

## EXERCÍCIO 1 – GANHOS E PERDAS DE CALOR

Aluno: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

### 1. Calcular o ganho de calor solar ( $I_g = 1000 \text{ W/m}^2$ ), por $\text{m}^2$ , transmitido por:

1.1 - Uma laje de concreto armado, com espessura 8 cm e coeficiente de absorção da radiação solar  $\alpha = 0,9$ .

$$1/K = (1/h_e + 1/h_i) + e/\lambda$$

$$K = \text{_____} \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$q_{op} = A \cdot (1/h_e) \cdot \alpha \cdot K \cdot I_g$$

$$q_{op} = \text{_____} \text{ W/m}^2$$

1.2 - A mesma laje, protegida com telha de fibro-cimento, espessura 10 mm,  $1.600 \text{ kg/m}^3$ , com pintura externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), lâmina de ar confinado ( $e = 10\text{cm}$ ) e acabamento com brilho metálico  $\epsilon = 0,20$  nas duas faces.

$$1/K = (1/h_e + 1/h_i) + e/\lambda + e/\lambda + R_{ar}$$

$$K = \text{_____} \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$q_{op} = A \cdot (1/h_e) \cdot \alpha \cdot K \cdot I_g$$

$$q_{op} = \text{_____} \text{ W/m}^2$$

### 2. Calcular o ganho de calor solar ( $I_g = 500 \text{ W/m}^2$ ), por $\text{m}^2$ , transmitido por:

2.1 - Uma parede vertical composta por tijolo maciço prensado ( $e = 20 \text{ cm}$ ,  $\alpha = 0,6$ )

$$1/K = (1/h_e + 1/h_i) + e/\lambda$$

$$K = \text{_____} \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$q_{op} = A \cdot (1/h_e) \cdot \alpha \cdot K \cdot I_g$$

$$q_{op} = \text{_____} \text{ W/m}^2$$

2.2 - Através de um vidro vertical espessura 4 mm, incolor,  $Str = 0,86$ .

$$q_{tr} = A \cdot Str \cdot I_g$$

$$q_{tr} = \text{_____} \text{ W/m}^2$$

### 3. Calcular a perda de calor, por $\text{m}^2$ de superfície, para $t_i = 30^\circ\text{C}$ e $t_e = 25^\circ\text{C}$ :

3.1 - Através da laje concreto do item 1.1.

$$1/K = (1/h_e + 1/h_i) + e/\lambda$$

$$K = \text{_____} \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$q' = A \cdot K \cdot \Delta t$$

$$q' = \text{_____} \text{ W/m}^2$$

3.2 - Através da parede do item 2.1.

$$q' = A \cdot K \cdot \Delta t$$

$$q' = \text{_____} \text{ W/m}^2$$

3.3 - Através do vidro do item 2.2.

$$1/K = (1/h_e + 1/h_i) + e/\lambda$$

$$K = \text{_____} \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$q' = A \cdot K \cdot \Delta t$$

$$q' = \text{_____} \text{ W/m}^2$$

## FORMULÁRIO

### Coefficiente global de transmissão térmica (k)

$$1/K = (1/h_e + 1/h_i) + e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2 + e_n/\lambda_n + R_{ar} \quad [W/m^2\text{°C}]$$

### Trocas de calor pela envoltória

Ganho por opaco →  $q_{op} = A \cdot (1/h_e) \cdot \alpha \cdot K \cdot I_g \quad [W]$

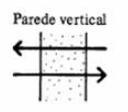
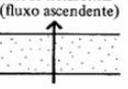
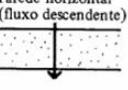
Ganho por translúcido →  $q_{tr} = A \cdot Str \cdot I_g \quad [W]$

Perda →  $q' = A \cdot K \cdot \Delta t \quad [W]$

K: coeficiente global de transmissão térmica (W/m<sup>2</sup>°C)  
 h<sub>e</sub>: coeficiente de condutância superficial externa (W/m<sup>2</sup>°C)  
 h<sub>i</sub>: coeficiente de condutância superficial interna (W/m<sup>2</sup>°C)  
 e: espessura do material (m)  
 λ: condutibilidade térmica do material (W/m°C)  
 R<sub>ar</sub>: resistência da camada de ar confinado (m<sup>2</sup>C/W)  
 A: área do componente (m<sup>2</sup>)  
 α: coeficiente de absorção da radiação solar  
 Str: fator solar  
 I<sub>g</sub>: intensidade de radiação solar incidente global (W/m<sup>2</sup>)  
 Δt: diferença de temperatura (°C)

