

# BALANÇO TÉRMICO E DE MASSA DO SISTEMA DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO DE CARÇAÇAS, ABÓBADAS E DUTOS: UM IMPORTANTE INSTRUMENTO OPERACIONAL<sup>1</sup>

Joaquim Luiz Monteiro de Barros Júnior<sup>2</sup>  
Wilson Leandro da Silva<sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar de forma sucinta os conceitos básicos, teóricos e práticos, necessários para a confecção de um estudo de balanço térmico e de massa do sistema de água de refrigeração dos elementos refrigerados de carcaças e abobadas de fornos EAF e de dutos refrigerados do sistema de exaustão dos fornos em questão.

**Palavras-chave:** Balanço térmico; Carcaças; Abobadas; Dutos.

## THERMAL AND MASS BALANCE OF THE WATER COOLED SYSTEM OF UPPER SHELLS, ROOFS AND DUCTS: AN IMPORTANT OPERATIONAL INSTRUMENT

## Abstract

The aim of this work is to present briefly the basic, theoretical and practical concepts, necessary to prepare a thermal and mass balance of the water cooled system of upper Shells and roofs of EAF furnaces and cooled ducts of exhaust system of these furnaces.

**Key words:** Thermal balance; Upper shell; Roof; Duct.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, com Mestrado em Eficiência Energética, Diretor Superintendente da KONUS ICESA S.A., Rio de Janeiro – RJ. E-Mail: Joaquimluiz@konus.com.br

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico, Coordenador de Vendas Técnicas da KONUS ICESA S.A., Rio de Janeiro – RJ. E-Mail: wilson@konus.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

O perfeito dimensionamento térmico, a escolha de materiais adequados, o design e a manutenção dos elementos refrigerados, levando-se em consideração os aspectos específicos de cada forno, são pontos fundamentais para uma operação contínua e eficiente.

Este trabalho tem como objetivo ser um instrumento técnico orientativo, no auxílio dos usuários e projetistas deste tipo de equipamento, para o esclarecimento de dúvidas técnicas e no desenvolvimento operacional.

Isto posto, tentar-se-á utilizar uma linguagem técnica de forma simples e direta e apresentar os conceitos de forma clara e acessível.

## 2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR NOS ELEMENTOS REFRIGERADOS

A transferência de calor da parede do tubo para a água é basicamente determinada por três parâmetros:

- Turbulência;
- Película Hidráulica; e
- Película Térmica.

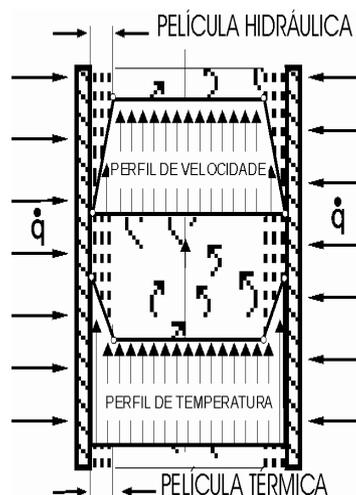
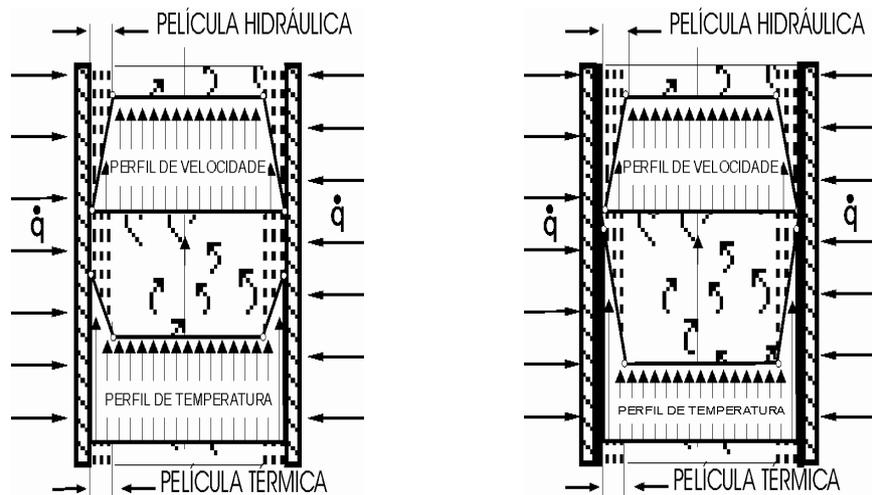


