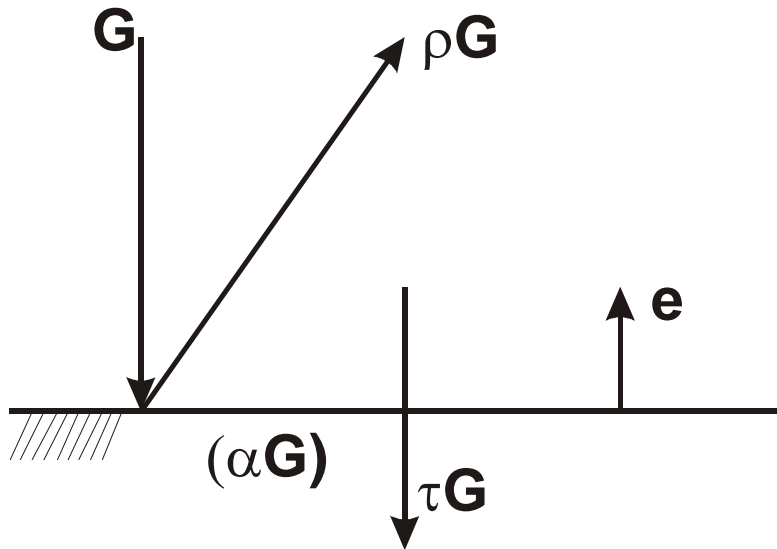


# **METALURGIA EXTRATIVA DOS NÃO FERROSOS**

## **PMT 3409**

# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO



$$G = \rho G + \alpha G + \tau G$$
$$e$$
$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

**G**=Fluxo total incidente  
 **$\alpha$**  = absorvidade  
 **$\rho$**  = refletividade  
 **$\tau$**  = transmitividade  
**e** = emitância ou poder emissor

# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO

• **Corpo opaco:**  $\tau = 0 \Rightarrow \alpha + \rho = 1$  – condição para muitos sólidos e líquidos com exceção dos vidros e silicatos líquidos

• **Corpo transparente:**  $\tau \neq 0$

• **Radiosidade:** fluxo que sai do corpo -  $q_{irr}'' = e + \rho G$

• **Corpo negro:** absorve toda energia além de emitir o máximo

$$\rho = \tau = 0 \therefore \alpha = 1$$

$$q_{irr}'' = e_b$$

**poder emissor**

• **Corpo real:** tem um poder emissor que é uma fração de um corpo negro. Dessa forma:

$$e = \varepsilon \cdot e_b$$

$\varepsilon$  = emissividade

• **Corpo cinza:** absorvidade não depende da temperatura do corpo

# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO

Para um corpo negro:

$$e_b = \sigma \cdot T^4$$

$\sigma$ =constante de Stefan-Boltzman

$$4,93 \times 10^{-8} \text{ kcal/h.m}^2.\text{K}^4$$

$$5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$$

$$0,1713 \times 10^{-8} \text{ BTU/h.ft}^2.\text{R}^4$$

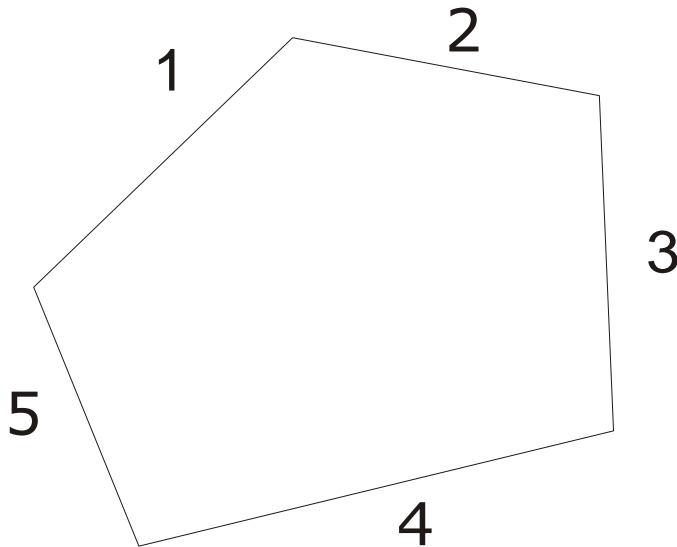
T = temperatura absoluta

Para um corpo real:

$$e = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO

**FATOR DE VISTA:** representa a fração de radiação de (1) que atinge (2) –  $F_{12}$



$$F_{12} + F_{13} + F_{14} + \dots = 1$$

$$S_1 \cdot F_{12} = S_2 \cdot F_{21}$$

# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO

Portanto:

- A energia emitida pela superfície (1) que atinge a superfície (2) será:

$$E_{12} = e_{b1} \cdot S_1 \cdot F_{12} = q'_{1 \rightarrow 2}$$

- O caso contrário será:

$$E_{21} = e_{b2} \cdot S_2 \cdot F_{21} = q'_{2 \rightarrow 1}$$

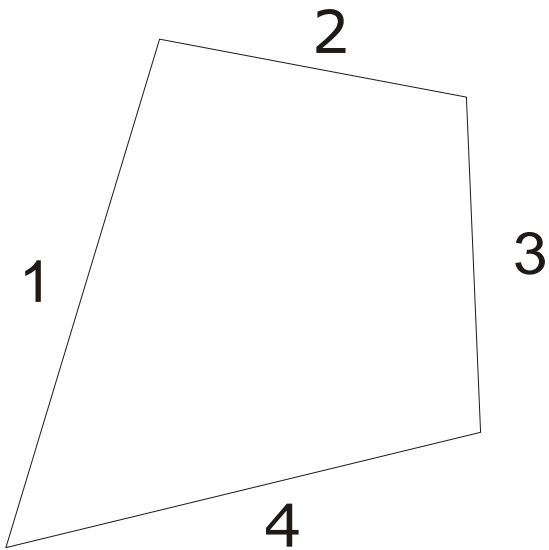
- A troca líquida de energia de (1) para (2) será:

$$q'_{1,l} = q'_{1 \rightarrow 2} - q'_{2 \rightarrow 1}$$

$$\begin{aligned} q_{1,l} &= S_1 \cdot F_{12} \cdot (e_{b1} - e_{b2}) = \\ &= S_1 \cdot F_{12} \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \end{aligned}$$

# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO

Para superfícies múltiplas:



$$q'_{1,l} = \frac{(e_{b1} - e_{b2})}{\frac{1}{S_1 \cdot F_{12}}} + \frac{(e_{b1} - e_{b3})}{\frac{1}{S_1 \cdot F_{13}}} + \frac{(e_{b1} - e_{b4})}{\frac{1}{S_1 \cdot F_{14}}}$$

# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO

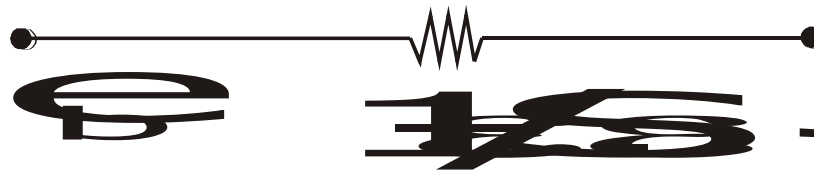
$$q_{1,l} = S_1 \cdot F_{12} \cdot (e_{b1} - e_{b2})$$

•  $(1/S_1 \cdot F_{12})$  = resistência à radiação entre dois potenciais de mesma natureza

