

# Desempenho de ETICS em PTL Regime Permanente e Variável

Nuno Simões, António Tadeu, Joana Prata

Seminário: Fachadas energeticamente eficientes: contribuição dos ETICS/Argamassas Térmicas

10-06-2012

## ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO

- Enquadramento
- Metodologia
- Exemplos
- Avanços metodológicos e tecnológicos



## DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

- O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de cerca de 40% da energia final na Europa e cerca de 28% no caso de Portugal (DGEG).



- Serviços (11,4%)
- Outros (5,8%)
- Doméstico (16,6%)
- Transportes (36,7%)
- Indústria (29,6%)

## PERDAS DE CALOR PELA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS, ISO 13789:2007

O coeficiente de transferência de calor através da envolvente que separa o espaço com condições de referência, do exterior, calcula-se:

$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j \chi_j$$

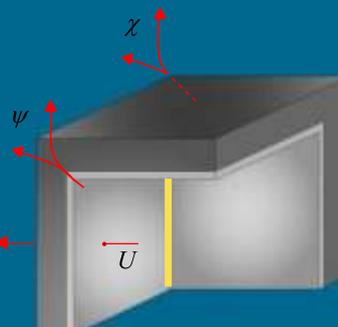
$A_i$  - área do elemento  $i$  da envolvente do edifício ( $m^2$ );

$U_i$  - coef. de transmissão térmica do elemento  $i$  da envolvente do edifício ( $W/(m^2.K)$ );

$l_k$  - desenvolvimento da ponte térmica linear  $k$  (m);

$\psi_k$  - coef. de transmissão térmica linear da ponte térmica linear  $k$  ( $W/(m.K)$ );

$\chi_j$  - transmissão térmica pontual da ponte térmica pontual  $j$  ( $W/K$ ).

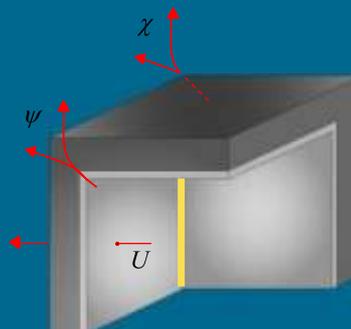


## PERDAS DE CALOR PELA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS, ISO 13789:2007

O coeficiente de transferência de calor através da envolvente que separa o espaço com condições de referência, do exterior, calcula-se:

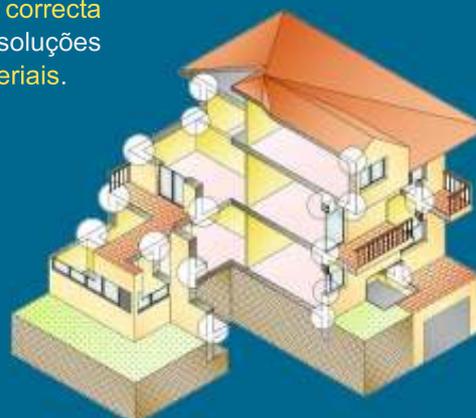
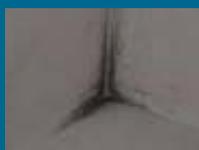
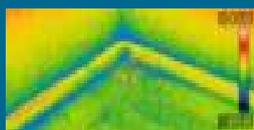
$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j \chi_j$$

O peso das PTL nas **perdas de calor pela envolvente exterior opaca** é muitas vezes **próximo dos 50%**



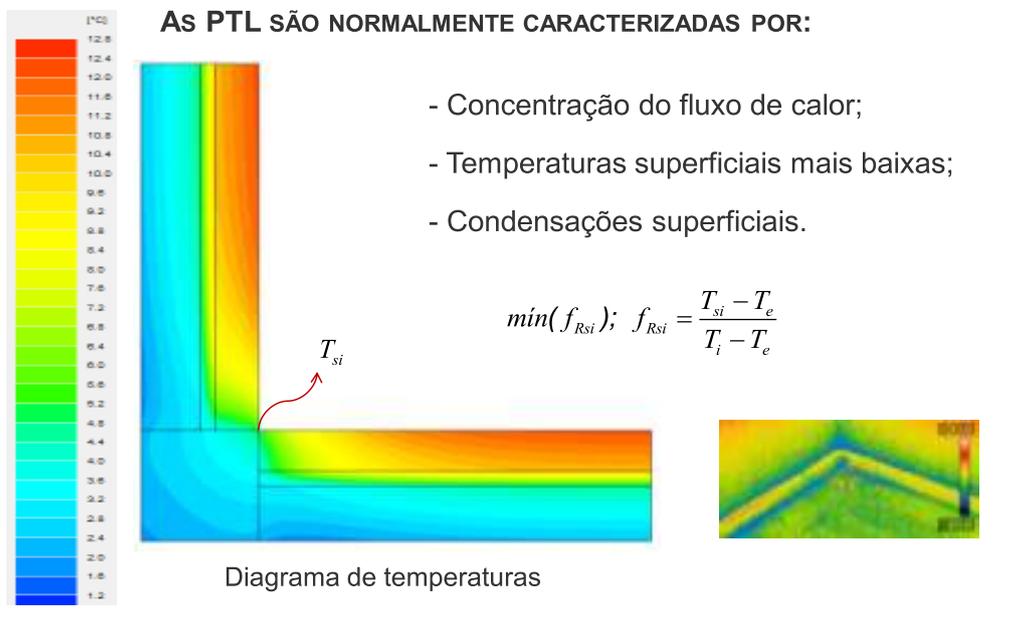
## PONTES TÉRMICAS LINEARES (PTL)