## ANEXOS

Valores de condutâncias (h<sub>e</sub>, h<sub>i</sub>) e resistências térmicas superficiais (1/h<sub>e</sub>, 1/h<sub>i</sub>), com v=2,0m/s para paredes exteriores (FROTA e SCHIFFER, 2012)

Posição das paredes e sentido do fluxo	Unidades	Paredes exteriores				
		h <sub>i</sub>	1/h <sub>i</sub>	h <sub>e</sub>	1/h <sub>e</sub>	1/h <sub>i</sub> + 1/h <sub>e</sub>
 Parede vertical	W/m <sup>2</sup> °C	8	—	20	—	—
	m <sup>2</sup> °C/W	—	0,12	—	0,05	0,17
 Parede horizontal (fluxo ascendente)	W/m <sup>2</sup> °C	11	—	20	—	—
	m <sup>2</sup> °C/W	—	0,09	—	0,05	0,14
 Parede horizontal (fluxo descendente)	W/m <sup>2</sup> °C	6	—	20	—	—
	m <sup>2</sup> °C/W	—	0,17	—	0,05	0,22

Resistência térmica de espaço de ar confinado (FROTA e SCHIFFER, 2012)

Posição Espaço de Ar	Direção e Sentido do Fluxo de Calor	Espessura do Espaço de Ar (cm)	Temperatura das faces		R <sub>ar</sub> (m <sup>2</sup> C/W), para ε <sub>r</sub> =			
			Média (°C)	Diferença (°C)	0,82	0,47	0,20	0,11
vertical	horizontal	2 a 10	32	5,5	0,15	0,22	0,38	0,51
			10	5,5	0,18	0,26	0,41	0,54
horizontal	vertical ascendente	2 a 10	10	5,5	0,16	0,21	0,32	0,39
horizontal	vertical descendente	2	32	11	0,15	0,21	0,36	0,46
		4	32	11	0,16	0,26	0,48	0,66
		10	32	11	0,17	0,28	0,58	0,86
sendo:		$\epsilon_r = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$						

Características térmicas dos materiais (FROTA e SCHIFFER, 2012)

Material	λ (W/m°C)	d (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kg°C)
Água	0,58	1000	4187
Algodão	0,06	80	
Amianto	0,15	580	
Amianto projetado	0,05	160	
Areia seca	0,49	1600	2093
Areia úmida	2,35	variável	8374
Argamassa de cal e cimento (ou de cimento)	0,65	1600	754
	0,85	1800	754
	1,05	2000	754
Argamassa celular	0,30	600	1047
	0,51	1000	1047
	0,81	1400	1047
Argamassa de gesso (ou de cal e gesso)	0,53	1000	837
	0,70	1200	837
Argila	0,72	1720	
Asfalto puro	0,70	2100	
Asfalto com areia	1,15	2100	
Borrachas sintéticas			
— formofenólicas	0,40	1300	
— mastique para junta	0,40	1350	
— poliamida	0,40	1100	
— policlorure de vinil	0,20	1350	
— poliéster	0,40	1550	
— polietileno	0,40	1000	
Cerâmica	0,46	variável	837
Cimento-amianto	0,65	1600	
	0,95	2000	
Cimento-amianto-celulose	0,46	1600	
Concreto aparente	1,65	2200	1005
	1,91	2400	1005
Concreto armado	1,75	2400	1005

Material	λ (W/m°C)	d (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kg°C)
Concreto comum	1,28	2000	1005
	1,50	2200	1005
	1,74	2400	1005
Concreto comum cavernoso idem c/ 50% de calcárea	1,40	1850	
	1,15	1800	
Concreto c/ agregado muito leve — c/ vermiculite ou pedras-pomes	0,17	600	963
	0,26	800	963
	0,33	1000	963
	0,43	1200	963
	0,50	1400	963
— placa de concreto c/ vermiculite fabricada na usina			
	0,19	400	963
Concreto c/ argila expandida	0,85	1500	963
	1,05	1700	963
Concreto c/ escória expandida granulada 750 kg/m <sup>3</sup> , c/ areia Idem, sem areia ou finos	0,52	1500	963
	0,44	1100	963
Concreto celular autoclavado	0,10	300	963
	0,12	400	963
	0,16	600	963
	0,21	800	963
	0,27	1000	963
Concreto celular (bloco)	0,05	450	963
	0,50	600	963
Concreto de cascalho	1,98	1800	1005
Concreto sem finos	0,74	1600	
	0,93	1800	
Concreto c/ agregado pesado de escória de alto forno Idem cavernoso	1,40	2300	
	0,70	1800	
	0,04	100	1424
Cortiça (em placas, de granulado)	0,05	200	1424
	0,10	500	1423
Cortiça comprimida	0,10	500	1423
Feltro	0,05	160	