$$1/S_2 \cdot F_{12}$$



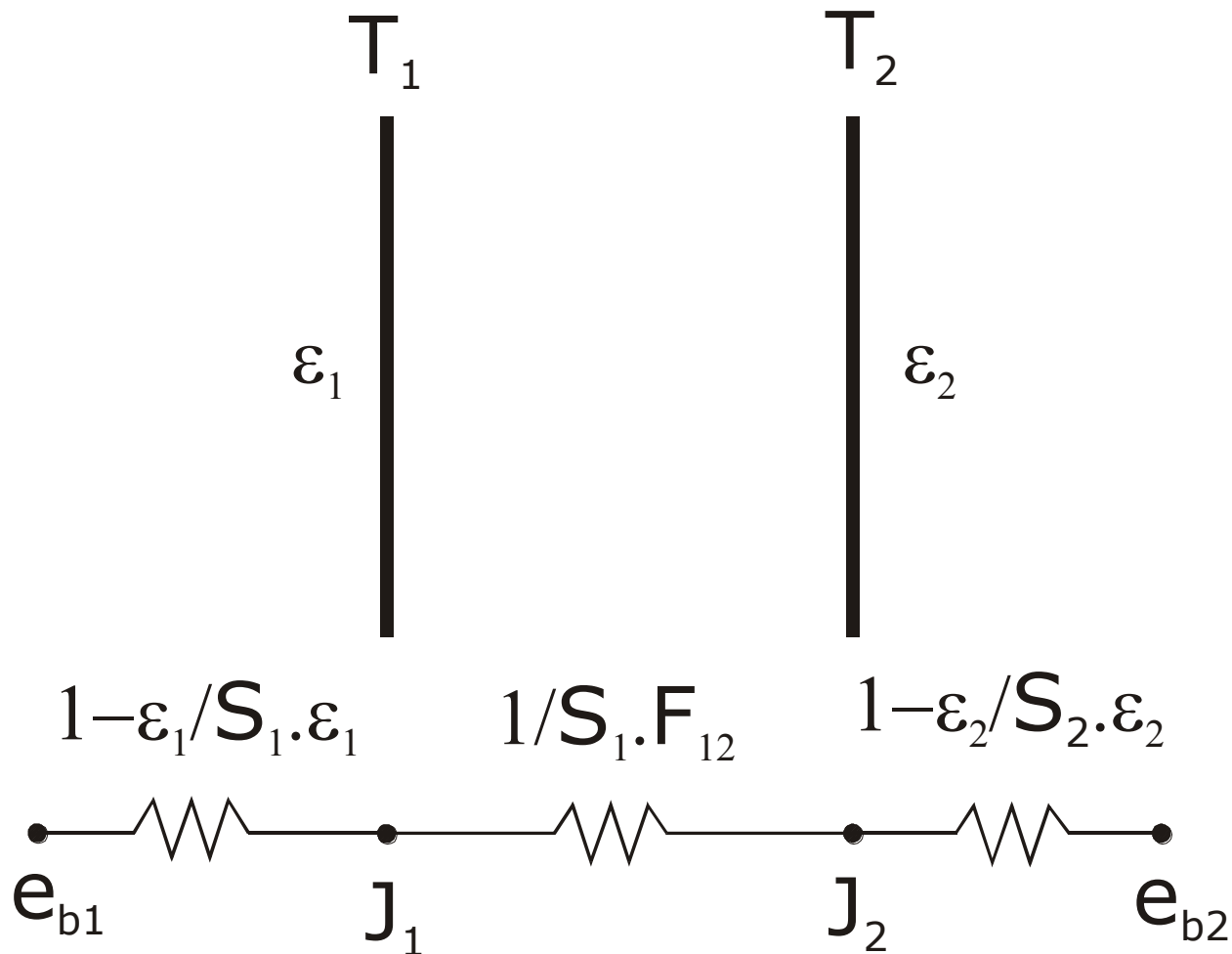
O potencial de um corpo cinza (J) pode ser transformado em um corpo negro (e<sub>b</sub>) pela resistência  $(1-\epsilon)/(S \cdot \epsilon)$ .





