



Unidade deportiva Atanasio Girardot - Medellín

Desempenho Térmico de edificações

Aula 9: Desempenho térmico de paredes e coberturas

PROFESSOR
**Roberto
Lamberts**

ECV 5161
UFSC
FLORIANÓPOLIS

+ Transferência de calor
+ formas de transferência

introdução

+ Propriedades dos materiais
+ Paredes
+ Coberturas
+ Elemento Construtivo

desempenho

+ Convencionais
+ Fibrosos
+ Poliestireno
+ Poliuretano
+ Concreto celular
+ Agregados leve

isolantes

+ Cálculos paredes
+ Cálculos coberturas
+ Testes

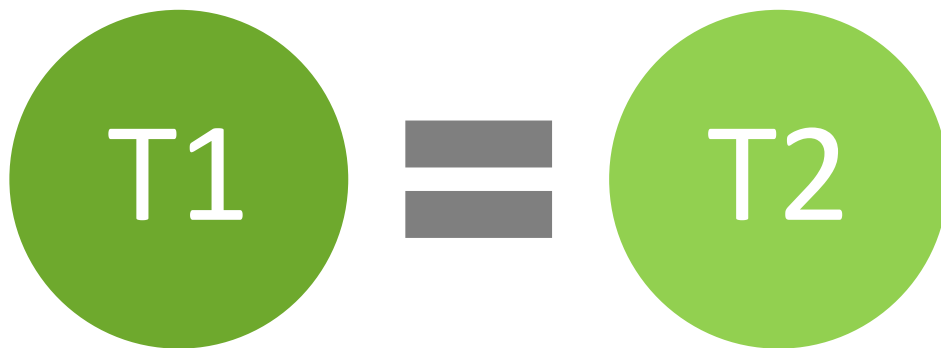
exemplos

- + Transferência de calor
- + formas de transferência

“Quando dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, eles estão em equilíbrio térmico entre si”

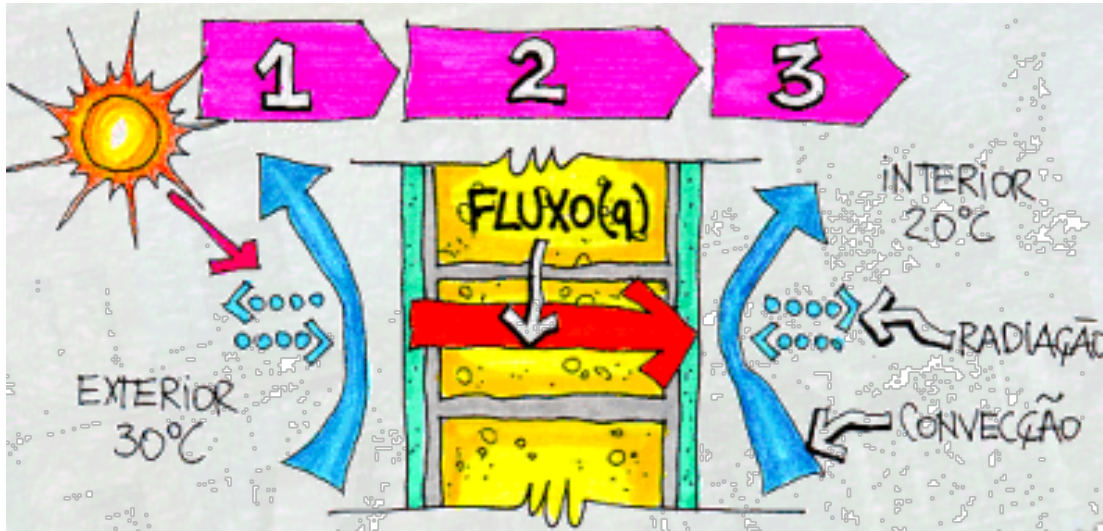
Transferência de calor

Equilíbrio térmico



Formas de transferência de calor

- Condução
- Convecção
- Radiação



- + Propriedades dos materiais
- + Paredes
- + Coberturas
- + Elemento Construtivo

Propriedades térmicas dos materiais

Absortividade em ondas curtas – α : função da cor
RS absorvida/ RS incidente

Refletividade em ondas curtas – ρ :
RS refletida/ RS incidente

Transmissividade em ondas curtas – τ :
Rs atravessa a superfície/ RS incidente

Emissividade – ϵ :
R emitida/ R emitida pelo corpo negro (mesma temperatura)

Propriedades térmicas dos materiais

Emissividade

Tipo de superfície	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,90
Concreto aparente	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,90 / 0,98
Vidro comum de janela	0,90 / 0,95
Pintura:	
- branca	0,90
- amarela	0,90
- verde claro	0,90
- "alumínio"	0,50
- verde escuro	0,90
- vermelha	0,90
- preta	0,90

Absortividade

Tipo de superfície	α
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15
Concreto aparente	0,65 / 0,80
Telha de barro	0,75 / 0,80
Tijolo aparente	0,65 / 0,80
Reboco claro	0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98
Vidro comum de janela	Transparente
Pintura:	
- branca	0,20
- amarela	0,30
- verde claro	0,40
- "alumínio"	0,40
- verde escuro	0,70
- vermelha	0,74
- preta	0,97

Fonte: Projeto de Norma da ABNT 02:135.07-002 (1998)

Propriedades térmicas dos materiais

Condutividade térmica – λ : fluxo de calor transferido por unidade de espessura e por unidade de gradiente de temperatura (**W/m.°C**)

Calor específico – c : quantidade de calor necessária para elevar em 1 grau a temperatura de um componente, por unidade de massa (**kJ/kg.K**)

Propriedades térmicas dos materiais

Tabela B.3 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materi

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Fibro-cimento			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavemoso	1700-2100	1,40	1,00
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750 kg/m³)			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
Concreto com argila expandida			
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , ρ dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , ρ dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00

Gesso

projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84

Granulados

brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84

Fonte: Projeto de Norma da ABNT 02:135.07-002 (2004)

Propriedades térmicas dos materiais

Tabela B.3 (continuação) - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de m:

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	

Metais

aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38

Pedras (incluindo junta de assentamento)

granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84

Plásticos

borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	

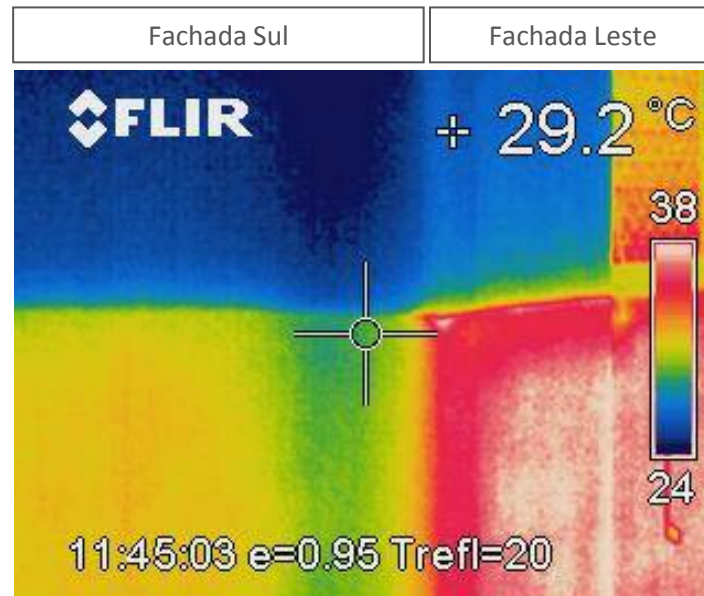
Vidro

vidro comum	2500	1,00	0,84
-------------	------	------	------

Fonte: Projeto de Norma da ABNT 02:135.07-002 (2004)

