

Aluno: _____

Observações:

- (a) A interpretação das questões faz parte da avaliação;
- (b) Todos os cálculos devem ser demonstrados, sob pena de anulação da questão;
- (c) Os critérios de correção estão disponíveis no rodapé da última folha;
- (d) Calculadora com **tela gráfica** não é permitida;
- (e) Quando convier, o SISTEMA ou o VOLUME de CONTROLE deve ser definido. Caso contrário a questão pode ser anulada.

QUESTÃO 1 (VALOR 30) Uma torre de congelamento de ervilhas pode ser modelada aproximadamente como um duto vertical ($g=9,81 \text{ m/s}^2$) na qual a temperatura é mantida em toda a sua seção a $T_\infty=-30^\circ\text{C}$. Existe uma corrente ascendente de ar com velocidade de 10 m/s na qual a Força de Arrasto, F_D , sobre uma ervilha pode ser modelada pela equação:

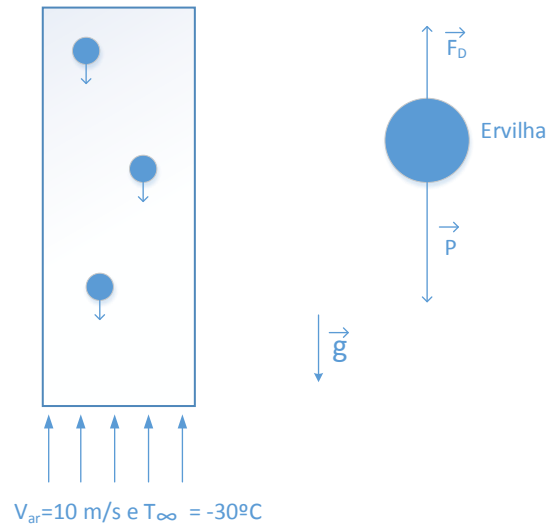
$$F_D = C_D \frac{\rho_f V_{rel}^2 A}{2}$$

Onde C_D é o coeficiente de arrasto, ρ_f é a massa específica do ar escoando ($\rho_f = 1,23 \text{ kg/m}^3$), V_{rel} é a velocidade do ar relativo a ervilha, A é a área da seção transversal do corpo esférico (ervilha). O coeficiente de arrasto é expresso como:

$$C_D = \frac{24}{Re'} \quad \text{onde} \quad Re' = \frac{\rho_f V_{rel} D}{\mu}$$

sendo Re o número de Reynolds e D o diâmetro da esfera e $\mu = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(sm)}$ é a viscosidade dinâmica. Considere, nesta primeira análise, que a ervilha entra nesta seção do túnel de resfriamento, já congelada a temperatura de 0°C , partindo do repouso ($V_0 = 0 \text{ m/s}$). Opondo-se a este deslocamento existe uma Força de Arraste. Determine (assumindo a hipótese de capacitância global válida):

- a) (2,0 pontos) Utilizando a 2ª Lei de Newton: $\sum \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$, calcule o comprimento do túnel, L , a fim de que as ervilhas saiam a uma temperatura de -20°C . Assuma que o diâmetro da ervilha é 5 mm e suas propriedades são próximas ao do gelo [$\rho = 920 \text{ kg/m}^3$, $k = 2,2 \text{ W/(mK)}$ e $c = 2040 \text{ J/(kgK)}$]. O coeficiente de convecção médio neste problema é $40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.
- b) (1,5 pontos) Para as mesmas condições, calcule a energia de resfriamento necessária para uma vazão de 5 kg/s de ervilha.
- c) (1,5 pontos) A hipótese de capacitância global é válida nesta condição?

