

**Eficiência Energética e Comportamento Passivo dos Edifícios**

**Indicador do comportamento térmico passivo de habitações: Inverno**

**Armando Pinto**

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

[apinto@lneec.pt](mailto:apinto@lneec.pt)

Ponto de Encontro

Lisboa Enova, Lisboa, 4 de Abril de 2017

# Sumário

1. Introdução
2. Metodologia
3. Resultados
4. Conclusões

# Introdução



- Qual a fração potencialmente mais confortável no inverno?
- Fração A: com necessidades nominais de aquecimento de  $N_{ic} = 15 \text{ kWh/m}^2$
- Fração B: com temperatura média em janeiro de  $20^\circ\text{C}$

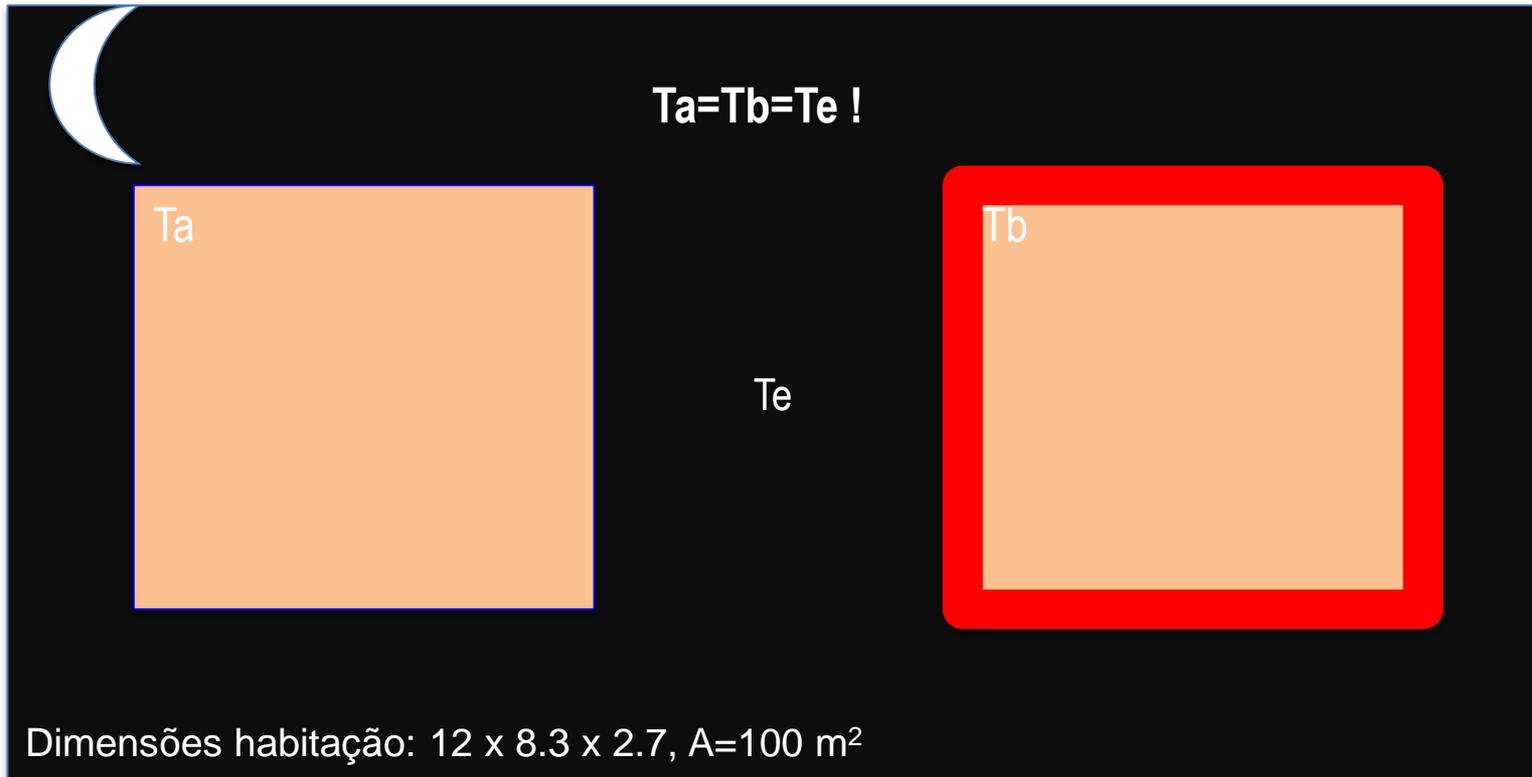


- Existe relação entre  $N_{ic}$  (energia estimada para o edifício), o potencial de conforto térmico proporcionado pela fração e a qualidade térmica?