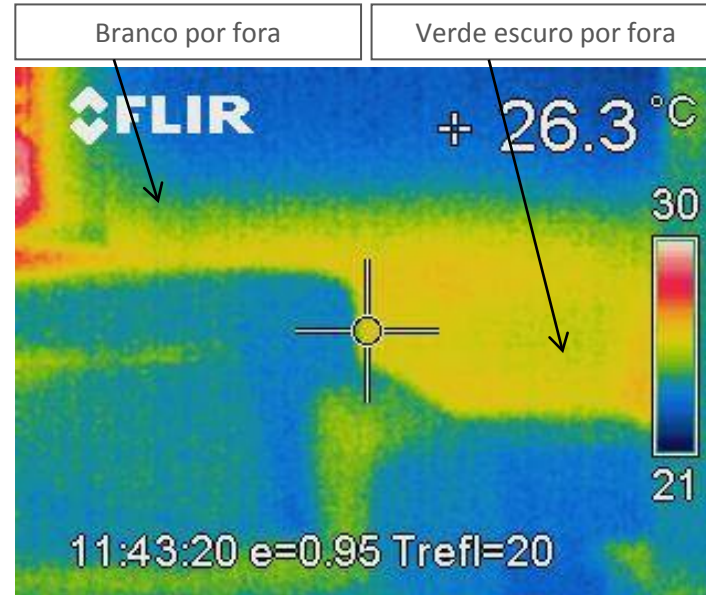
Propriedades térmicas dos materiais

Termografia - Foto externa



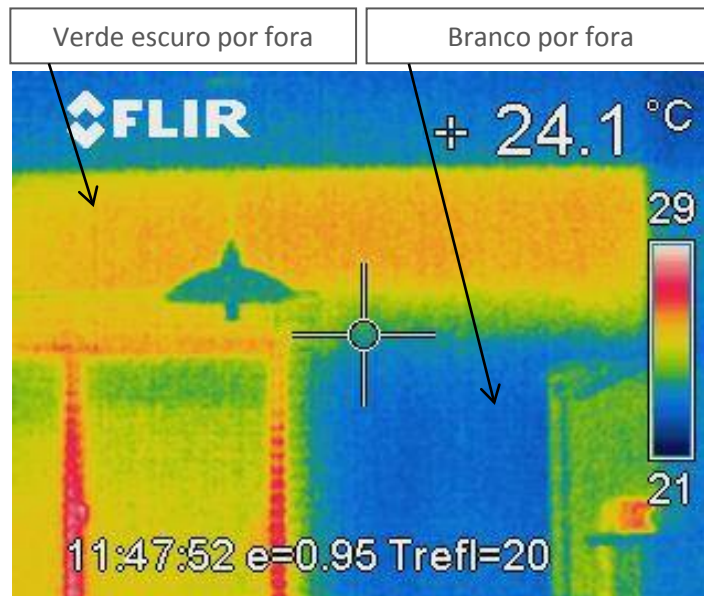
Propriedades térmicas dos materiais

Termografia - Foto interna



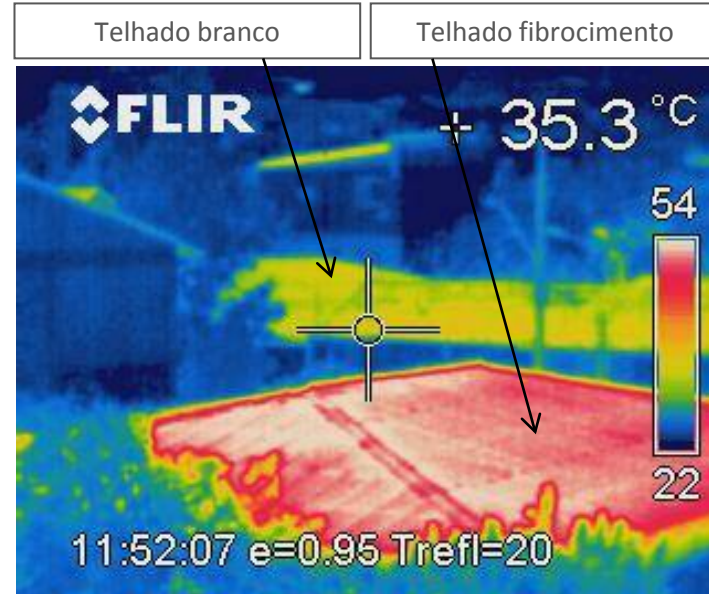
Propriedades térmicas dos materiais

Termografia - Foto interna



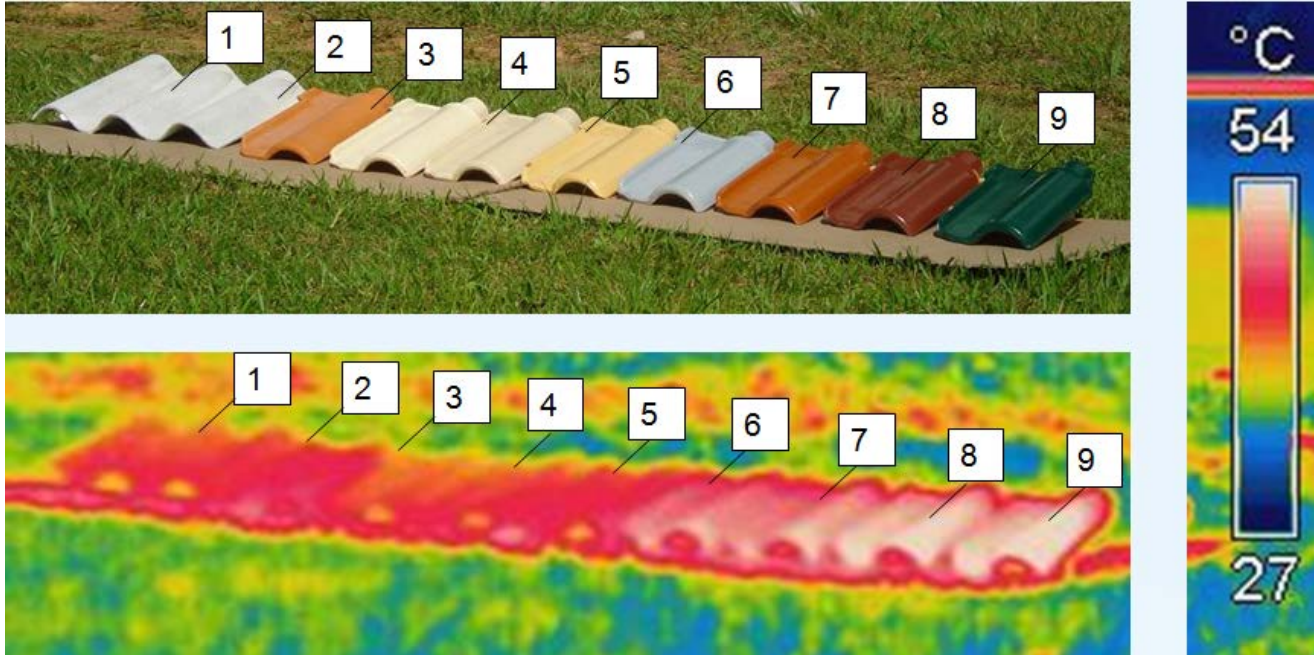
Propriedades térmicas dos materiais

Termografia - Foto externa



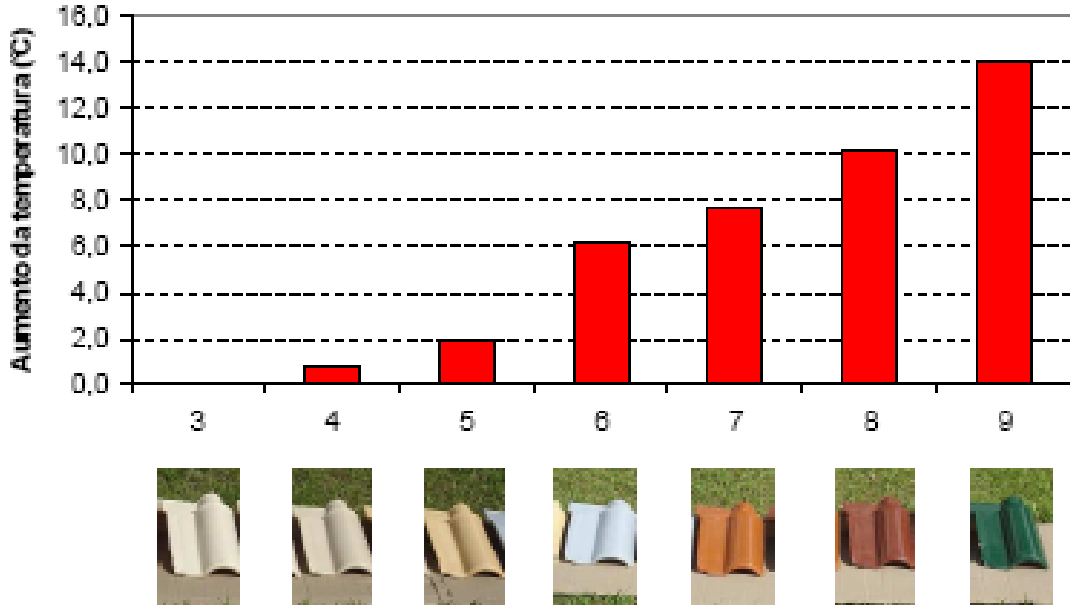
Propriedades térmicas dos materiais

Temperatura x acabamento superficial da telha

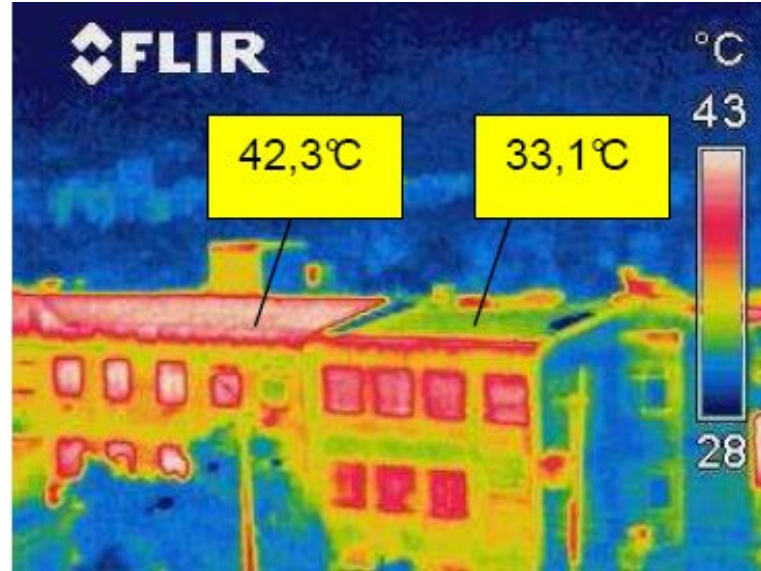


Propriedades térmicas dos materiais

Temperatura x acabamento superficial da telha



Propriedades térmicas dos materiais



Transmissão de calor em paredes

Fluxo de calor que incide no ambiente:

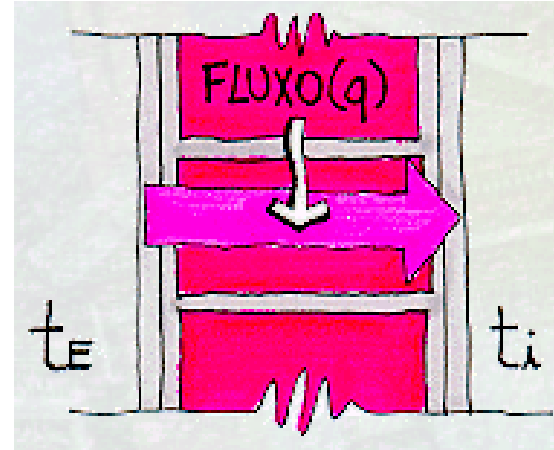
$$\Phi = U \cdot A \cdot \Delta T$$

U = Transmitância térmica (W/m².K)

A = área da superfície (m²)