Figura 1: Perfis de velocidade e temperatura, dentro de uma tubulação

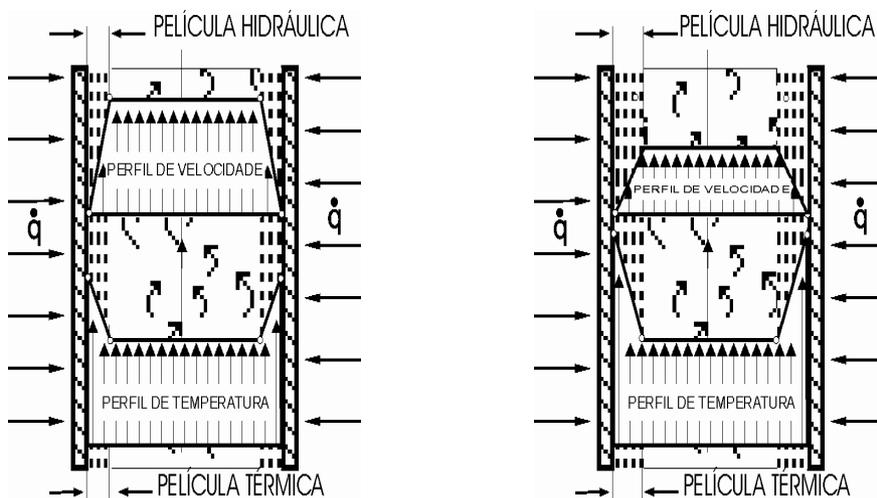
## 3 A IMPORTÂNCIA DA QUANTIDADE E DA QUALIDADE DA ÁGUA

Quanto maior a velocidade de água, maior o poder de refrigeração e menor será a temperatura do tubo.

O depósito interno atua como um isolante térmico entre o tubo e a água, dificultando a troca de calor e provocando o superaquecimento do tubo. O aumento da temperatura no tubo faz com que a fadiga térmica venha a danificar o elemento refrigerado rapidamente.



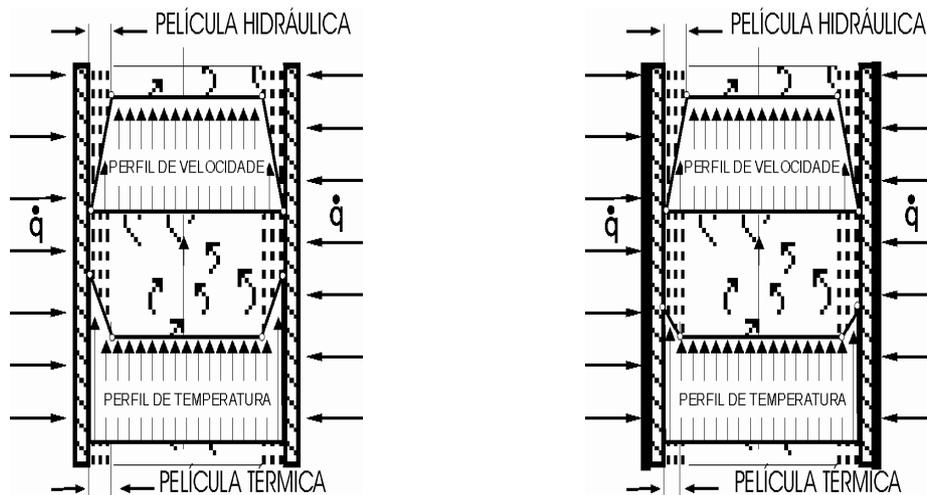
**Figura 2:** Perfis de velocidade e temperatura, dentro de uma tubulação normal e com depósito interno.