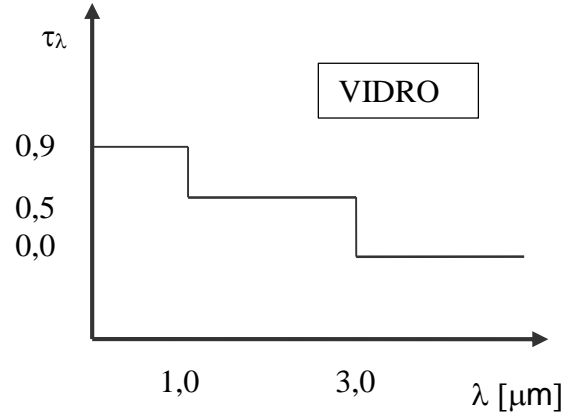
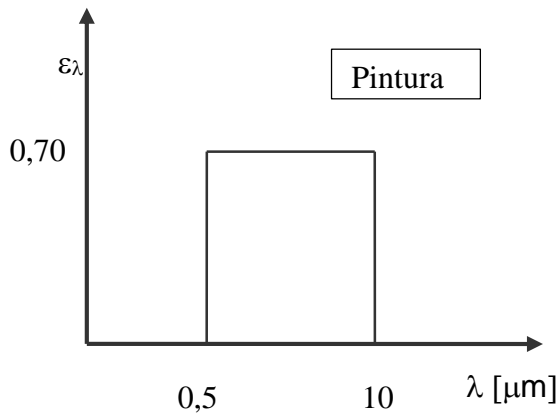


QUESTÃO 2 (VALOR 35)

Coletores termossolares são frequentemente instalados em residências no Brasil, até mesmo em residências chamadas de "populares", com financiamento do programa "minha casa minha vida". O sistema coleta a energia solar através das placas termossolares, aquecendo a água que permanece estocada dentro dos reservatórios no formato cilíndrico, que são usualmente designados de "boilers". Para uma situação como na figura, o cilindro tem um diâmetro de 50 cm e $1,5 \text{ m}$ de comprimento, possuindo uma espessura interna de 50 mm de isolamento. A placa tem dimensão de $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$. Calcule para a temperatura do ar a 25°C :

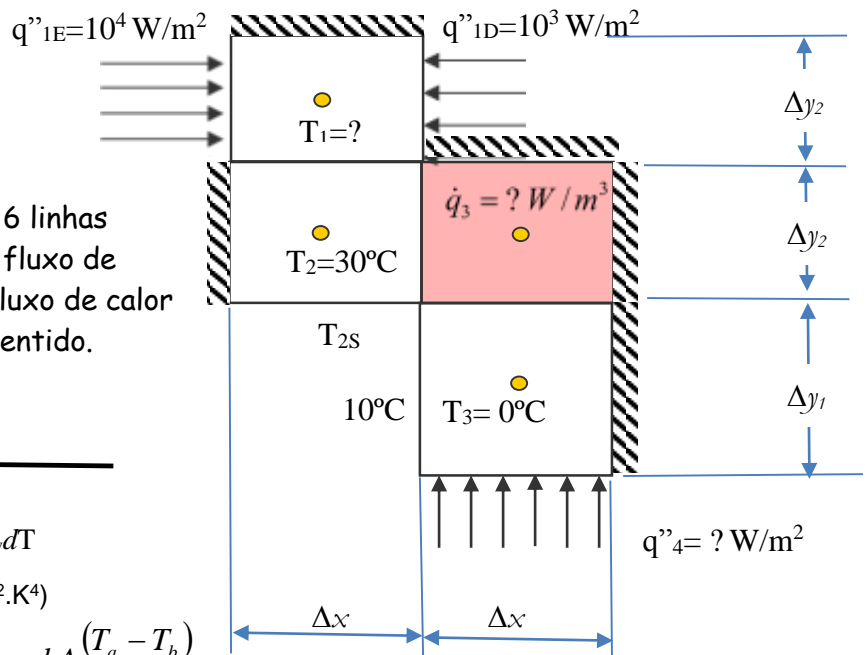
- a) A taxa transferida de calor pelo boiler sendo que este está com água a 60°C em seu interior. Despreze as taxas transferidas pela base e pelo topo do cilindro. A aproximação de parede plana neste problema ocorreria em um grande erro? ($k_{isol} = 0,1 \text{ W/(mK)}$), $h = 30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- b) Obtenha a transmitância total do vidro com base na incidência de um fluxo solar ($T = 5.800\text{K}$) de 1.000 W/m^2 .
- c) Obtenha a fração de energia que a placa sob a qual há a pintura irá absorver. A pintura está a 60°C .
- d) Obtenha a fração de energia que ao entrar no coletor termossolar, é refletido internamente e sai novamente para o exterior.

e) Obtenha a fração de energia que é emitida pela placa com a pintura, que está a aproximadamente 60°C e é emitida para fora do coletor.