- As perdas de calor pelas PTL podem potenciar o aparecimento de patologias devido à ocorrência de condensações;
- É fundamental na fase de projecto a correcta caracterização do desempenho térmico das soluções construtivas e uma adequada escolha de materiais.



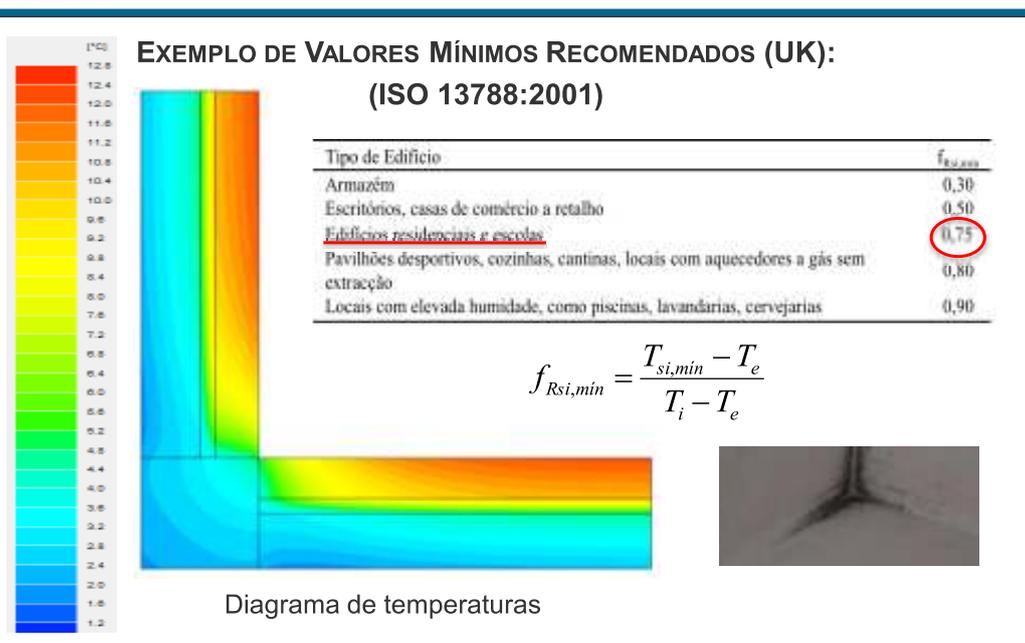
**AS PTL SÃO NORMALMENTE CARACTERIZADAS POR:**

- Concentração do fluxo de calor;
- Temperaturas superficiais mais baixas;
- Condensações superficiais.


**EXEMPLO DE VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS (UK):  
(ISO 13788:2001)**

Tipo de Edifício	$f_{Rsi,min}$
Armazém	0,30
Escritórios, casas de comércio a retalho	0,50
<u>Edifícios residenciais e escolas</u>	<u>0,75</u>
Pavilhões desportivos, cozinhas, cantinas, locais com aquecedores a gás sem extração	0,80
Locais com elevada humidade, como piscinas, lavandarias, cervejarias	0,90

$$f_{Rsi,min} = \frac{T_{si,min} - T_e}{T_i - T_e}$$



## COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR, $\Psi$ [W/(m.°C)]



### Metodologias de Definição do $\Psi$

- |                                    |                    |
|------------------------------------|--------------------|
| 1. Cálculo Numérico (ISO 10211)    | $\pm 5\%$ de erro  |
| 2. Catálogos de PTL                | $\pm 20\%$ de erro |
| 3. Valores por defeito (ISO 14683) | + 50% de erro      |

### Definição do $\Psi$ segundo o RCCTE

- Valores tabelados no RCCTE  
-Em função das características geométricas
- Valor convencional ( $\psi=0,5$  W/(m.°C))

## CARACTERIZAÇÃO DE PTL – SITUAÇÃO EUROPEIA (IEE-ASEPI, 2010)

Estado Membro	Método de cálculo		Requisitos	
	Edif. Reabilitados	Edif. Novos	Edif. Reabilitados	Edif. Novos
Dinamarca	Catálogos de PTL / Cálculo numérico		(Ampliações) $\Psi \leq 0,03$ (janelas) até $\Psi \leq 0,15$ (fundações)	$\Psi \leq 0,06$ (janelas) até $\Psi \leq 0,40$ (fundações)
Noruega	Método Simplificado (majoração do U p/ PT c/ importância reduzida) Cálculo numérico (p/ PT com > importância)		$(\sum \Psi \cdot l) / A_p \leq 0,03$ p/ pequenos edif. $(\sum \Psi \cdot l) / A_p \leq 0,06$ p/ grandes edif.	
França	-	Catálogos de PTL / Cálculo numérico	-	$\Psi \leq 0,65$ para moradias; $\Psi \leq 1,0$ para apartamentos e $\Psi \leq 1,2$ p/ outros

H. Erhorn, et al, An effective Handling of Thermal Bridges in the EPBD Context. Final Report of the IEE ASIEPI work on Thermal Bridges, March 2010.