$\Delta T = T_{ext} - T_{int}$ (K)

Φ = Fluxo de calor (W)



$$T. \text{Ext} > T. \text{Int}$$

Transmissão de calor em paredes

Comportamento diante da radiação solar

Balço térmico:

$$\alpha \cdot RS + \rho \cdot RS = RS$$

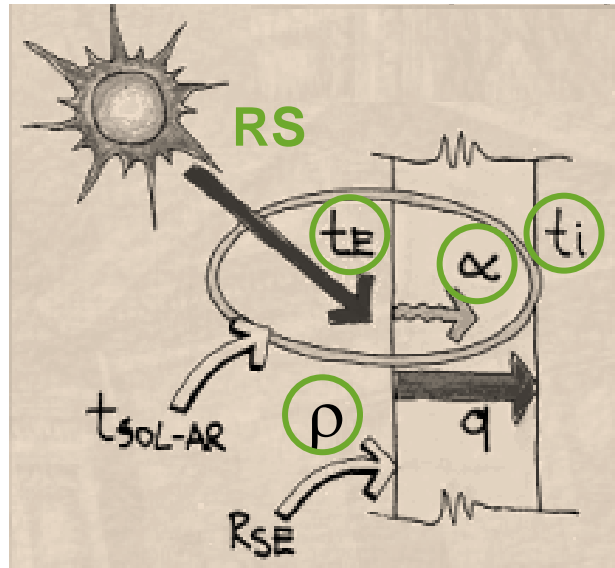
$$\alpha + \rho = 1$$

Fluxo de calor:

$$\Phi = U \cdot A \cdot (T_{sol-ar} - T_{int})$$

Temperatura Sol - ar:

Efeito combinado radiação solar incidente + intercâmbios de energia (radiação e convecção)



Transmissão de calor em paredes

Comportamento diante da radiação solar

Temperatura Sol - ar:

$$T_{sol-ar} = T_{ext} + \alpha \cdot R_S \cdot R_{se} - \varepsilon \cdot \Delta R_L \cdot R_{se}$$

RS: Radiação total incidente na superfície

Rse: Resistência superficial externa = trocas de calor por convecção e radiação entre a superfície e o meio

ΔRL: Diferença entre a radiação de onda longa emitida e recebida pela superfície

Superfícies verticais:

ΔRL = 0, perdas compensadas pela radiação de onda longa recebida do solo e das superfícies do meio

$$T_{sol-ar} = T_{ext} + \alpha \cdot R_S \cdot R_{se}$$

Fluxo de calor em planos verticais:

$$\Phi = U \cdot A \cdot (T_{ext} + \alpha \cdot R_S \cdot R_{se} - T_{int})$$

Transmissão de calor em coberturas

Planos horizontais:

$$\varepsilon \cdot \Delta RL \cdot Rse = 4^{\circ}\text{C} \text{ (Dados Experimentais)}$$

$$T_{\text{sol-ar}} = T_{\text{ext}} + \alpha \cdot R_S \cdot Rse - 4$$

Fluxo de calor em planos horizontais (coberturas):

$$\Phi = U \cdot A \cdot (T_{\text{ext}} + \alpha \cdot R_S \cdot Rse - 4 - T_{\text{int}})$$

Desempenho térmico dos elementos construtivos

Fórmulas básicas

Resistência térmica :

$$R = e / \lambda \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Transmitância térmica:

Fluxo de calor transmitido por unidade de área e por unidade de diferença de temperatura

$$U = 1/ R \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Capacidade térmica:

$$CT = \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

Desempenho térmico dos elementos construtivos

Fórmulas básicas

Resistência térmica superfície a superfície

$$R_T = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn}$$

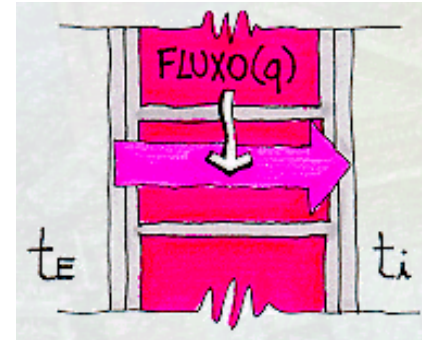
Resistência térmica ambiente a ambiente

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Resistência térmica camadas não homogêneas

$$R_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{A_a + A_b + \dots + A_n}$$

$$R_a + R_b + \dots + R_n$$



$$R_{se} + R_a + R_b + R_c + R_{si}$$

Desempenho térmico dos elementos construtivos

Fórmulas básicas

Capacidade térmica camadas não homogêneas

$$CT = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{C_a + C_b + \dots + C_n}$$

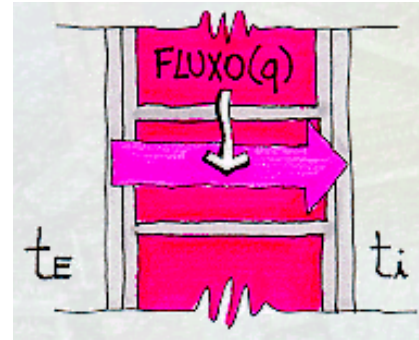
Atraso térmico

Elemento homogêneo

$$\phi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot \lambda}}$$

ou

$$\phi = 0,7284 \cdot \sqrt{RT \cdot CT}$$



a + b + c

Desempenho térmico dos elementos construtivos

Fórmulas básicas

Atraso térmico - Elemento heterogêneo

$$\phi = 1,382 \cdot R_T \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left[\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot C)_{\text{ext}}}{R_t} \right] \cdot \left[R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right]$$

Se B2 calculado < 0 (negativo), então deve-se adotar B2 = 0

$$B_0 = C_t - C_{\text{ext}}$$

C_{ext}= capacidade térmica da camada externa do componente.

Fator de Calor Solar: $FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R$ se

Desempenho térmico dos elementos construtivos

Tabelas

Condições de ventilação para câmaras de ar:

Posição da câmara de ar	Câmara de ar	
	Pouco ventilada	Muito ventilada
Vertical (paredes)	$S/L < 500$	$S/L \geq 500$
Horizontal (coberturas)	$S/A < 30$	$S/A \geq 30$

Onde:

S é a área total de abertura de ventilação, em cm^2 ;

L é o comprimento da parede, em m;

A é a área da cobertura.

Resistência térmica superficial interna e externa:

R_{si} ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)			R_{se} ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
\Rightarrow	— ↑	— ↓	\Rightarrow	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Desempenho térmico dos elementos construtivos

Tabelas

Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura maior que a espessura:

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇒	⇑	⇓
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:

1 ε é a emissividade hemisférica total.

2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.

3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.

4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

- + Convencionais
- + Fibrosos
- + Poliestireno
- + Poliuretano
- + Concreto celular
- + Agregados leve

Isolantes térmicos convencionais

Isolantes fibrosos ($\lambda = 0.045 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$)

- Lã de rocha ou lã mineral
- Lã de vidro

Poliestireno ($\lambda = 0.035$ a $0.040 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$)

- Expandido (granulado aglutinado por fusão)
- Extrudado (células fechadas)

Espuma de poliuretano

($\lambda = 0.030 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$)

Concreto celular com 400 kg/m^3

($\lambda = 0.17 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$)

Agregados leves

Expandido (granulado ou aglutinado por fusão)

- Vermiculita
- Argila expandida – concreto com 500 kg/m^3

($\lambda = 0.20 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$)

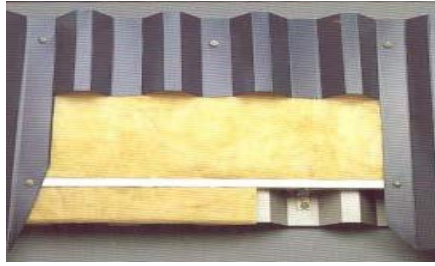
- Cinza sinterizada
- Escória sinterizada - concreto com 1000 kg/m^3

($\lambda = 0.35 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$)

Isolantes fibrosos ($\lambda = 0.045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) Lã de vidro



Placa de forro revestida na face aparente



Aplicações:

- Isolação térmica de forros e coberturas
- Fabricação de telhas duplas isolantes
- Isolamento de ruídos de impacto em pisos
- Isolação acústica de equipamentos

Feltros flexíveis



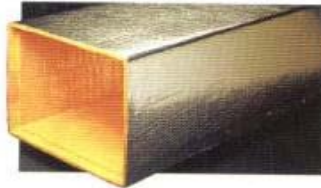
Isolantes fibrosos ($\lambda = 0.045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) Lã de vidro



Painéis termo-acústicos



Feltros flexíveis
ensacados



Isolamento para sistemas
de distribuição de ar

Aplicações:

-Na construção civil: Paredes duplas, coberturas, pisos flutuantes, miolos de divisórias e isolamento térmica em geral.

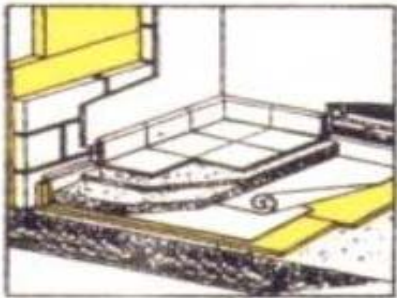
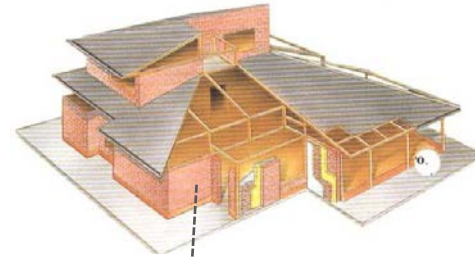
-Na Indústria: Isolação térmica de caldeiras, fornos, estufas, tanques de armazenagem.