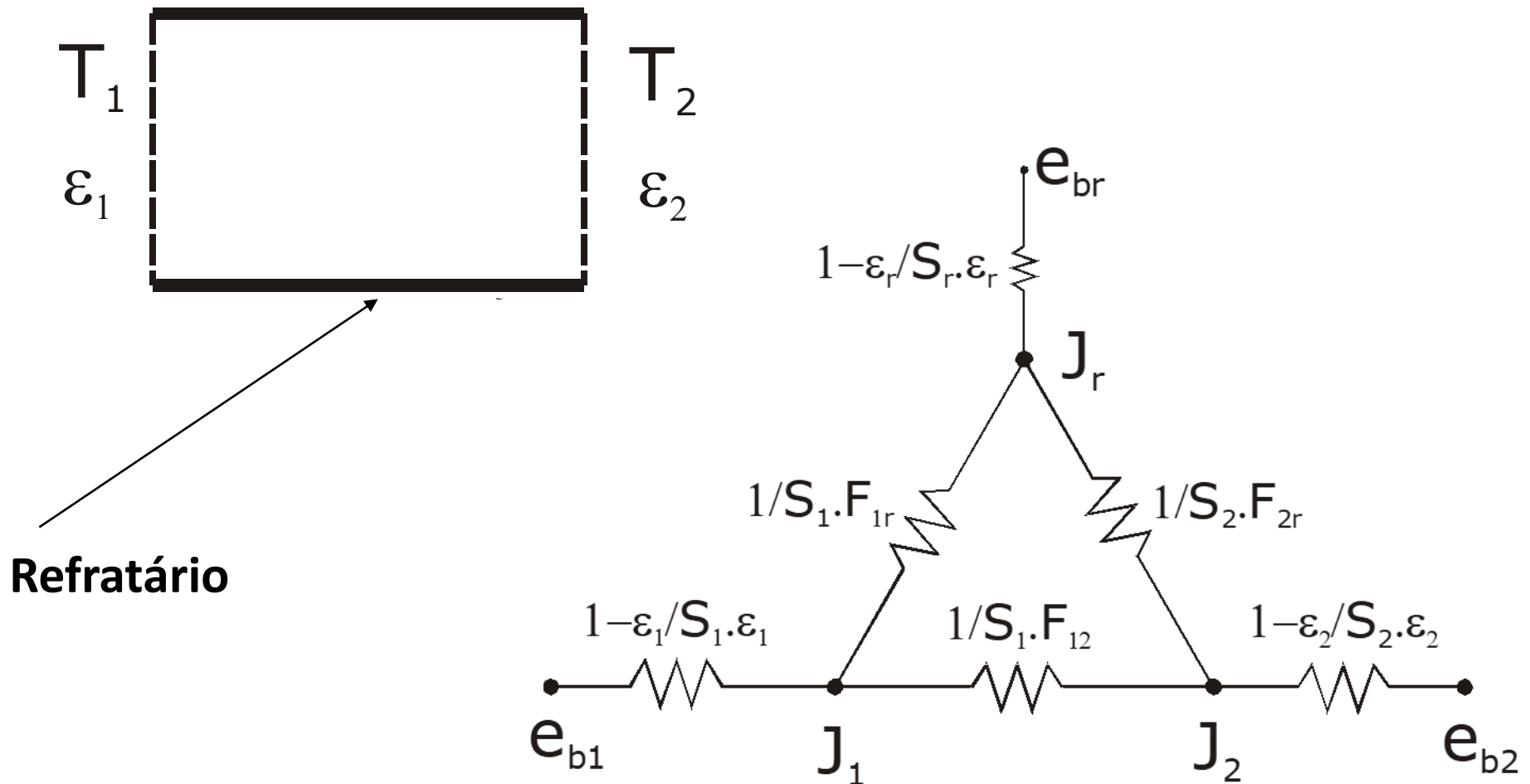
# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO

Para duas superfícies paralelas:

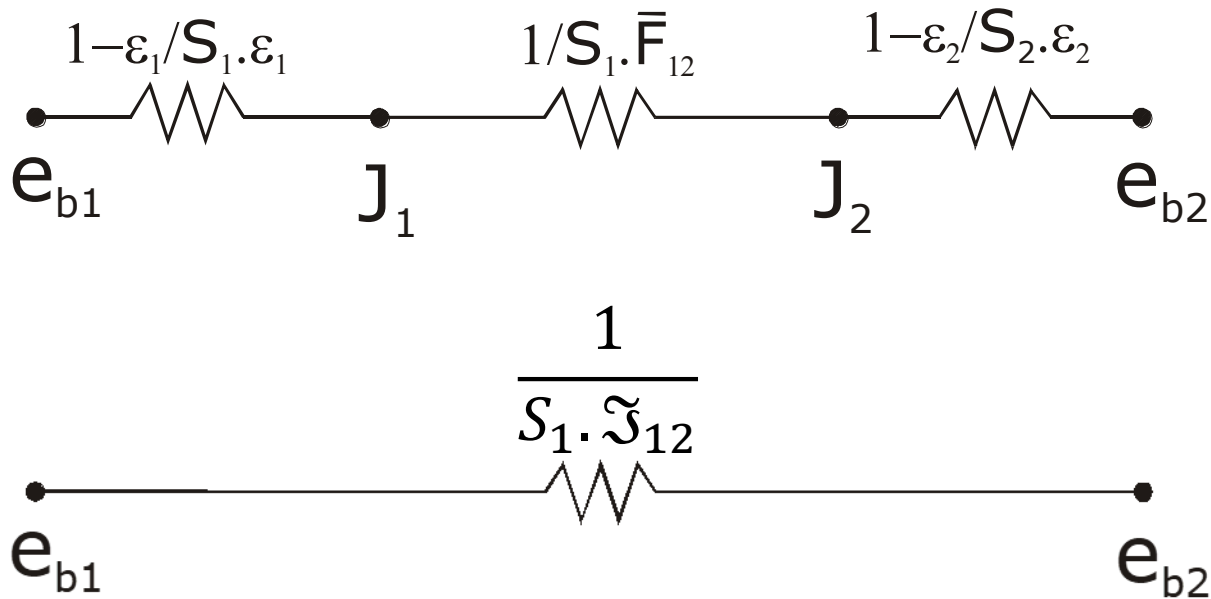


# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO

Para sistemas “fechados”:



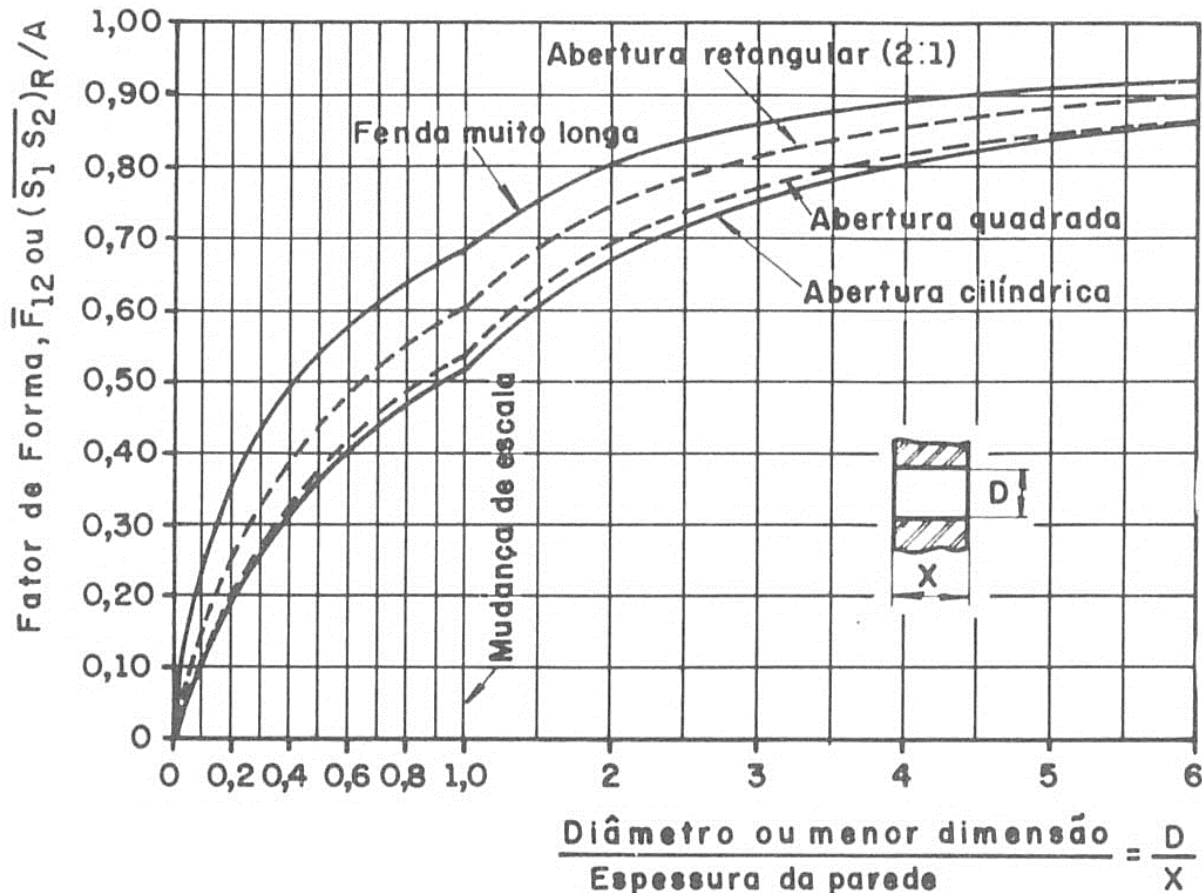
# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO



$$\frac{1}{S_1 \cdot \tilde{\mathcal{T}}_{12}} = \frac{1 - \epsilon_1}{S_1 \cdot \epsilon_1} + \frac{1}{S_1 \cdot \bar{F}_{12}} + \frac{1 - \epsilon_2}{S_2 \cdot \epsilon_2}$$

$$q'_{1,l} = S_1 \cdot \tilde{\mathcal{T}}_{12} \cdot (e_{b1} - e_{b2}) = S_1 \cdot \tilde{\mathcal{T}}_{12} \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO



- Fator de forma global entre duas superfícies paralelas conectadas por paredes refratárias não-condutoras<sup>1</sup>

# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO

Uma panela de seção circular tem 4m de diâmetro interno e 6 m de altura. O aço líquido ocupa 67% da panela. Sabendo que as emissividades dos refratários das paredes são iguais a 0,5 e a do aço líquido igual a 0,45 , determinar o tempo de solidificação do aço, supondo que a sua temperatura inicial é de 1600°C e não há perdas significativas através das paredes. Compare este valor quando se coloca uma tampa com um furo circular de 0,5m.

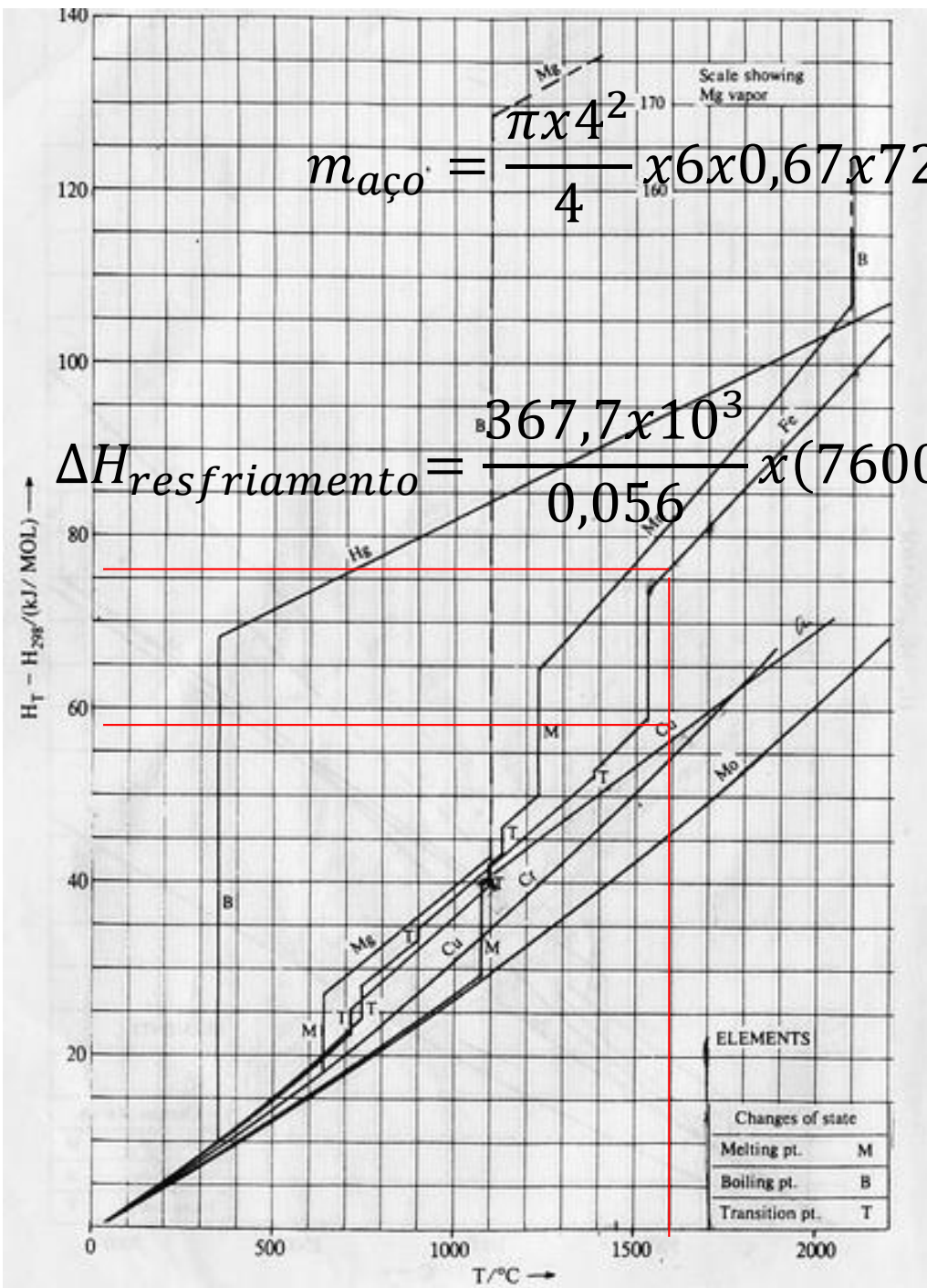
$$\frac{D}{X} = \frac{4}{6 \times 0,33} = 2,02 \therefore \bar{F}_{12} \approx 0,57$$

$$\frac{1}{\frac{\pi x 4^2}{4} x \tilde{\mathcal{J}}_{12}} = \frac{1 - 0,45}{\frac{\pi x 4^2}{4} x 0,45} + \frac{1}{\frac{\pi x 4^2}{4} x 0,57} + \frac{1 - 1}{\frac{\pi x 4^2}{4} x 1} \quad \tilde{\mathcal{J}}_{12} = 0,336$$

$$q'_{1,l} = \frac{\pi x 4^2}{4} x 0,336 x 5,6697 x 10^{-8} x (1873^4 - 0^4) = 2,95 x 10^6 \text{ W}$$

$$m_{aço} = \frac{\pi \times 4^2}{4} \times 6 \times 0,67 \times 7200 \equiv 367,7 \text{ t}$$

$$\Delta H_{resfriamento} = \frac{367,7 \times 10^3}{0,056} \times (76000 - 58000) = 1,17 \times 10^{11} \text{ J}$$



# TRANSPORTE DE CALOR POR IRRADIAÇÃO

$$q'_{1,l} = 2,95 \times 10^6 \text{ W}$$

$$\Delta H_{\text{refriamento}} = 1,17 \times 10^{11} \text{ J}$$

$$t_{\text{solidificação}} = \frac{1,17 \times 10^{11}}{2,95 \times 10^6} = 39712,35 \text{ s} \equiv 11,03 \text{ h}$$