fornece os valores a serem corrigidos no volume de ar e/ou combustível para a obtenção da máxima temperatura de chama.

O modelo mostrou que aumentos na temperatura de pré-aquecimento do ar e do gás natural aumenta a temperatura de chama, que desvios da condição ideal sempre reduz a temperatura de chama. Observou-se que variações na temperatura de pré-aquecimento do combustível resulta em maiores alterações na temperatura de chama.

**Palavras-Chave:** Temperatura de chama, balanço térmico, modelo térmico.

## Development of thermal model to calculate of the flame temperature in the fuel combustion and corrections for the ideal ratio Air/Fuel<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The work shows a thermal model developed in programming language C++ based on the thermal balance theory with the purpose to determine the maximum flame temperature, the flame temperature in ratio to the air volume and of fuel supplied, the ideal ratio, air volume/fuel volume and also supplies the values to be corrected in the air volume and/or fuel the attainment of the maximum flame temperature.

The model showed that increases in the air pre-heating temperature and the natural gas increase of the flame temperature and that disturbances of the ideal condition always reduces the flame temperature. It was observed that variations in the fuel pre-heating temperature results in greater variations in the flame temperature.

**Keyword:** flame temperature, thermal balance, thermal model.

1. 6º Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Rio de Janeiro (RJ), 24 a 28 de junho de 2006.

2. Aluna do curso de Tecnologia em Metalurgia e Materiais do CEFET-ES, bolsista de iniciação científica, Vitória-ES, E-Mail: [clarapugira@walla.com](mailto:clarapugira@walla.com).

3.. Engenheiro Metalurgista, D.Sc. Coordenador do Curso de Engenharia Metalúrgica do CEFET-ES, Vitória-ES, E-Mail: [marcelolucas@cefetes.br](mailto:marcelolucas@cefetes.br).

## 1. Introdução

O primeiro passo no desenvolvimento do trabalho foi elaborar um balanço térmico escolhendo como temperatura de referência 25°C a partir da qual serão avaliadas todas as entradas e saídas de calor [1,2,3,4]. Foi escolhido para este trabalho o gás natural de composição (90% CH<sub>4</sub> e 10% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) como combustível a ser analisado.

Depois de levantados todos os dados termodinâmicos, foi desenvolvido um modelo térmico em programação C++ [5]. O modelo utiliza dados termodinâmicos [6] para calcular a temperatura de chama ideal e a temperatura de chama não ideal para diferentes variações de ar e combustível e também a relação ótima ar/combustível. O modelo fornece os valores a serem corrigidos no volume de ar e/ou combustível para a obtenção da máxima temperatura de chama, levando em consideração as temperaturas de pré-aquecimento dadas e permite também variações individuais das mesmas.

O modelo mostrou que aumentos na temperatura de pré-aquecimento do ar e do gás natural aumentam a temperatura de chama e que desvios da relação ideal ar/gás natural sempre reduzem a temperatura de chama.

## 2. Fluxograma do Modelo Térmico

O modelo Térmico primeiramente necessita como dado de entrada, o volume do combustível e as temperaturas de pré-aquecimento do ar e do combustível, assim o modelo calcula o valor do volume de ar ideal e o valor das demais variáveis necessárias para o cálculo da máxima temperatura de chama.

Caso se forneça também o volume de ar como dado de entrada, o mesmo calcula a temperatura de chama conforme os volumes fornecidos, caso estejam fora da condição ideal.

Com isso, o modelo mostra a correção necessária no volume de ar e/ou combustível para a obtenção da máxima temperatura de chama. O fluxograma do modelo térmico está mostrado na figura 1.

## 3. Análise dos resultados

Com o modelo térmico, foi possível fazer simulações por meio de variações individuais ou de ambos nos volumes de ar e combustível e nas temperaturas de pré-aquecimento.

Foram analisados o comportamento da temperatura de chama levando em consideração a influência do excesso e falta de oxigênio para as temperaturas de pré-aquecimento do ar e do combustível com 50°C e com 500°C para a diferentes relações de volume de ar/volume de combustível.

Foram admitidas variações na temperatura de pré-aquecimento de ar de 0°C a 500°C deixando fixa a temperatura do combustível em 25°C para a análise do comportamento da temperatura de chama. Analisou-se da mesma maneira, mas agora variando a temperatura do combustível e deixando fixa a temperatura do ar.

Observou-se também o comportamento da temperatura de chama, variando igualmente as temperaturas de pré-aquecimento.