### CARACTERIZAÇÃO DE PTL – SITUAÇÃO EUROPEIA (IEE-ASEPI, 2010)

Estado Membro	Método de cálculo		Requisitos
	Edif. Reabilitados	Edif. Novos	Edif. Reabilitados/Novos
Polónia	Método simplificado (majoração do U) / Cálculo numérico		Limites regulamentares p/ os U (que incluem as PT)
Espanha	Método simplificado (majoração do U) / Cálculo numérico		Limites regulamentares p/ a $T_{sup,min}$
Portugal	Método simplificado / Valores por defeito / Cálculo numérico	Valores por defeito / Cálculo numérico	Não existem
República Checa	Método simplificado / cálculo numérico		$\psi_{e,N} = 0, 10, \dots, 0, 60$ $\chi_{A,N} = 0, 90$
Alemanha	Método simplificado (majoração das perdas de calor pela envolvente) / cálculo numérico ou valores tabelados		$f_{tsl} > 0, 7$

### CARACTERIZAÇÃO DE PTL – SITUAÇÃO EUROPEIA (IEE-ASEPI, 2010)

#### ESTUDOS DE PAÍSES EUROPEUS MOSTRAM QUE:

O **impacto total das pontes térmicas** nas necessidades de energia para aquecimento é considerável, **podendo ultrapassar os 30%**.

A comparação entre valores por defeito e os calculados numericamente mostra uma **redução superior a 11 kWh/m<sup>2</sup>a na energia necessária para aquecimento** (Alemanha).

O impacto relativo da caracterização de soluções de PTL optimizadas através de cálculo numérico, quando comparado com valores por defeito, **pode ultrapassar os 15% da energia primária utilizada para aquecimento** (França).

**COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR,  $\Psi$   
 ISO 10211:2007**

$$Q_{total} = Q_{PTL} + Q_{paredes} \quad (W)$$

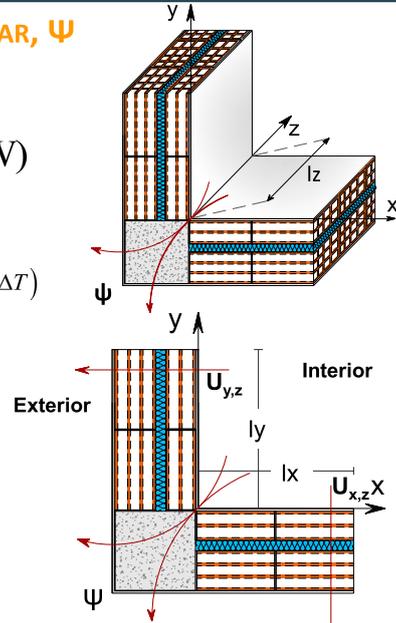
$$Q_{total} = (\psi_z \times l_z \times \Delta T) + (U_{x,z} \times l_x \times l_z \times \Delta T) + (U_{y,z} \times l_y \times l_z \times \Delta T)$$

$$\frac{Q_{total}}{l_z \Delta T} = \psi_z + U_{x,z} l_x + U_{y,z} l_y$$

$$L_{2D} \quad (W/(m \cdot ^\circ C))$$

(2D thermal coupling coefficient)

$$U_j = \frac{1}{R_{se} + \sum_i R_i + R_{si}}$$

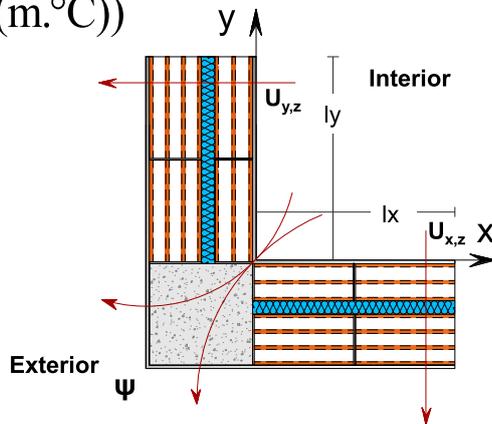


**COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR,  $\Psi$  – ISO 10211:2007**

$$\psi = L_{2D} - \sum_j U_j l_j \quad (W/(m \cdot ^\circ C))$$

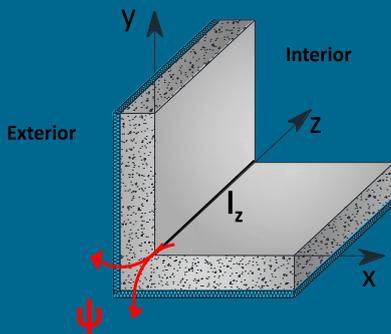
**Métodos Numéricos  
 Bidimensionais:**