QUESTÃO 3 (VALOR 30) Para o problema ilustrado na figura, calcule por volumes finitos as temperatura T_1 , T_{2s} , a geração de calor no volume 3 e o fluxo de calor no volume 4, apresentando as deduções. Desenhe no mínimo 6 isothermas 6 linhas de fluxo de calor (2 por volume). Calcule o fluxo de calor horizontal entre o volume 2 e 3 e o fluxo de calor vertical entre o volume 3 e 4 indicando o sentido.

Dados: $\Delta x = \Delta y_1 = 2\Delta y_2 = \Delta z = 1\text{m}$, $k = 100\text{ W/(mK)}$



Formulário: $PV=MRT$ $\delta W=PdV$
 $\gamma = c_p/c_v$ $c_p-c_v=R$ $\delta Q-\delta W=dU$ $du=c_vdT$
 $q_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_1^4 - T_2^4)$, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$
 $q_{latente} = \dot{m}h$ $q_{sensível} = mc_p \frac{dT}{dt}$ $q_{cond} = kA \frac{(T_a - T_b)}{L}$

$q_{conv} = hA(T_s - T_\infty)$ $q'' = -k \frac{\partial T}{\partial n}$ Expansão de Taylor $f_{x+dx} = f_x + \frac{df}{dx} dx$

Balço de Energia: $\dot{E}_e - \dot{E}_s + \dot{E}_g = \dot{E}_{ac} = \rho V c \frac{dT}{dt}$ Coef. global: $\frac{1}{h_{total}} = \frac{1}{h_r} + \frac{1}{h_{conv}}$; $h_r = \varepsilon \sigma (T + T_{viz})(T^2 + T_{viz}^2)$

Coordenadas cartesianas: $\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$

Coordenadas cilíndricas: $\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + g''' = \rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t}$

Coordenadas esféricas: $\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(k \sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \dot{q} = \rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t}$

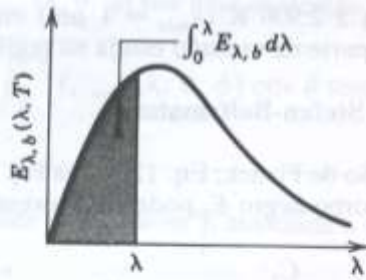


Fig. 12.14 Emissão de radiação por um corpo negro na banda espectral entre 0 e λ .

Outras funções do corpo negro estão presentes na terceira e na quarta colunas da Tabela 12.1. A terceira coluna facilita o cálculo da intensidade espectral num certo comprimento de onda e numa certa temperatura. Em lugar de se calcular essa grandeza pela Eq. 12.25, pode-se achá-la pela simples multiplicação do valor tabelado $I_{\lambda,b}/\sigma T^5$ por σT^5 . A quarta coluna se usa para se ter uma estimativa rápida da razão entre a intensidade espectral em qualquer comprimento de onda e a intensidade espectral no $\lambda_{\text{máx}}$.