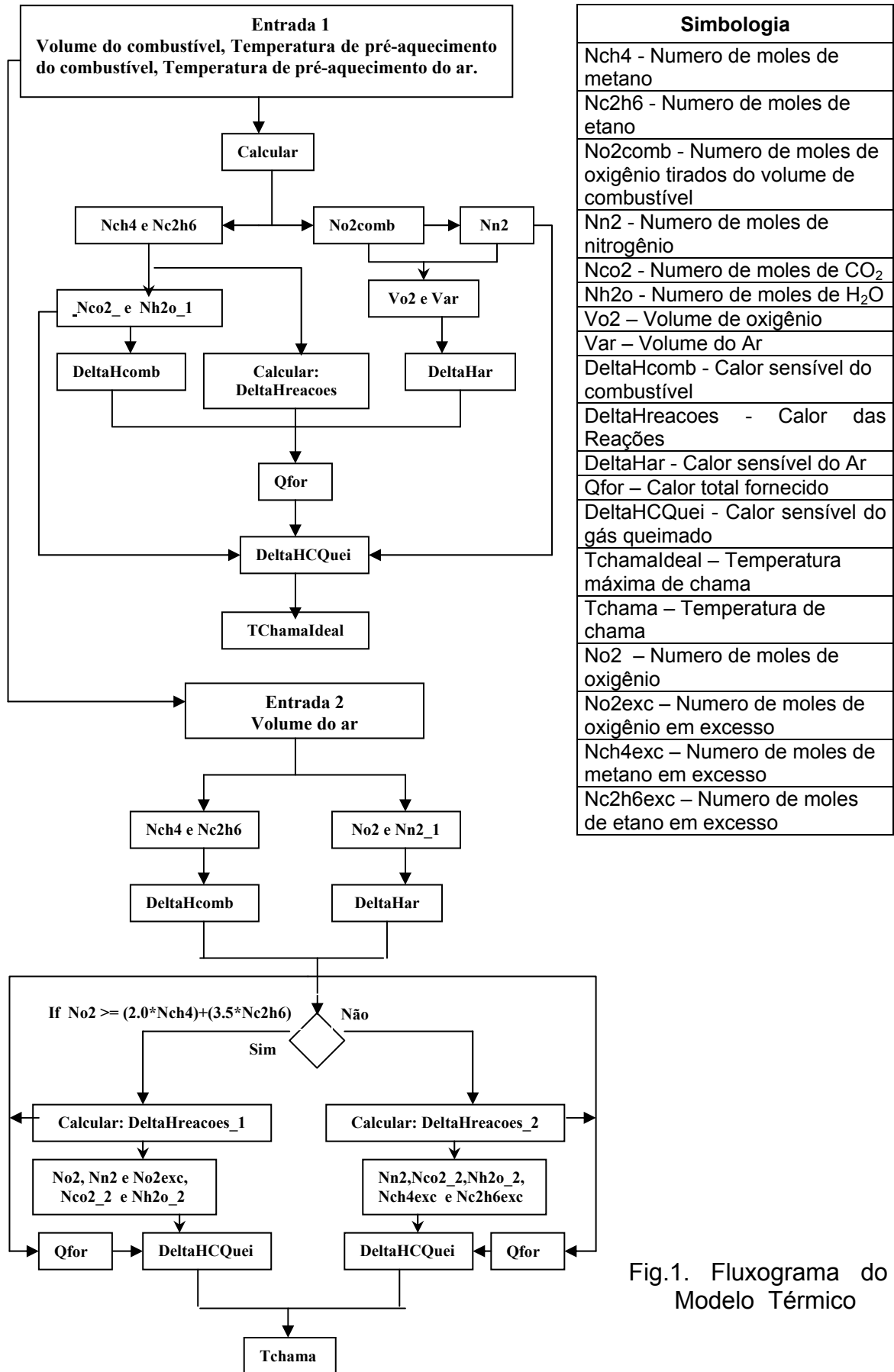


Fig.1. Fluxograma do Modelo Térmico

### 3.1. Efeito da variação na temperatura de chama para diferentes temperaturas de pré-aquecimento.

Observe nas figuras 2 e 3 que o comportamento da temperatura de chama é o mesmo, ou seja: ao usar um volume de ar menor que a idealidade, o combustível (CH<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) fica em excesso e observa-se que a temperatura de chama diminui. O mesmo acontece quando o volume de ar é maior, tem-se um excesso de oxigênio, ou seja, falta de combustível, e a temperatura também diminui.