- Diferenças Finitas
- Elementos Finitos
- Elementos de Fronteira



**COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR,  $\Psi$  [W/(m.°C)]**

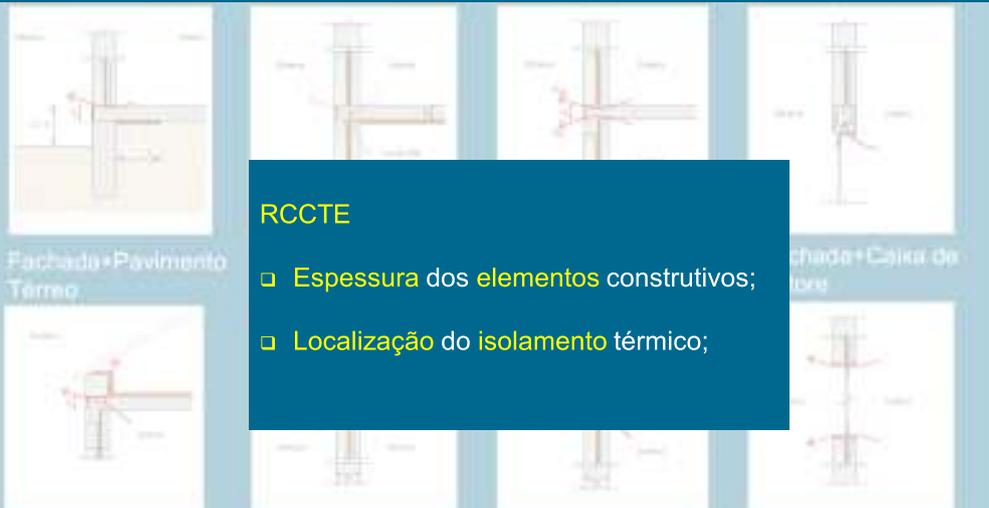
$$Q_{PTL} = \Psi \times l_z \times (T_i - T_e) \quad (W)$$



**DEPENDE DE:**

- ❑ Propriedades dos materiais construtivos (condutibilidade térmica);
- ❑ Espessura dos elementos construtivos;
- ❑ Espessura do isolamento térmico;
- ❑ Localização do isolamento térmico;
- ❑ Existência de elementos estruturais e/ou tecto falso
- ❑ ...

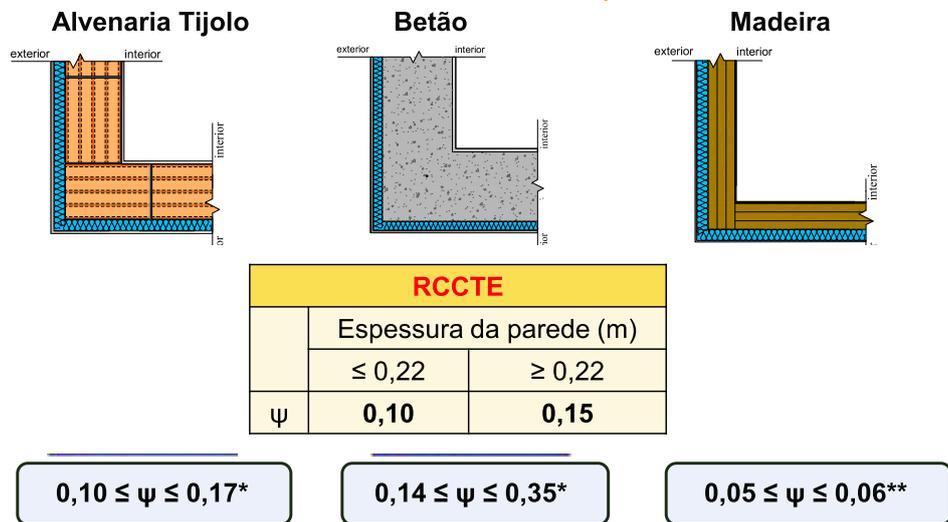
**COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR,  $\Psi$  [W/(m.°C)]**