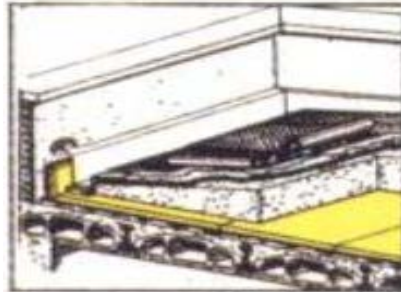
Revest. Dutos metálicos

Isolantes fibrosos ($\lambda = 0.045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) Lã de vidro

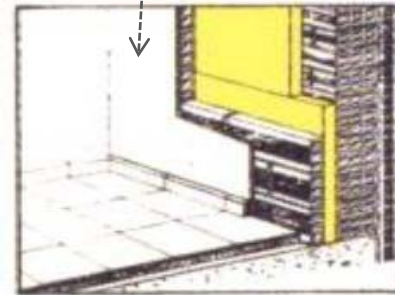
Painéis rígidos e semi-rígidos de lã de vidro



Isolamento termo-acústico entre pavimentos



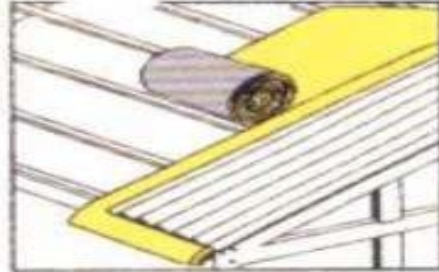
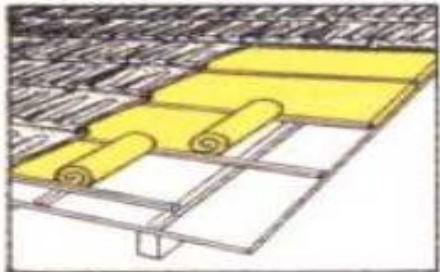
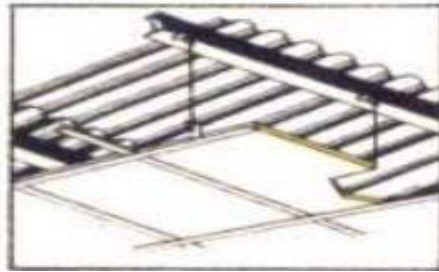
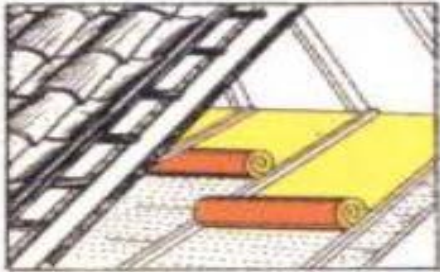
Isolamento termo-acústico Em laje de cobertura



Aplicações em paredes

Isolantes fibrosos ($\lambda = 0.045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) Lã de vidro

Aplicações em coberturas



Isolantes fibrosos ($\lambda = 0.045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) Lã de vidro

Aplicação de lã de vidro em tubulações

Isolante térmico cilíndrico, bi-partido de lã de vidro
Aplicações: Tubulações que operam em baixas e altas temperaturas



Isolantes fibrosos ($\lambda = 0.045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) Lã de vidro

Paredes DryWall



Isolantes fibrosos ($\lambda = 0.045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) Lã de rocha ou lã mineral



Painéis rígidos revestidos com um filme de PVC



Painéis flexíveis, rígidos e semi-rígidos



Tubos de lã de rocha com alta densidade



Mantas flexíveis

Principais características:

- Incombustível
- Resistência ao fogo
- Segurança
- Absorção Acústica

Propriedades:

- Boa resiliência
- Resistência a vibrações
- Não-higroscópico
- Imputrescível
- Quimicamente neutro

Isolantes fibrosos ($\lambda = 0.045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) Lã de rocha ou lã mineral

Flocos amorfos: Aplicação em sistemas ou equipamentos com difícil acesso



Feltros leves e flexíveis: Indicado para isolamentos termo-acústicos em superfícies irregulares, planas ou cilíndricas.

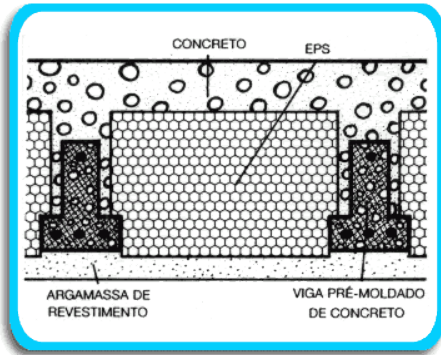


Segmentos rígidos em lã de rocha, suportados por um laminado de papel kraft. Utilizado para isolamento de superfícies cilíndricas



Poliestireno ($\lambda = 0.035$ a 0.040 W/m°C)

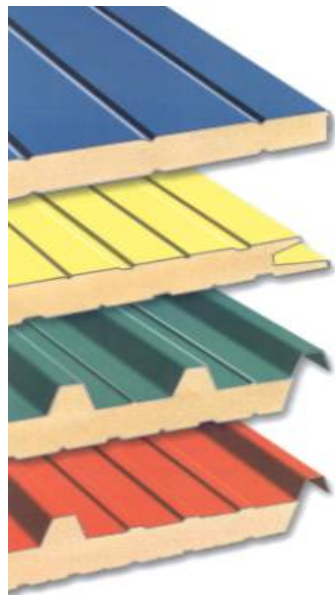
- Expandido (granulado aglutinado por fusão)
- Extrudado (células fechadas)



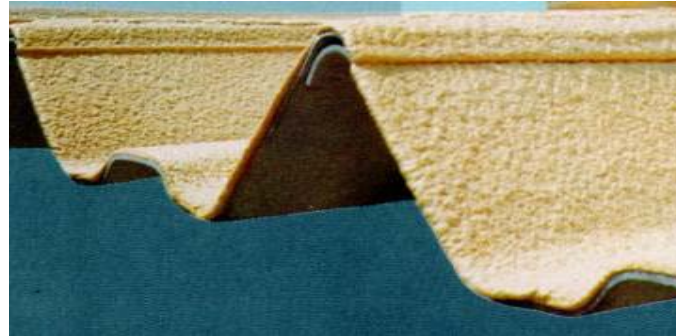
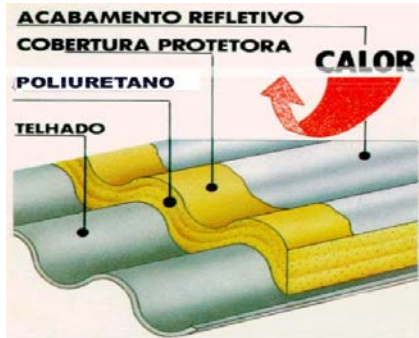
Espuma de poliuretano ($\lambda = 0.030 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$)

Telhas e painéis isotérmicos compostos por chapas metálicas com núcleo em espuma de poliuretano expandido

Aplicações: coberturas, paredes internas e externas, divisórias, forros



Espuma de poliuretano ($\lambda = 0.030 \text{ W/m}^\circ\text{C}$)



Concreto celular com 400 kg/m³ ($\lambda = 0.045$ W/m°C)



Menor peso
Não-inflamável
Isolante térmico
Isolante acústico

Agregado leve: vermiculita



Vermiculita em grãos

Utilizada na isolamento térmica e acústica de equipamentos industriais, como componente de argamassas e de concretos leves para a construção.