Nota-se que o excesso de oxigênio tem uma influência maior na temperatura de chama que a sua falta, visto que seu excesso provoca uma queda mais acentuada na temperatura de chama.

Observa-se que maiores temperaturas de pré-aquecimento do ar e combustível resulta sempre em maiores temperaturas de chama.

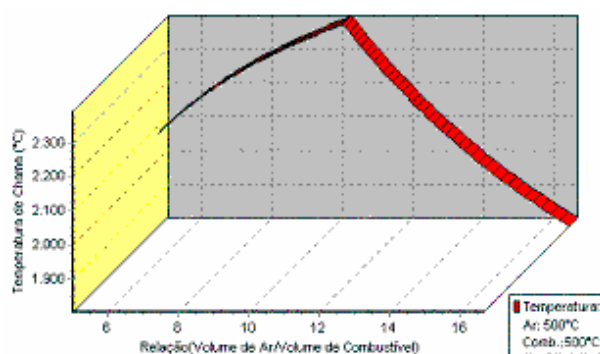


Fig.2 Comportamento da temperatura de chama para temperaturas de pré-aquecimentos do ar e combustível iguais a 500°C.

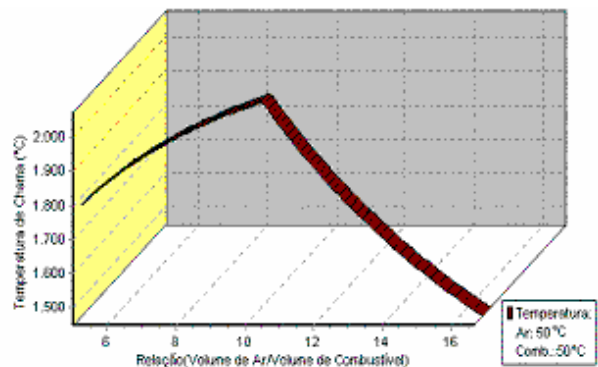


Fig.3 Comportamento da temperatura de chama para temperaturas de pré-aquecimentos do ar e combustível a 50°C.

### 3.2. Efeito da variação da temperatura de chama para uma temperatura de pré-aquecimento fixa e outra variando.

Como pode ser visto nas figuras 4 e 5, a temperatura de chama varia, visto que a mesma é influenciada pela temperatura de pré-aquecimento. Portanto, quanto maior a temperatura de pré-aquecimento maiores são as temperaturas de chama. Analisando essas duas figuras observa-se ainda que a temperatura de pré-aquecimento do combustível tem uma maior sensibilidade, pois ocasionou uma maior variação na temperatura de chama e proporciona maiores aumentos da mesma. Esta variação também está mostrada na tabela 1.

Por outro lado, a variação da temperatura de pré-aquecimento do ar mostrou uma menor influência na temperatura de chama, conforme pode ser visto na figura 5 e tabela 2.

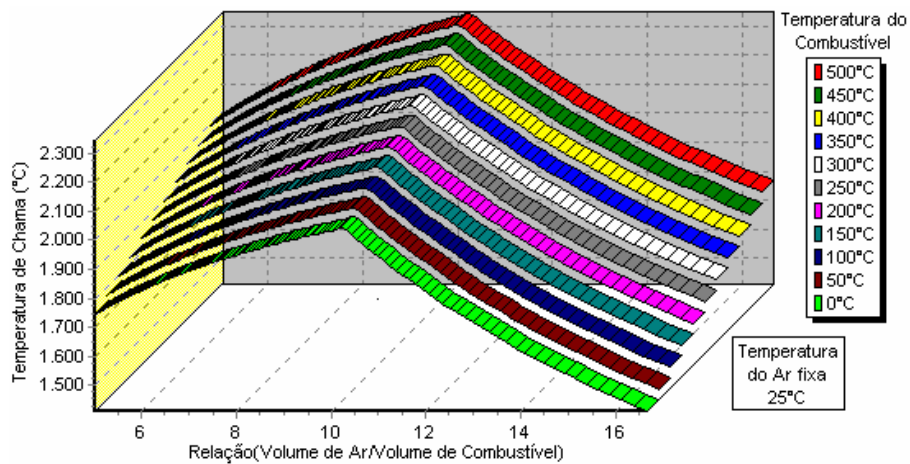


Fig.4 Efeito da variação na temperatura de chama para temperatura de pré-aquecimento do combustível variando e a do ar fixa a 25°C.