**RCCTE**

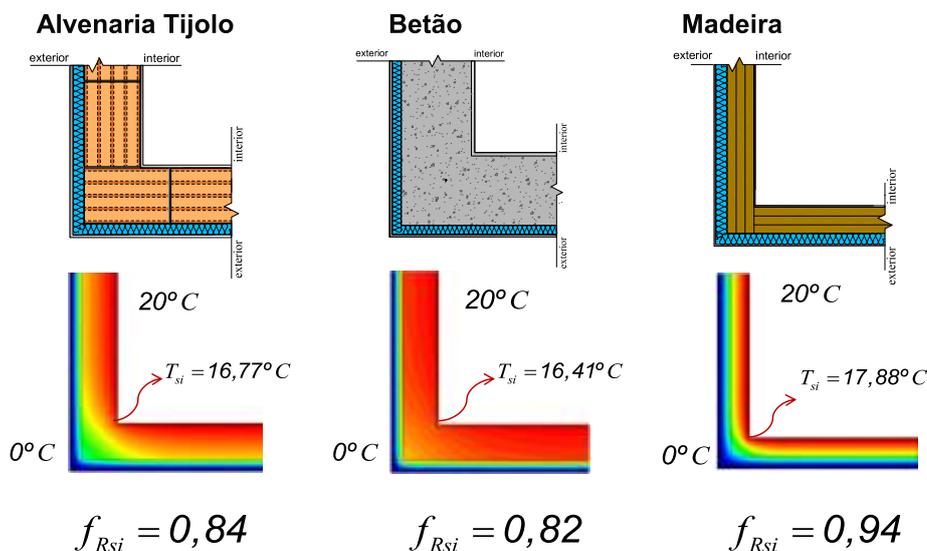
- ❑ Espessura dos elementos construtivos;
- ❑ Localização do isolamento térmico;

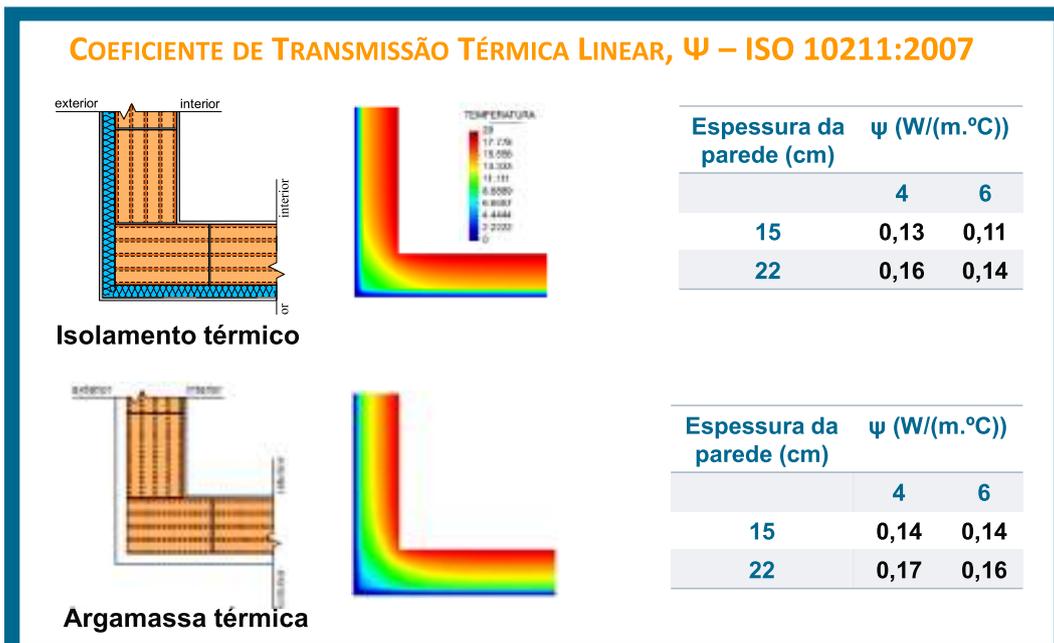
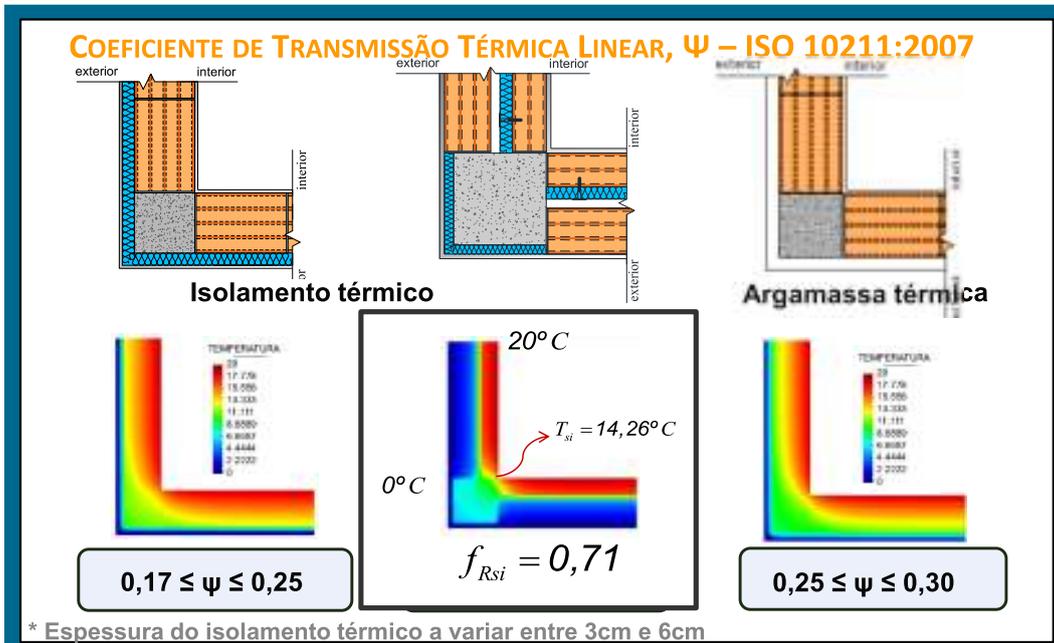
**COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR,  $\Psi$  – ISO 10211:2007**