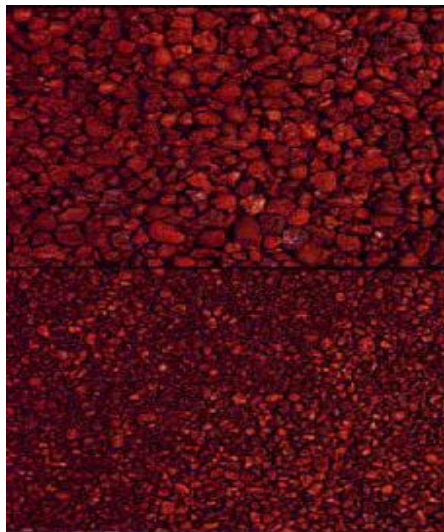


Argamassa plástica com baixa viscosidade para assentamento de tijolos e placas termo isolantes, constituída de vermiculita expandida, argila refratária e aglomerados minerais



Placas isolantes extremamente leves, prensadas, quimicamente ligadas, à base de vermiculita expandida. Utilizada para miolos de portas, divisórias, revestimento de estufas, caldeiras, fornos, etc

Agregado leve: argila expandida

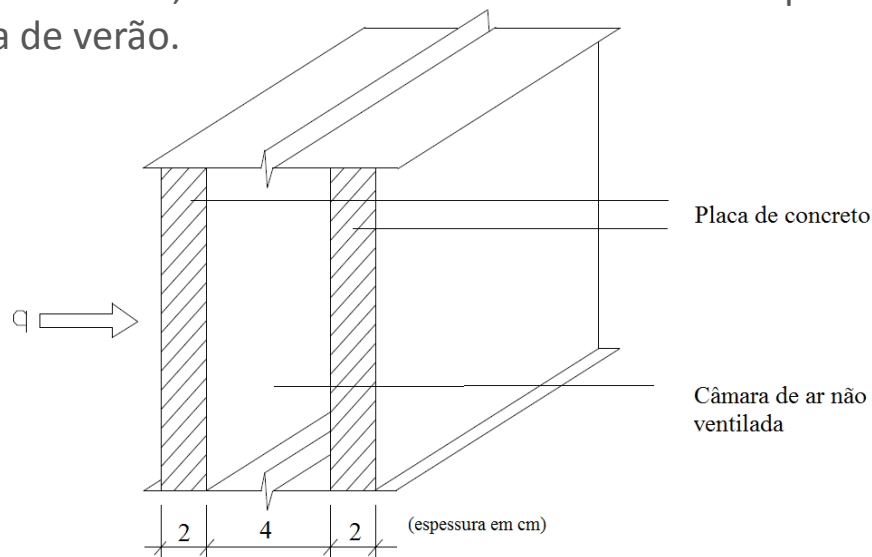


leveza
resistência
inércia química
estabilidade dimensional
resistência ao fogo
isolante térmico
isolante acústico

- + Cálculos paredes
- + Cálculos coberturas
- + Testes

Exemplo de cálculo em paredes

Calcule a transmitância térmica, a capacidade térmica e o atraso térmico da parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada. Considere a densidade do concreto 2400 kg/m^3 . Para latitude de 30° sul e considerando área de 15 m^2 , cor branca, orientação norte, temperatura externa de 30°C e interna de 26°C , calcule o fluxo de calor através da parede para a condição crítica de verão.



Exemplo de cálculo em paredes

Dados:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Concreto:

$$\lambda = 1,75 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$$

$$c = 1 \text{ kJ}/\text{Kg} \cdot \text{K}$$

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

$$R_t = \frac{0,02}{1,75} + 0,16 + \frac{0,02}{1,75}$$

$$R_t = 0,18 \text{ m}^2 \text{K}/\text{W}$$

$$RT = 0,04 + 0,18 + 0,13 = 0,35 \text{ m}^2 \text{K}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{RT}$$

$$U = 2,86 \text{ W}/\text{m}^2 \text{K}$$

$$CT = e \times c \times \rho$$

$$CT = 0,02 \times 1 \times 2400 + 0 + 0,02 \times 1 \times 2400$$

$$CT = 96 \text{ kJ}/\text{m}^2 \text{K}$$

Exemplo de cálculo em paredes

$$B0 = CT - CText$$

$$B0 = 96 - (0,02 \times 1 \times 2400) = 48$$

$$B1 = 0,226 \times \frac{B0}{Rt}$$

$$B1 = 0,226 \times \frac{48}{0,18} = 60,3$$

$$B2 = 0,205 \times \left(\frac{(\lambda \times \rho \times c)ext}{Rt} \right) \times \left(Rext - \frac{Rt - Rext}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \times \left(\frac{(1,75 \times 2400 \times 1)}{0,18} \right) \times \left(0,011 - \frac{0,18 - 0,011}{10} \right)$$

$$= -28,7$$

$$B2 = 0$$

$$\varphi = 1,382 \times Rt \times \sqrt{B1 + B2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,18 \times \sqrt{60,3 + 0}$$

$$\varphi = 1,9 h$$

Exemplo de cálculo em paredes

Dados:

$\alpha = 0,2$

Orientação = norte (latitude 30º sul)

Pior situação de verão: 22/12, 12 h

$RS = 179 \text{ W/m}^2$

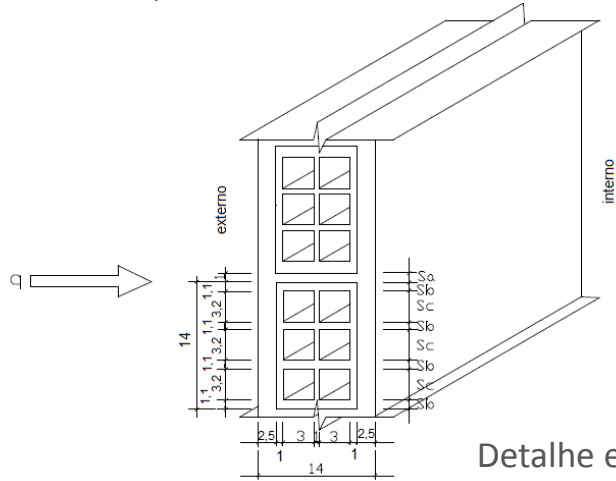
$$\Phi = U \times A \times (T_{ext} + \alpha \times RS \times R_{se} - T_{int})$$

$$\Phi = 2,86 \times 15 \times (30 + 0,2 \times 179 \times 0,04 - 26)$$

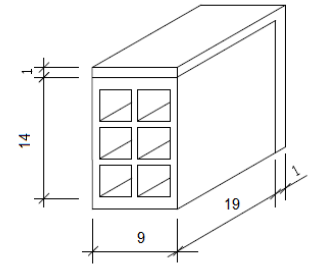
$$\Phi = 233 \text{ W}$$

Exemplo de cálculo em paredes

Calcule a transmitância térmica, a capacidade térmica e o atraso térmico para o a parede de tijolos cerâmicos de seis furos rebocado em ambas as faces. Considere a densidade da cerâmica 1500 kg/m^3 e da argamassa de 2000 kg/m^3 . Para latitude de 30° sul e considerando área de 15 m^2 , cor branca, orientação norte, temperatura externa de 30°C e interna de 26°C , calcule o fluxo de calor através da parede para a condição crítica de verão.