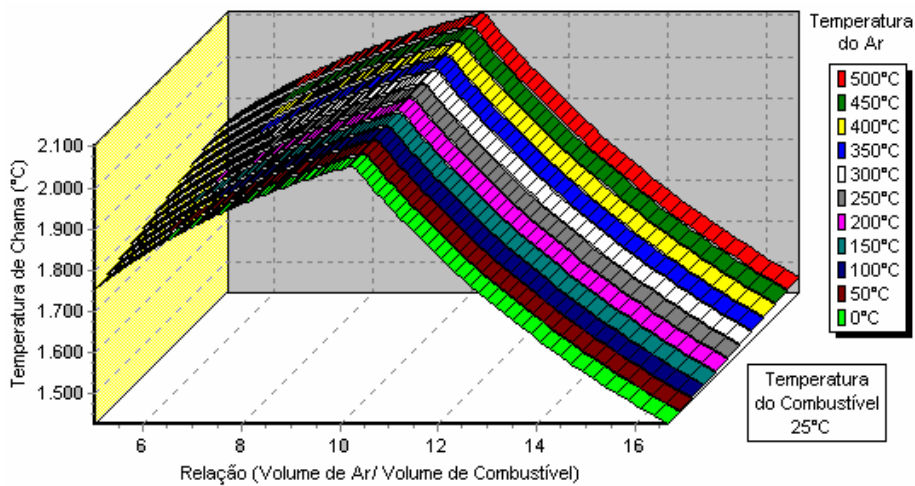


Fig.5. Efeito da variação na temperatura de chama para temperatura de pré-aquecimento do ar variando e a do combustível fixa a 25°C.

Tabela 1. Resultados das Temperaturas de Chama, das Relações (Volume de Ar/Volume de Combustível), variando as temperaturas de pré-aquecimento do Ar e deixando fixas as temperaturas de pré-aquecimento do Combustível (25°C).

Temp.do Ar (°C)	Temp.do Comb (°C)	Relação (Ar/Comb.)	Temperatura de Chama (°C)
0,0	25,0	6	1367,3358
50,0	25,0	7	1562,7482
100,0	25,0	8	1753,9625
150,0	25,0	9	1941,7704
200,0	25,0	10	2126,8482
250,0	25,0	10,24	2193,7388
300,0	25,0	11	2129,4244
350,0	25,0	12	2046,9251
400,0	25,0	13	1979,3884
450,0	25,0	14	1924,3525
500,0	25,0	15	1879,8640

Tabela 2. Resultados das Temperaturas de Chama, das Relações (Volume de Ar/Volume de Combustível), variando as temperaturas de pré-aquecimento do Combustível e deixando fixas as temperaturas de pré-aquecimento do Ar (25°C).

Temp.do Ar (°C)	Temp.do Comb (°C)	Relação (.Ar/Comb.)	Temperatura de Chama (°C)
25,0	0,0	6	1375,3482
25,0	50,0	7	1553,4318
25,0	100,0	8	1722,5179
25,0	150,0	9	1883,7264
25,0	200,0	10	2038,0661
25,0	250,0	10,24	2077,8451
25,0	300,0	11	1982,7386
25,0	350,0	12	1866,4275
25,0	400,0	13	1763,8212
25,0	450,0	14	1672,6845
25,0	500,0	15	1591,2399

### 3.2. Efeito da variação da temperatura de chama para variações iguais nas temperaturas de pré-aquecimento do ar e do combustível.

Nota-se na figura 6 que as temperaturas de pré-aquecimento iguais influenciam mais na temperatura de chama, quando comparados com as dadas nas figuras 4 e 5, devido a maiores entradas de calor com pré-aquecimentos iguais do ar e do combustível.