# Exemplo 1: Habitação A “mal isolada” e Habitação B “bem isolada”

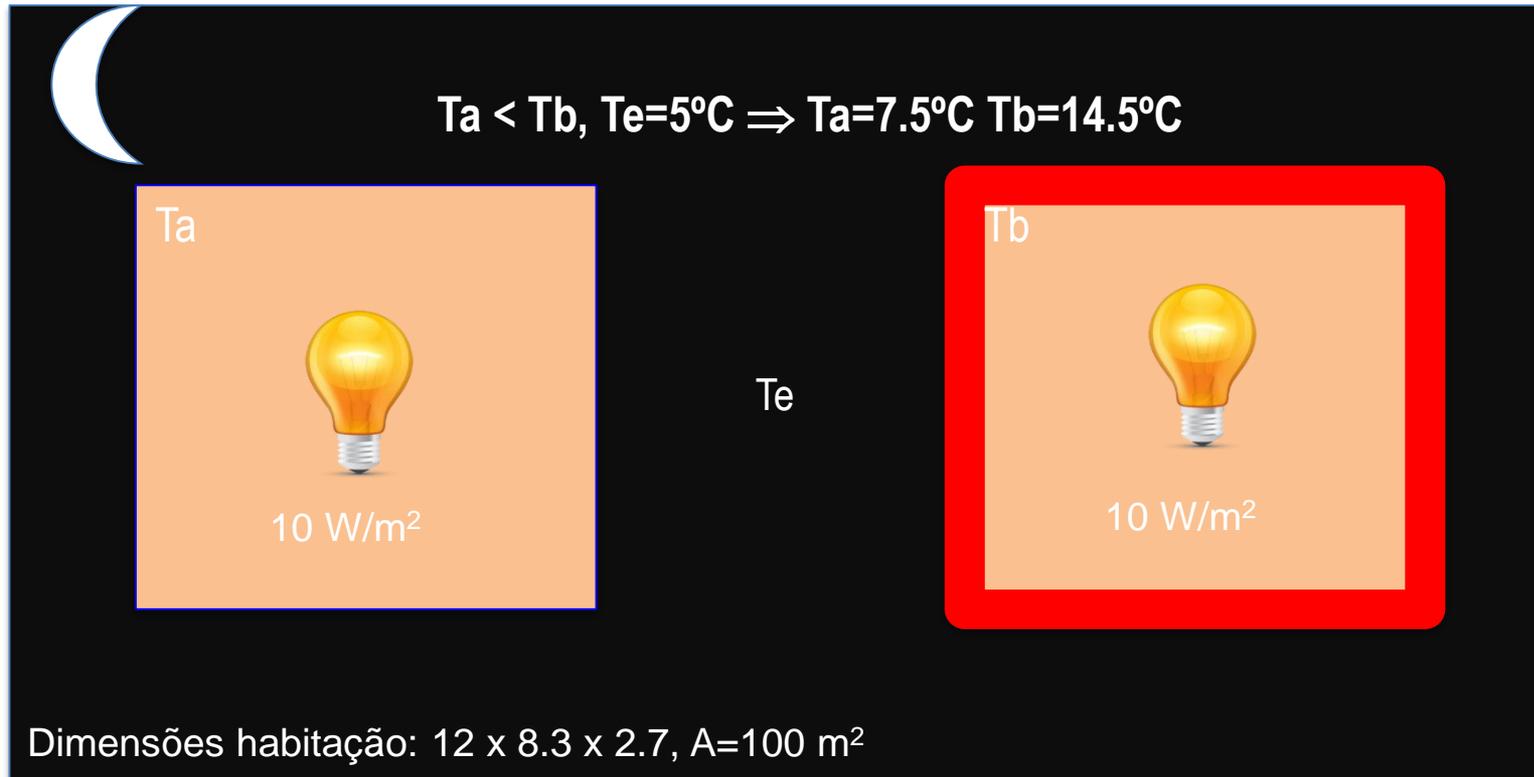
## Sem ganhos de calor, qual a temperatura interior?