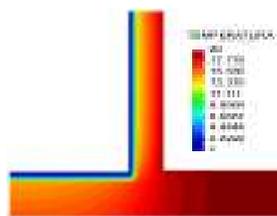
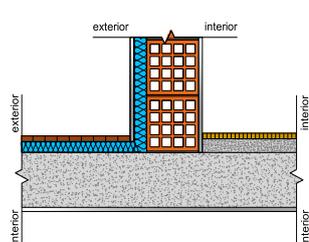
\* Tendo em conta as mesmas espessuras para os panos de betão e tijolo  
 \*\*Tendo em conta valores de espessuras típicos em elementos em madeira

**FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL NA PTL,  $f_{Rsi}$**



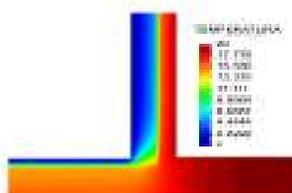
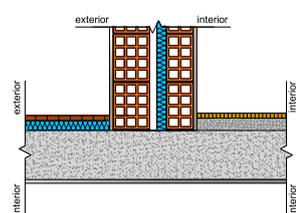


**COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR,  $\Psi$  – ISO 10211:2007**



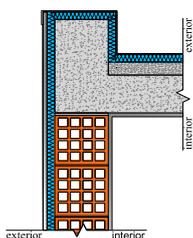
Espessura do isolamento (cm)	Espessura da parede (cm)
	25
3	0,11
4	0,08
5	0,07
6	0,06

**RCCTE**  
 **$\Psi=0,5$**

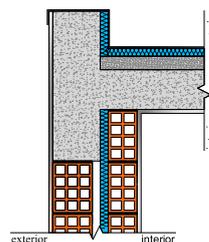


3	0,41
4	0,40
5	0,39
6	0,38

**COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR,  $\Psi$  – ISO 10211:2007**



**RCCTE**  
 **$\Psi=0,50$**

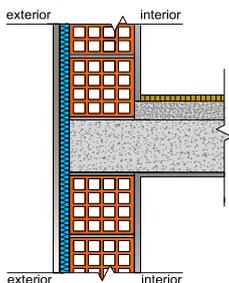


**RCCTE**  
 **$\Psi=0,70$**

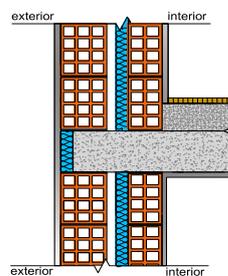
Espessura da laje (cm)	Espessura do isolamento (cm)	
	4	6
15	0,35	0,30
20	0,37	0,32
25	0,39	0,33
30	0,41	0,35
35	0,42	0,36

Espessura da laje (cm)	Espessura do isolamento (cm)	
	4	6
15	0,66	0,68
20	0,74	0,76
25	0,81	0,84
30	0,87	0,91
35	0,92	0,97

**COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR,  $\Psi$  – ISO 10211:2007**



**RCCTE**  
 **$\Psi=0,20$**



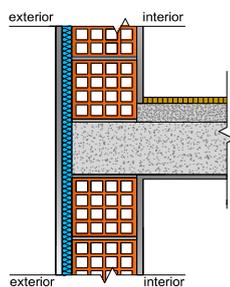
**RCCTE**  
 **$\Psi=0,50$**

Espessura da laje (cm)	Espessura do isolamento (cm)			
	3	4	5	6
15	0,23	0,18	0,15	0,13
20	0,27	0,22	0,19	0,16
25	0,32	0,26	0,22	0,19
30	0,36	0,29	0,25	0,21
35	0,41	0,33	0,28	0,24

Espessura da laje (cm)	Espessura do isolamento (cm)			
	3	4	5	6
15	0,44	0,42	0,41	0,39
20	0,51	0,48	0,46	0,44
25	0,56	0,53	0,50	0,47
30	0,61	0,57	0,54	0,51
35	0,65	0,61	0,57	0,54

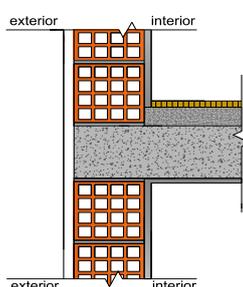
**COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR,  $\Psi$  – ISO 10211:2007**