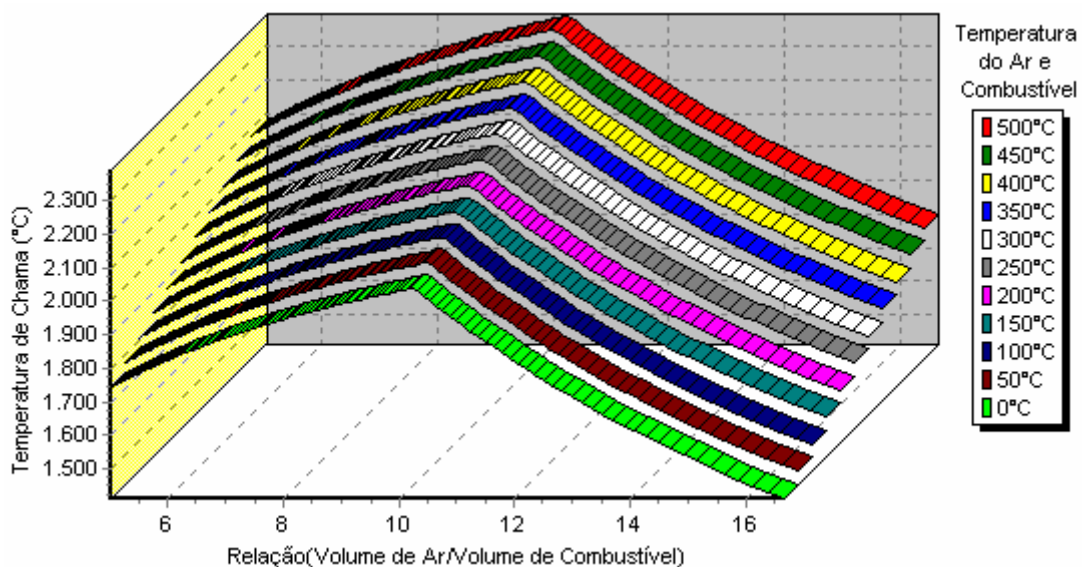


Fig.6. Efeito da variação na temperatura de chama para as mesmas variações na temperatura de pré-aquecimento do ar e do combustível.

### 3.2. Correções nos volumes de combustível e do ar para obtenção da máxima temperatura de chama.

O modelo calcula correções necessárias no volume do ar e/ou combustível, para a obtenção da máxima temperatura de chama e conseqüentemente melhor rendimento térmico e de consumo de combustível. A tabela 3 mostram alguns resultados destas correções.

Tabela 3. Resultados das correções feitas no volume do ar e do combustível para a obtenção da máxima temperatura de chama, para temperatura de pré-aquecimento do combustível e do ar fixas em 100°C.

Volume Comb (Nm <sup>3</sup> )	Volume Ar (Nm <sup>3</sup> )	Temp.de Chama (°C)	Temp.de Chama Ideal (°C)	Correção no Volume Combustível (Nm <sup>3</sup> )	Correção no Volume Ar (Nm <sup>3</sup> )
200,0	1000,0	1755,17	2112,10	- 100,0	+ 1047,62
150,0	1000,0	1936,79	2112,10	- 50,0	+ 535,71
100,0	1000,0	2112,10	2112,10	0,0	0,0
50,0	1000,0	1294,12	2112,10	+ 50,0	- 488,09
25,0	1000,0	748,63	2112,10	+ 75,0	- 744,05

### 4. Conclusões

O modelo confirmou que para uma relação ótima de volume de ar/combustível tem-se uma máxima temperatura de chama e volumes em excesso ou falta tanto de ar como de combustível, proporciona uma redução na temperatura de chama.

O excesso de ar na relação ar/combustível, ocasiona maiores variações na temperatura de chama, do que o excesso de combustível

A variação na temperatura de pré-aquecimento do combustível proporciona maiores temperaturas de chama para a mesma variação na temperatura de pré-aquecimento do ar;

Aumentos nas temperaturas de pré-aquecimento aumentam significativamente a temperatura de chama.

O modelo térmico calcula as correções necessárias nos volumes de ar e/ou combustível para obter a máxima temperatura de chama, com isto, será possível um controle automático visando melhor rendimento térmico e de consumo do combustível e/ou oxigênio.

### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo CEFET-ES por proporcionar uma bolsa de iniciação científica para C.G.P. no desenvolvimento deste trabalho.

## 6. Referências bibliográficas

- [1] ADAMIAM, R. **Físico-Química: Uma aplicação aos materiais**, COPPE/UFRJ, São Paulo 2002;
- [2] MACHADO, M.L.P. **Fundamentos da termodinâmica e Físico-Química aplicados a metalurgia**, CEFET-ES, Vitória, 2004;
- [3] HERSKOVIC, J. **Elaboração do aço: Fusão e Refino**, ABM, São Paulo, 1983;
- [4] ASSIS, P.S., SAMPAIO, R.S. **Novos processos de produção de ferro primário**, ABM, São Paulo, 1995.
- [5] ARAKAKI, R. et. al. **Fundamentos de Programação C**, LTC, 2ºed., 1990;
- [6] CARVALHO, J.L.R. **Dados Termodinâmicos para Metalurgistas**, UFMG, Belo Horizonte, MG, 1977.