**Figura 3:** Perfis de velocidade e temperatura, dentro de uma tubulação normal e com pequena vazão de água.

#### 4 A IMPORTÂNCIA DA PROTEÇÃO DA ESCÓRIA

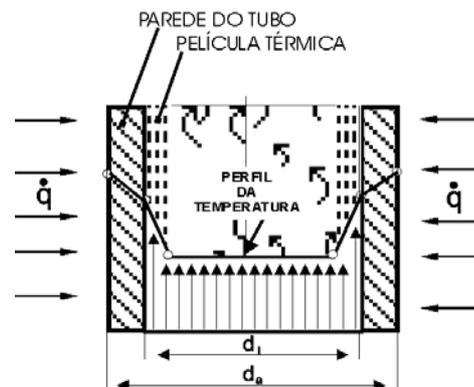
Durante a operação do forno acontece a solidificação de escória que esta em contato com os painéis refrigerados. Quanto mais espessa for esta camada de escória, maior será o isolamento térmico que protege o painel refrigerado.



**Figura 4:** Perfis de velocidade e temperatura, dentro de uma tubulação normal e com escória na parede externa.

## 5 FADIGA TÉRMICA

O aquecimento desigual de partes de um componente pode produzir tensões térmicas que podem levar a falha por fadiga. É o que chamamos de fadiga Térmica. A fadiga térmica é proveniente do (super) aquecimento e resfriamento repetido dos tubos dos elementos refrigerados (ciclos de aquecimento / resfriamento durante as etapas da corrida e durante as corridas).



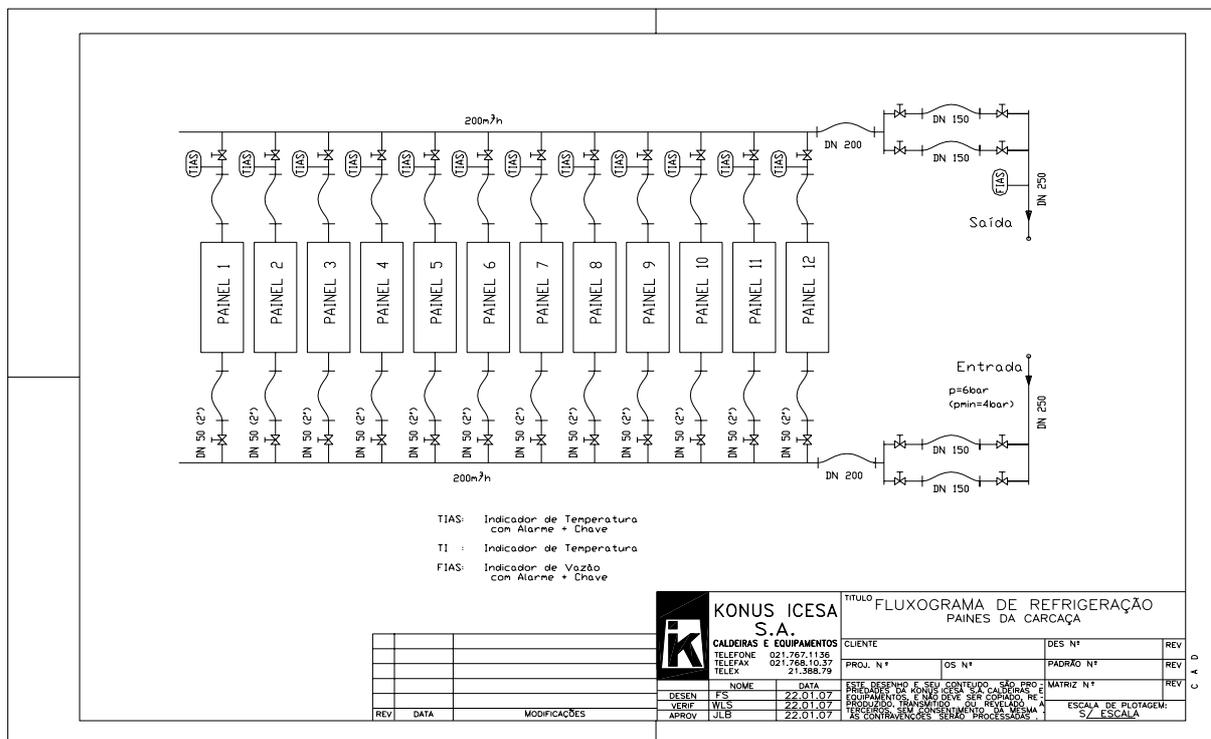
**Figura 5:** Processo de Fadiga Térmica em um tubo de aço carbono