Vista em perspectiva



Elemento isolado

Detalhe elemento construtivo (dimensões em cm)

Exemplo de cálculo em paredes

Dados:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Argamassa e reboco:

$$\lambda = 1,15 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$$

$$c = 1 \text{ kJ}/\text{Kg} \cdot \text{K}$$

Cerâmica:

$$\lambda = 0,9 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$$

$$c = 0,92 \text{ kJ}/\text{Kg} \cdot \text{K}$$

Resolvendo da primeira forma:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}$$

Resistência térmica do tijolo

Seção 1 (tijolo)

$$A_1 = 0,011 \times 0,19 = 0,00209 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{0,09}{0,9}$$

$$R_1 = 0,1 \text{ m}^2 \text{K}/\text{W}$$

Exemplo de cálculo em paredes

Resistência térmica do tijolo

Seção 2 (tijolo + ar + tijolo + ar + tijolo)

$$A_2 = 0,032 \times 0,19 = \mathbf{0,0061 \text{ m}^2}$$

$$R_2 = \frac{0,01}{0,9} + 0,16 + \frac{0,01}{0,9} + 0,16 + \frac{0,01}{0,9}$$

$$R_2 = \mathbf{0,353 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{4 \times A_1 + 3 \times A_2}{\frac{4 \times A_1}{R_1} + \frac{3 \times A_2}{R_2}}$$

$$R_{\text{tijolo}} = \mathbf{0,1968 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

Resistência térmica da parede

Seção A (reboco + argamassa + reboco)

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,15 = \mathbf{0,0034 \text{ m}^2}$$

$$R_a = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_a = \mathbf{0,1217 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

Seção B (argamassa + tijolo + argamassa)

$$A_b = 0,14 \times 0,19 = \mathbf{0,0266 \text{ m}^2}$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + 0,1968 + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_b = \mathbf{0,24 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

Exemplo de cálculo em paredes

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

$$R_t = 0,2162 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = 0,04 + 0,2162 + 0,13 = 0,3862 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$U = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$CT = e \times c \times \rho$$

$$CT = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{A_b}{CT_b} + \dots + \frac{A_n}{CT_n}}$$

Capacidade térmica do tijolo Seção 1 (tijolo)

$$CT_1 = 0,09 \times 0,92 \times 1500$$

$$CT_1 = 124,2 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

Seção 2 (tijolo + ar + tijolo + ar + tijolo))

$$CT_2 = 0,01 \times 3 \times 0,92 \times 1500$$

$$CT_2 = 41,4 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{\text{tijolo}} = \frac{4 \times A_1 + 3 \times A_2}{\frac{4 \times A_1}{CT_1} + \frac{3 \times A_2}{CT_2}}$$

$$CT_{\text{tijolo}} = 52,34 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

Exemplo de cálculo em paredes

Capacidade térmica da parede

Seção A (reboco + argamassa + reboco)

$$CT_a = (0,025 + 0,09 + 0,025) \times 1 \times 2000$$

$$CT_a = 280 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

Seção B (argamassa + tijolo + argamassa)

$$CT_b = 2 \times 0,025 \times 1 \times 2000 + 52,34$$

$$CT_b = 152,34 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{A_b}{CT_b}}$$

$$CT = 160,64 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$B0 = CT - C_{\text{Text}}$$

$$B0 = 160,64 - 50 = 110,64$$

$$B1 = 0,226 \times \frac{B0}{R_t}$$

$$B1 = 0,226 \times \frac{110,64}{0,2162} = 115,65$$

$$B2 = 0,205 \times \left(\frac{(\lambda \times \rho \times c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \times \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \times \left(\frac{(1,15 \times 2000 \times 1)}{0,2162} \right)$$

$$\times \left(\frac{0,025}{1,15} - \frac{0,2162 - 0,025/1,15}{10} \right) = 5$$

Exemplo de cálculo em paredes

$$\varphi = 1,382 \times R_t \times \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,2162 \times \sqrt{110,65 + 5}$$

$$\varphi = 3,28 \text{ h}$$

Dados:

$$\alpha = 0,2$$

Orientação = norte (latitude 30° sul)

Pior situação de verão: 22/12, 12 h

$$R_S = 179 \text{ W/m}^2$$

$$\Phi = U \times A \times (T_{ext} + \alpha \times R_S \times R_{se} - T_{int})$$

$$\Phi = 2,6 \times 15 \times (30 + 0,2 \times 179 \times 0,04 - 26)$$

$$\Phi = 211,9 \text{ W}$$

Exemplo de cálculo em paredes

Dados:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Argamassa e reboco:

$$\lambda = 1,15 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$$

$$c = 1 \text{ kJ}/\text{Kg} \cdot \text{K}$$

Cerâmica:

$$\lambda = 0,9 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$$

$$c = 0,92 \text{ kJ}/\text{Kg} \cdot \text{K}$$

Resolvendo da segunda forma:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}$$

Seção A (reboco + argamassa + reboco)

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,15 = 0,0034 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_a = 0,1217 \text{ m}^2 \text{K}/\text{W}$$

Exemplo de cálculo em paredes

Seção B (reboco + cerâmica + reboco)

$$A_b = 0,011 \times 0,19 = \mathbf{0,00209 \text{ m}^2}$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{0,9} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_b = \mathbf{0,1435 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

Seção C (reboco + cerâmica + ar + cerâmica + ar + cerâmica + reboco)

$$A_c = 0,032 \times 0,19 = \mathbf{0,0061 \text{ m}^2}$$

$$R_c = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,01}{0,9} + 0,16 + \frac{0,01}{0,9} + 0,16 + \frac{0,01}{0,9} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_c = \mathbf{0,3968 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

$$R_t = \frac{A_a + 4 \times A_b + 3 \times A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{4 \times A_b}{R_b} + \frac{3 \times A_c}{R_c}}$$

$$R_t = \mathbf{0,2268 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

$$RT = 0,04 + 0,2268 + 0,13$$

$$RT = \mathbf{0,3968 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

$$U = \frac{1}{RT}$$

$$U = \mathbf{2,52 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$CT = e \times c \times \rho$$

$$CT = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{A_b}{CT_b} + \dots + \frac{A_n}{CT_n}}$$

Exemplo de cálculo em paredes

Seção A (reboco + argamassa + reboco)

$$CT_a = (0,025 + 0,09 + 0,025) \times 1 \times 2000$$

$$CT_a = 280 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

Seção B (reboco + cerâmica + reboco)

$$CT_b = 2 \times 0,025 \times 1 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1500$$

$$CT_b = 224,2 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

Seção C (reboco + cerâmica + ar + cerâmica + ar + cerâmica + reboco)

$$CT_c = 2 \times 0,025 \times 1 \times 2000 + 3 \times 0,01 \times 0,92 \times 1500$$

$$CT_c = 141,4 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT = \frac{A_a + 4 \times A_b + 3 \times A_c}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{4 \times A_b}{CT_b} + \frac{3 \times A_c}{CT_c}}$$

$$CT = 167,7 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

Exemplo de cálculo em paredes

$$B0 = CT - C_{Text}$$

$$B0 = 167,7 - (0,025 \times 1 \times 2000) = 117,7$$

$$B1 = 0,226 \times \frac{B0}{Rt}$$

$$B1 = 0,226 \times \frac{117,7}{0,2268} = 117,3$$

$$B2 = 0,205 \times \left(\frac{(\lambda \times \rho \times c)_{ext}}{Rt} \right) \times \left(R_{ext} - \frac{Rt - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \times \left(\frac{(1,15 \times 2000 \times 1)}{0,2268} \right) \times$$

$$\left(\frac{0,025}{1,15} - \frac{0,2268 - 0,025/1,15}{10} \right) = 2,56$$

$$\varphi = 1,382 \times Rt \times \sqrt{B1 + B2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,2268 \times \sqrt{117,3 + 2,56}$$

$$\varphi = 3,43 \text{ h}$$

Dados:

$$\alpha = 0,2$$

Orientação = norte (latitude 30° sul)