- Cobertura ( $U=0.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ),  $R_{ph}=0.4 \text{ h}^{-1}$ ;
- Parede A **não isolada** ( $U = 2.9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ); Parede B **isolada** ( $U=0.35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ):  $T_a > T_b$ ;  $T_a < T_b$ ;  $T_a = T_b$  ?



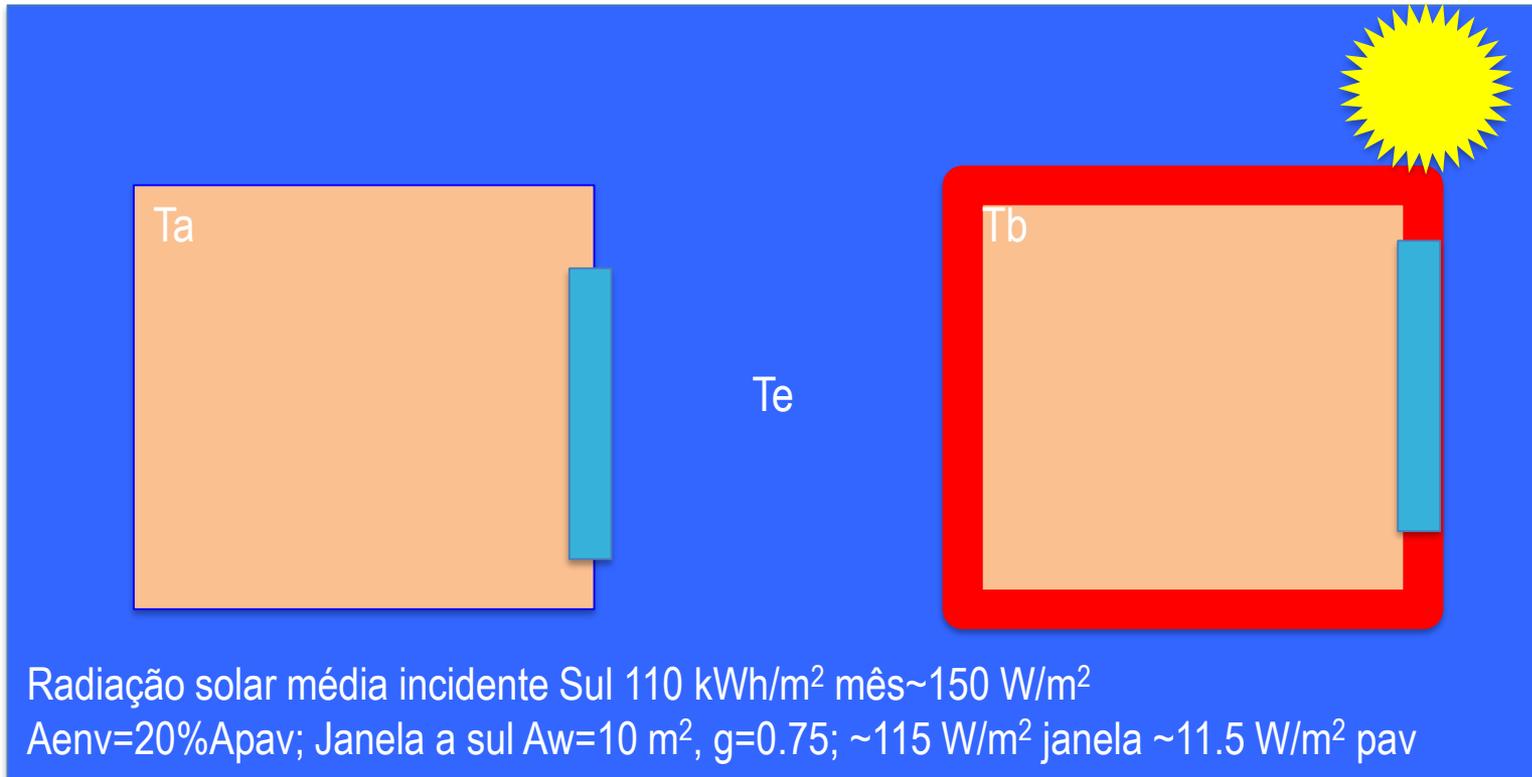
## Exemplo 2: Habitação A “mal isolada” e Habitação B “bem isolada” Com ganhos de calor, qual a temperatura interior?