Características térmicas dos materiais - continuação (FROTA e SCHIFFER, 2012)

Material	$\lambda$ (W/m°C)	d (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kg°C)
Feltro asfáltico	0,14	1200	1675
Feltro de crina	0,03	270	
Feltro de lã	0,04	150	
Fibra de vidro	0,03	70	754
Gesso celular	0,50	128	
Gesso (placa)	0,35	750	837
	0,35	1500	837
Gesso paramentado c/ cartão antichama	0,35	900	
Gesso c/ fibras minerais	0,35	950	
Gesso projetado	0,50	1200	837
Gesso c/ vermiculite 1:1	0,30	850	
Gesso c/ vermiculite 1:2	0,25	600	
Lã de escória	0,03	110	
Lã de ovelha	0,04	136	
Lã de rocha	0,03	100	754
	0,04	130	754
	0,04	190	754
Lã de vidro	0,05	24	754
	0,04	64	754
	0,04	76	754
	0,03	96	754
Madeiras			
— abeto, cedro	0,12	400	1424
— balsa	0,05	90	
— bétula, pinho silvestre, pinho marítimo			
— carvalho, frutíferas	0,15	500	1424
— pinho perpendicular a fibra	0,23	700	1424
— pinho paralelo a fibra	0,14	550	2721
	0,30	900	1256
Fibras de madeira	0,06	140	1675
Lascas de madeira	0,06	140	1675

Material	$\lambda$ (W/m°C)	d (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kg°C)
Painéis de madeira			
— aglomerado mole isolante	0,05	300	
— painel de fibra de madeira isolante	0,06	300	
— painel de fibra de madeira duro e extraduro	0,20	900	
— painel de fibra de madeira aglomerada	0,10	400	1424
	0,12	500	1424
	0,14	600	1424
	0,17	700	1424
— painel de fibra de madeira aglomerada e compensada	0,20	800	1424
	0,24	1000	1424
Metais			
— aço	52,00	7780	
— aço inoxidável	46,00	7800	461
— alumínio	230,00	2700	
— chumbo	35,00	11340	
— cobre	380,00	8930	
— duralumínio	160,00	2800	
— ferro fundido	56,00	7500	
— ferro puro	72,00	7870	
— latão	110,00	8400	
— zinco	112,00	7130	
Palha comprimida	0,12	350	
Papelão	0,08	650	
Papelão corrugado, quatro camadas por polegada	0,10	170	
Pedras			
— ardósia	2,10	2700	837
— arenito	1,28	2000	837
— basalto	3,50	2900	837
— calcáreo	1,40	2000	837
— gnaisse	3,50	2600	837
— granito	3,50	2700	837
— gres	1,98	2400	837
— mármore	3,26	2700	837

Características térmicas dos materiais - continuação (FROTA e SCHIFFER, 2012)

Material	$\lambda$ (W/m°C)	d (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kg°C)
— pederneira	3,50	2700	837
— pedregulho	2,35	1900	837
— pórfiro	2,90	2500	837
Plásticos alveolares			
— poliestireno expandido moldado	0,04	11	
	0,04	15	
	0,04	18	
	0,04	23	
	0,04	30	
— poliestireno expandido moldado, por via úmida	0,42	14	
— poliestireno expandido termocomprimido, por via seca	0,04	14	
	0,04	18	
	0,04	23	
— poliestireno expandido termocomprimido, por via seca	0,04	30	
— poliestireno estruturado			
· placas s/ pele na superfície	0,03	30	
· placas c/ pele na superfície	0,03	32	
	0,03	38	
— espuma rígida de poliuretano			
· placas ou blocos extensos contínuos	0,03	35	
· placas ou blocos descontínuos	0,03	35	
— espumas formofenólicas	0,04	40	
	0,04	50	
	0,04	70	
	0,04	95	
— outros materiais plásticos alveolares	0,05	40	
Telha de barro moldada (ou cerâmica)	0,93	—	921
Telha de fibrocimento	0,65	1600	1600
	0,95	2000	2000

Material	$\lambda$ (W/m°C)	d (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kg°C)
Terra argilosa seca	0,52	1700	837
Terra comprimida (bloco)	1,15	1800	837
Terra úmida	0,60	1800	1465
Tijolo de concreto furado (8 furos) 19 x 19 x 39 (paredes 6 mm)	0,91	1700	1005
Tijolo maciço prensado	0,72	1600	921
Vidro	0,8	2200	