**Isolamento térmico**



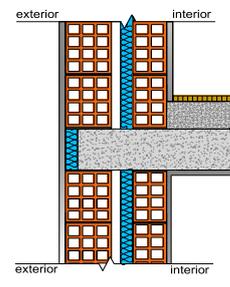
**$\psi = 0,19$  \***

**Argamassa térmica**



**$\psi = 0,29$  \***

**Isolamento térmico**



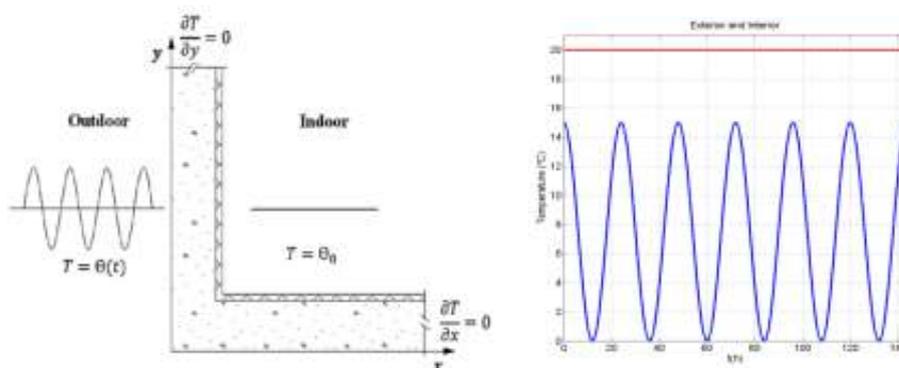
**$\psi = 0,47$  \***

\* Espessura da laje = 25cm; Espessura do isolamento térmico = 6cm

## CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DE PTL

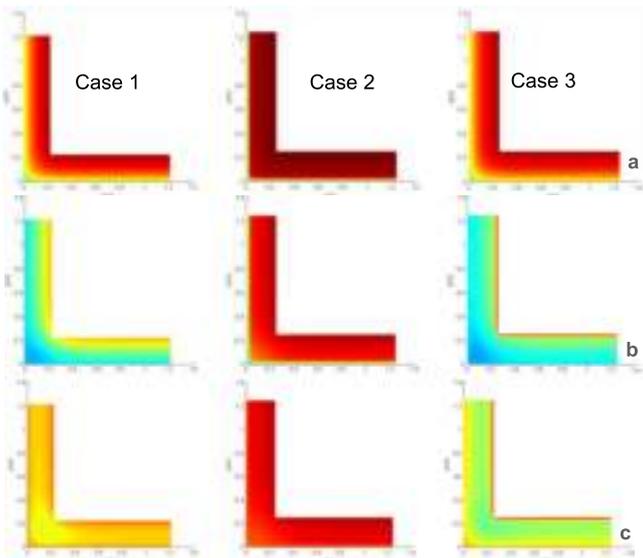
- As PTL têm um comportamento dinâmico , assumindo que estas estão sujeitas a **variações de temperatura ao longo do tempo**
- O regime estacionário de condução de calor não permite estimar a influência da **capacidade térmica dos materiais**, responsável pelo **atraso térmico**.

## CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DE PTL (BEM)

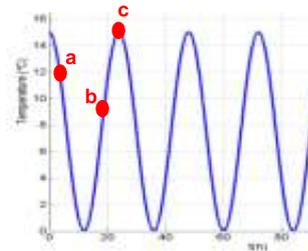


- Variação sinusoidal da temperatura exterior;
- Temperatura interior constante;
- Planos de corte adiabáticos.

**CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DE PTL (BEM)**



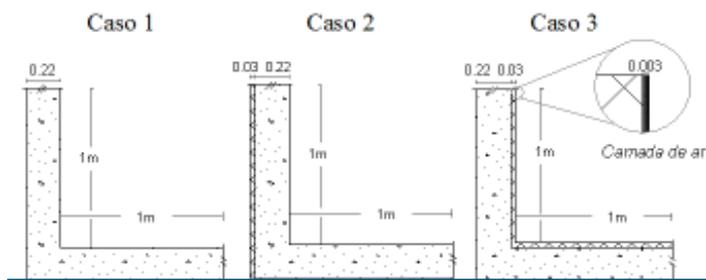
**Distribuição da Temperatura**



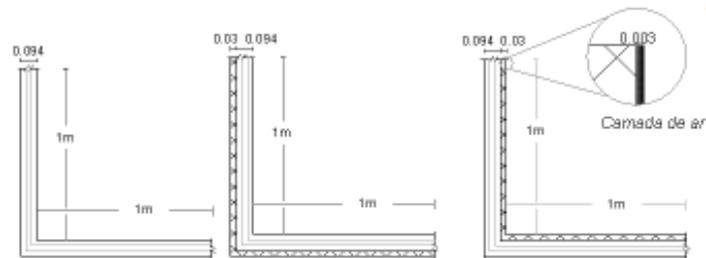
- Case 1 – Sem Isolamento
- Case 2 – Isolamento Exterior
- Case 3 – Isolamento Interior