Tabela 12.1 Funções da radiação do corpo negro*

λT ($\mu\text{m} \cdot \text{K}$)	$F_{(0 \rightarrow \lambda)}$	$I_{\lambda,b}(\lambda, T)/\sigma T^5$ ($\mu\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{sr})^{-1}$	$I_{\lambda,b}(\lambda, T)$ $I_{\lambda,b}(\lambda_{\text{máx}}, T)$
200	0,000000	$0,375034 \times 10^{-27}$	0,000000
400	0,000000	$0,490335 \times 10^{-13}$	0,000000
600	0,000000	$0,104046 \times 10^{-9}$	0,000014
800	0,000016	$0,991126 \times 10^{-7}$	0,001372
1.000	0,000321	$0,118505 \times 10^{-5}$	0,016406
1.200	0,002134	$0,523927 \times 10^{-5}$	0,072534
1.400	0,007790	$0,134411 \times 10^{-4}$	0,186082
1.600	0,019718	0,249130	0,344904
1.800	0,039341	0,375568	0,519949
2.000	0,066728	0,493432	0,683123
2.200	0,100888	$0,589649 \times 10^{-4}$	0,816329
2.400	0,140256	0,658866	0,912155
2.600	0,183120	0,701292	0,970891
2.800	0,227897	0,720239	0,997123
2.898	0,250108	$0,722318 \times 10^{-4}$	1,000000
3.000	0,273232	$0,720254 \times 10^{-4}$	0,997143
3.200	0,318102	0,705974	0,977373
3.400	0,361735	0,681544	0,943551
3.600	0,403607	0,650396	0,900429
3.800	0,443382	0,615225	0,851737
4.000	0,480877	0,578064	0,800291
4.200	0,516014	$0,540394 \times 10^{-4}$	0,748139
4.400	0,548796	0,503253	0,696720
4.600	0,579280	0,467343	0,647004
4.800	0,607559	0,433109	0,599610
5.000	0,633747	0,400813	0,554898
5.200	0,658970	$0,370580 \times 10^{-4}$	0,513043
5.400	0,680360	0,342445	0,474092
5.600	0,701046	0,316376	0,438002
5.800	0,720158	0,292301	0,404671
6.000	0,737818	0,270121	0,373965
6.200	0,754140	$0,249723 \times 10^{-4}$	0,345724
6.400	0,769234	0,230985	0,319783
6.600	0,783199	0,213786	0,295973
6.800	0,796129	0,198008	0,274128
7.000	0,808109	0,183534	0,254090
7.200	0,819217	$0,170256 \times 10^{-4}$	0,235708
7.400	0,829527	0,158073	0,218842
7.600	0,839102	0,146891	0,203360
7.800	0,848005	0,136621	0,189143
8.000	0,856288	0,127185	0,176079
8.500	0,874608	$0,106772 \times 10^{-4}$	0,147819
9.000	0,890029	$0,901463 \times 10^{-5}$	0,124801
9.500	0,903085	0,765338	0,105956

Tabela 12.1 Funções da radiação do corpo negro*

λT ($\mu\text{m} \cdot \text{K}$)	$F_{(0 \rightarrow \lambda)}$	$I_{\lambda,b}(\lambda, T)/\sigma T^5$ ($\mu\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{sr})^{-1}$
10.000	0,914199	0,653279
10.500	0,923710	0,560522
11.000	0,931890	$0,483321 \times 10^{-5}$
11.500	0,939959	0,418725
12.000	0,945098	0,364394
13.000	0,955139	0,279457
14.000	0,962898	0,217641
15.000	0,969981	$0,171866 \times 10^{-5}$
16.000	0,973814	0,137429
18.000	0,980860	$0,908240 \times 10^{-6}$
20.000	0,985602	0,623310
25.000	0,992215	0,276474
30.000	0,995340	$0,140469 \times 10^{-6}$
40.000	0,997967	$0,473891 \times 10^{-7}$
50.000	0,998953	0,201605
75.000	0,999713	$0,418597 \times 10^{-8}$
100.000	0,999905	0,135752

*As constantes de radiação usadas para gerar estas funções do corpo negro são:
 $C_1 = 3,7420 \times 10^8 \text{ W}\mu\text{m}^2/\text{m}^2$
 $C_2 = 1,4388 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$
 $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

$$E_\lambda = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi$$

$$E = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda$$

$$E_\lambda = \pi I_{\lambda,e}$$

$$I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{dq}{dA_1 \cos \theta d\omega d\lambda}$$

$$d\omega = \frac{dA_n}{r^2} = \sin \theta d\theta d\phi$$

$$\varepsilon, \alpha, \tau = \frac{(\varepsilon, \alpha, \tau)_1 \int_0^{\lambda_1} E_{\lambda,b} d\lambda}{E_b} + \frac{(\varepsilon, \alpha, \tau)_2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda,b} d\lambda}{E_b}$$

$$C_3 = 2898 \mu\text{mK}$$

$$\beta i = \frac{hL_c}{k} \begin{cases} \text{parede plana } L_c = \frac{L}{2} \\ \text{cilindro } L_c = \frac{R}{2} \\ \text{esfera } L_c = \frac{R}{3} \end{cases}$$