## 6 ESTUDO DO BALANÇO TÉRMICO E DE MASSA DOS ELEMENTOS REFRIGERADOS

Com a tabela abaixo, consegue-se calcular a carga térmica total e unitária por elemento refrigerado. Com isto se dimensionar corretamente a vazão de água necessária em cada ponto.

**Tabela 1:** Tabela orientativa dos painéis refrigerados do EAF com seus respectivos dados construtivos e operacionais.

Posição	Tipo	Área (M²)		Temp. Ent. Média (C)	Temp. Saída Média (C)	Temp. Saída MAX. (C)	Vazão (M3/H)	Vazão (M3/H/M2)	Carga Térm. Média (KW)	Carga Térm. Máx.(KW)	Carga Térm. Méd.(KW/M2)	Carga Térm. MAX. (KW/m2)
		Aço	Cobre									
1	1.1.1.	2,21	0,00	25	46	75	12,9	5,8	315	750	142	339
2	B	2,21	0,27	25	43	88	12,2	4,9	255	894	103	360
3	1.1.1.	2,25	0,32	25	48	96	19,8	7,7	530	1635	206	636
4	C	2,25	0,32	25	47	99	19,0	7,4	486	1635	189	636
5	E	1,80	0,00	25	35	43	13,0	7,2	151	272	84	151
6	D	2,13	0,00	25	40	53	18,0	8,5	314	586	147	275
7	D	2,13	0,00	25	37	52	18,9	8,9	264	593	124	279
8	D	2,13	0,00	25	37	70	16,8	7,9	234	879	110	413
9	C	2,25	0,32	25	40	56	17,0	6,6	297	613	115	238
10	B	2,21	0,27	25	40	70	13,5	5,4	235	706	95	285
11	C	2,25	0,32	25	47	86	15,3	6,0	391	1085	152	422
12	A	2,21	0,00	25	44	65	16,2	7,3	358	753	162	341



**Figura 6:** Fluxograma

Abaixo apresentamos passo a passo como obter e calcular todos os dados da tabela:

### 6.1 Posição e Tipo

Devem ser definidas todas as posições fixas dos elementos refrigerados e também o tipo que é utilizado em cada posição.

## 6.2 Área

Deve-se calcular a área de troca térmica de cada elemento refrigerado.

## 6.3 Temperaturas

Através das instalações de instrumentos de medição de temperatura, deve-se medir e registrar as temperaturas de entrada e saída máximas e médias durante todo o período de operação do forno.

## 6.4 Vazões

Deve-se medir a vazão unitária de cada elemento refrigerado, para tanto como na maioria dos casos só existe a medição / registro de vazão total, pode-se utilizar um aparelho remoto de medição de vazão.



Figura 7: Medição de Vazão

## 6.5 Cálculo de Carga Térmica

Com base nos dados levantados calcula-se a carga térmica média, máxima e por  $m^2$ .