Pior situação de verão: 22/12, 12 h

$$RS = 179 \text{ W/m}^2$$

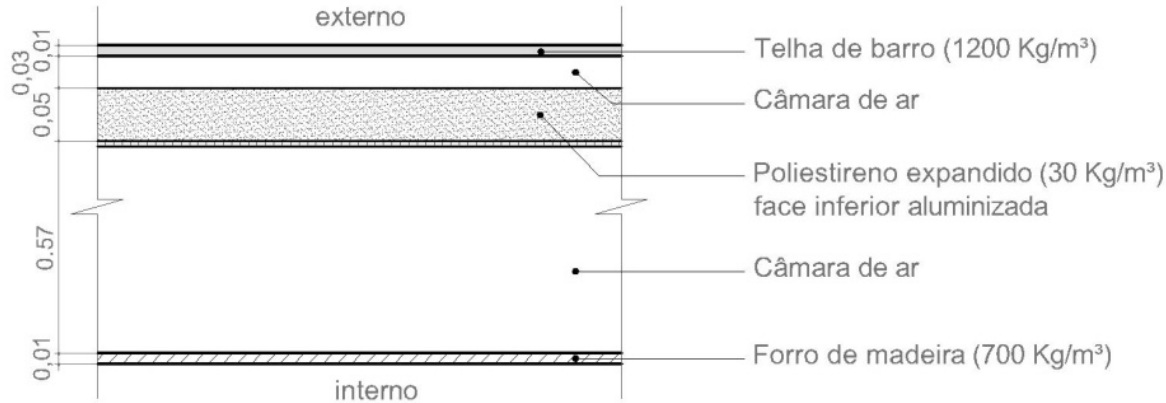
$$\Phi = U \times A \times (T_{ext} + \alpha \times RS \times R_{se} - T_{int})$$

$$\Phi = 2,52 \times 15 \times (30 + 0,2 \times 179 \times 0,04 - 26)$$

$$\Phi = 205,3 \text{ W}$$

Exemplo de cálculo em coberturas

Calcule a Transmitância Térmica e o Atraso Térmico do seguinte componente para condições de verão. Considere o forro de madeira em freijó. Para latitude 30° sul e considerando área do telhado de 50 m^2 , absorvância de 0,8, temperatura externa de 30°C e a temperatura interna de 28°C , calcule o fluxo de calor através da cobertura para condição crítica de verão.



Detalhe cobertura (dimensões em m)

Exemplo de cálculo em coberturas

Dados:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{ar1} = 0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{ar2} = 0,61 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Telha de barro:

$$\lambda = 0,7 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$c = 0,92 \text{ kJ/Kg} \cdot \text{K}$$

Polistireno:

$$\lambda = 0,04 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$c = 1,42 \text{ kJ/Kg} \cdot \text{K}$$

Forro de madeira:

$$\lambda = 0,23 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$c = 1,34 \text{ kJ/Kg} \cdot \text{K}$$

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

$$Rt = \frac{0,01}{0,7} + 0,18 + \frac{0,05}{0,04} + 0,61 + \frac{0,01}{0,23}$$

$$Rt = 2,1 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$RT = 0,04 + 2,1 + 0,17 = 2,31 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{RT}$$

$$U = 0,43 \text{ W/m}^2 \text{K}$$

$$CT = e \times c \times \rho$$

$$CT = 0,01 \times 0,92 \times 1200 + 0,05 \times 1,42 \times 30 + 0,01 \times 1,34 \times 700$$

Exemplo de cálculo em coberturas

$$CT = 22,55 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$B0 = CT - CText$$

$$B0 = 22,55 - (0,01 \times 0,92 \times 1200) = \mathbf{11,51}$$

$$B1 = 0,226 \times \frac{B0}{Rt}$$

$$B1 = 0,226 \times \frac{11,51}{2,1} = \mathbf{1,24}$$

$$B2 = 0,205 \times \left(\frac{(\lambda \times \rho \times c)ext}{Rt} \right) \times \left(Rext - \frac{Rt - Rext}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \times \left(\frac{(0,7 \times 1200 \times 0,92)}{2,1} \right) \times \left(0,014 - \frac{2,1 - 0,014}{10} \right) \\ = -14,8$$

$$B2 = 0$$

$$\varphi = 1,382 \times Rt \times \sqrt{B1 + B2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 2,1 \times \sqrt{1,24 + 0}$$

$$\varphi = \mathbf{3,2 \text{ h}}$$

Exemplo de cálculo em coberturas

Dados:

$$\alpha = 0,8$$

Orientação = horizontal (latitude 30° sul)

Pior situação de verão: 22/12, 12 h

$$RS = 1134 \text{ W/m}^2$$

$$\Phi = U \times A \times (T_{ext} + \alpha \times RS \times R_{se} - 4 - T_{int})$$

$$\Phi = 0,43 \times 50 \times (30 + 0,8 \times 1134 \times 0,04 - 4 - 28)$$

$$\Phi = 737,2 \text{ W}$$

Testes

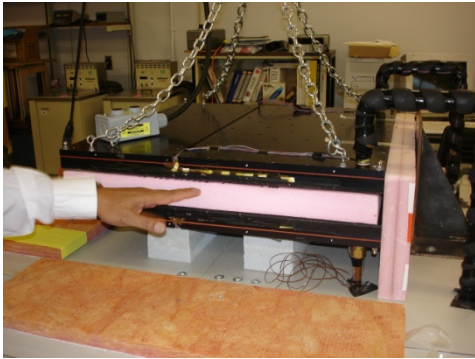
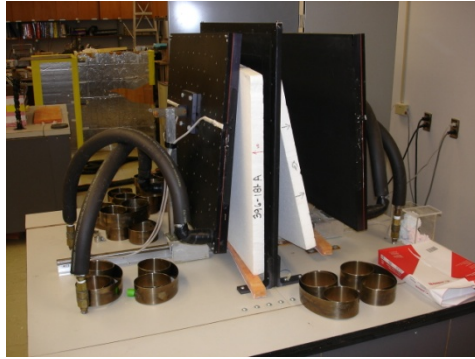
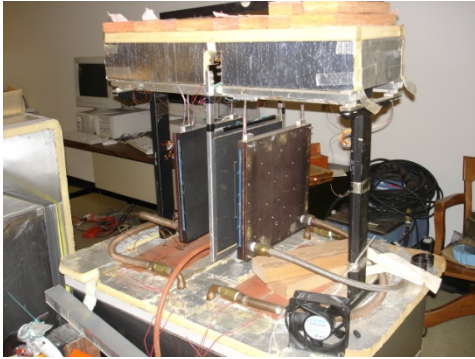
IRC - Ottawa



introdução – desempenho – isolantes – exemplos

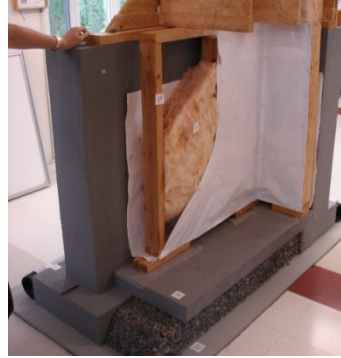
Testes

IRC - Ottawa



Testes

IRC - Ottawa



Testes

IRC - Ottawa



introdução – desempenho – isolantes – exemplos

Testes

Isolamento janelas