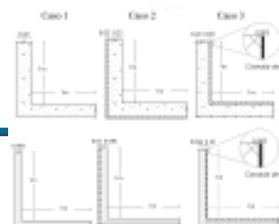
**CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DE PTL (BEM)**

**Betão**



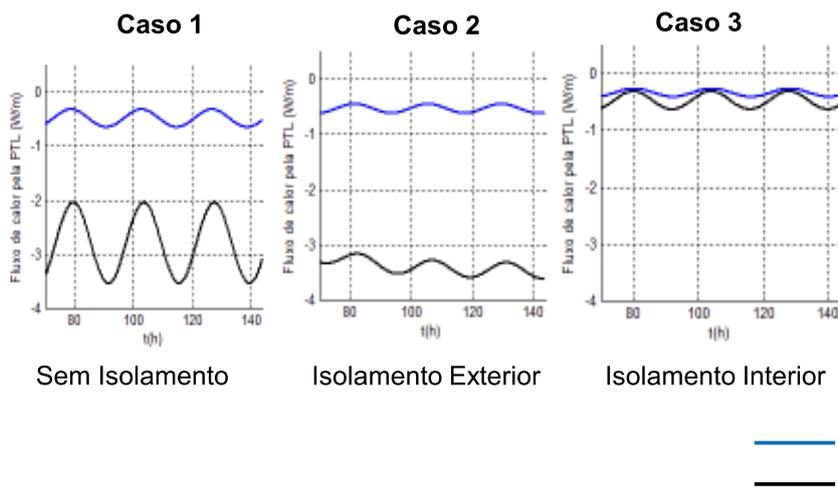
**Madeira**





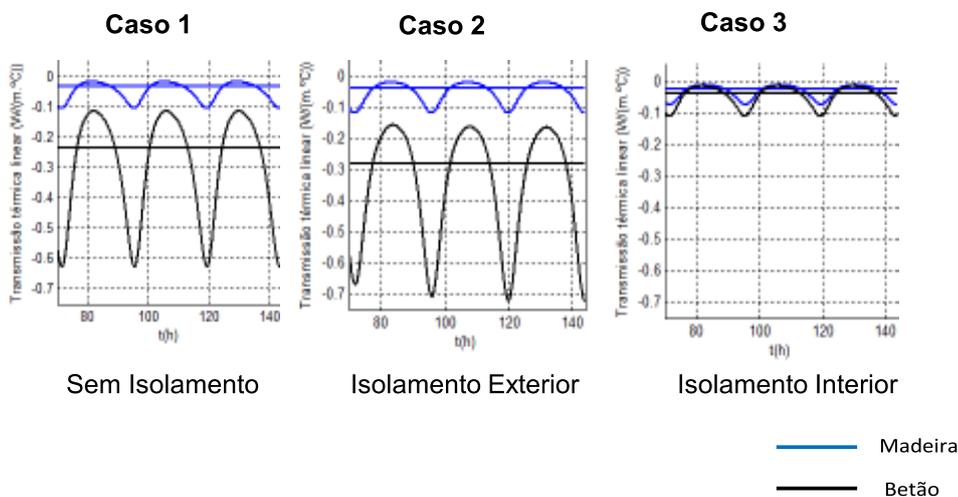
### CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DE PTL (BEM)

#### Fluxo de calor através da PTL (BEM)



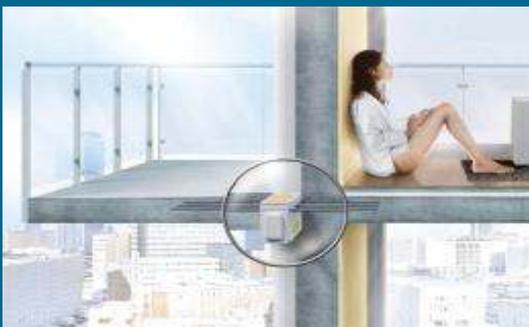
### CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DE PTL (BEM)

#### Transmissão térmica linear – BEM



## AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA CORRECÇÃO DE PTL

### CORTES TÉRMICOS PARA LIGAÇÕES ENTRE FACHADA E VARANDA



#### LIGAÇÕES BETÃO / BETÃO:



O valor de  $\psi$  pode ser reduzido desde cerca de  $0,94 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$  para  $0,20 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$

## AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA CORRECÇÃO DE PTL

### CORTES TÉRMICOS PARA LIGAÇÕES ENTRE FACHADA E VARANDA

#### LIGAÇÕES BETÃO / AÇO:



#### LIGAÇÕES AÇO / AÇO:



## AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA CORRECÇÃO DE PTL

### CORTES TÉRMICOS PARA LIGAÇÕES ENTRE FACHADA E VARANDA



**LIGAÇÕES  
BETÃO / MADEIRA:**



**CANTOS EM VARANDAS:**