## 6.6 Análise

Com todos os valores da tabela levantados e/ou calculados, tem-se como analisar os níveis de temperatura de trabalho e com isto se verificar se há necessidade de aumento ou redução da vazão de água total ou unitárias de cada elemento refrigerado.

## 7 CONTROLE DOS ELEMENTOS REFRIGERADOS

Com o formulário abaixo o setor de manutenção consegue ter um histórico da vida dos elementos refrigerados por tipo e por posição. Esta informação é um importante instrumento no processo de melhoria e solução de problemas.

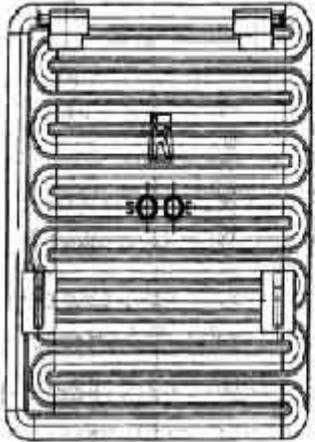
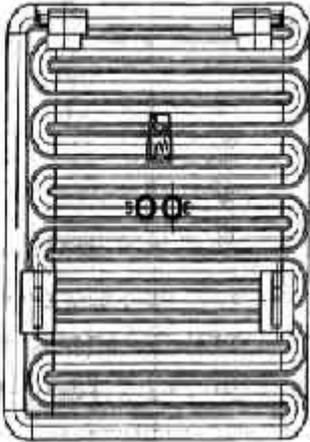
			
DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA		DESCRIÇÃO DOS ITENS SUBSTITUÍDOS	
CLIENTE	PAINEL	Nº CORRIDAS	DATA
			RESPONSÁVEL:
DATA DE CHEG. NA KONUS	POSIÇÃO	FORNID	DOCUMENTOS Nº
DATA DE SAÍDA DA KONUS	TIPO DE REFORMA DO PAINEL		
	PREVENTIVA		
	CORRETIVA		
	MODIFICAÇÃO (AL. TERAÇÃO TÉCNICA)		
<b>DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS EXECUTADOS</b>			
LIMPAR	OBSERVAÇÕES		
DESEMPENAR			
TROCAR CONEXÕES			
REPOR PINOS E CHAVETAS			
TROCAR TUBOS DE AÇO			
TROCAR TUBOS DE COBRE			
PINTAR			
TESTE DE VAZÃO			
TESTE HIDROSTÁTICO			
<b>PARECER TÉCNICO (QUANTO AS CONDIÇÕES GERAIS DO PAINEL)</b>			

Figura 8: Folha de controle dos Elementos Refrigerados.

## **8 CONCLUSÃO**

Elaborando-se um bom projeto de forma adequada as reais necessidades de cada forno, fabricando elementos refrigerados com tecnologia e materiais adequados, consegue-se aumentar significativamente a vida útil dos mesmos.

Vimos também que a qualidade, vazão e velocidade da água de refrigeração é muito importante não só para o aumento da vida útil, mas também para uma operação sem interrupções seja por alta temperatura seja por vazamentos nos elementos refrigerados provocados pela fadiga térmica.

Cabe ressaltar por último que um controle com o histórico operacional e de manutenção dos elementos refrigerados no EAF é um importante instrumento no auxílio, não só na solução dos problemas, mas também nas ações que devem ser implementadas para evitar os mesmos.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 Wagner, Walter. Manual Konus Icesa de Transferência de Calor. Alemanha: Verlag.Resch GMBH, 1997
- 2 Holman, J.P. Transferência de Calor. São Paulo. Mc Graw-Hill, 1983.
- 3 Weber, Ralph, Elsner, Emil. Water Cooling Systems on Electric Arc Furnaces.In: ILAFA 18,, 1997, Punta Del Leste.
- 4 Weber, Stephan, Tranferência de calor na Atmosfera de um Forno Elétrico.In: Encontro Internacional de Política Energética – Konus Icesa, 1997, São Paulo.