- Cobertura ( $U=0.3 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ),  $R_{ph}=0.4 \text{ h}^{-1}$ ;
- Parede A **não isolada** ( $U = 2.9 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ); Parede B **isolada** ( $U=0.35 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ):  $T_a > T_b$ ;  $T_a < T_b$ ;  $T_a = T_b$  ?



## Exemplo 3: Habitação A “mal isolada” e Habitação B “bem isolada” Janelas expostas a sul

Ganhos solares são fundamentais para o comportamento térmico passivo e conforto no inverno



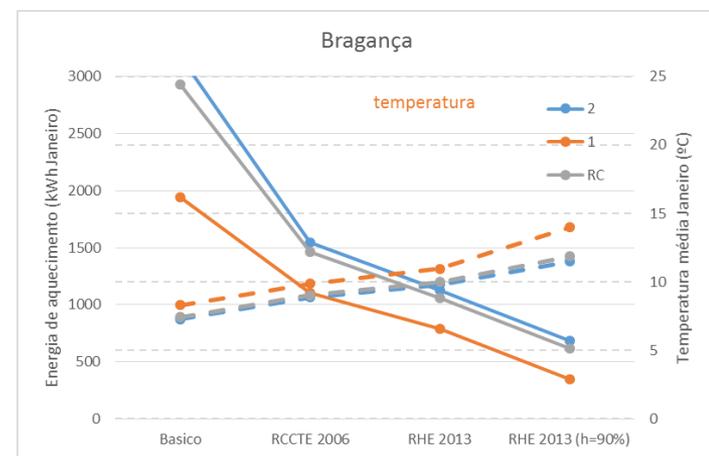
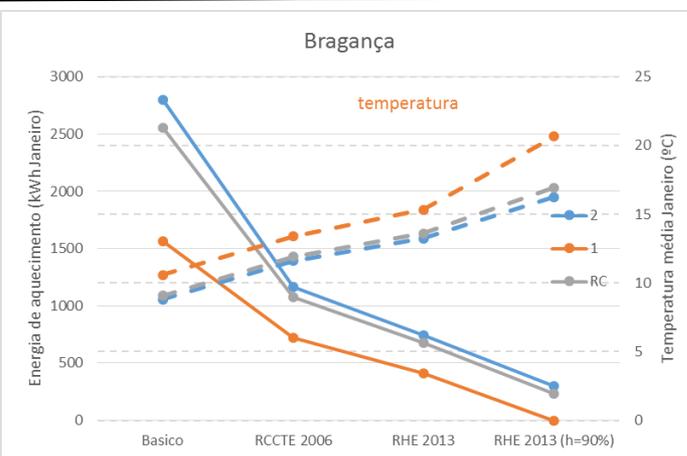
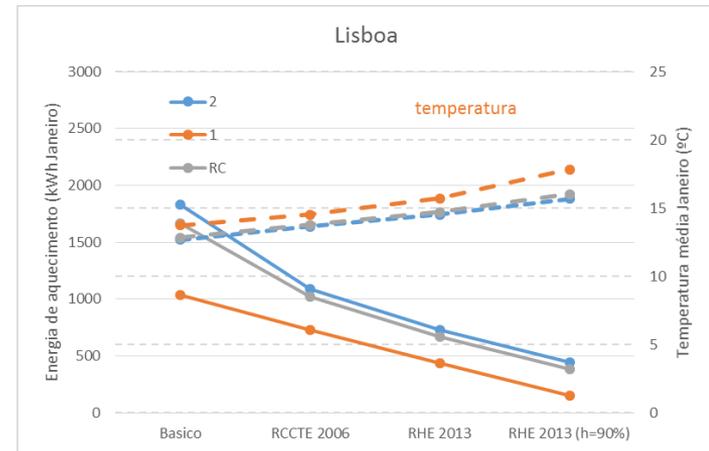
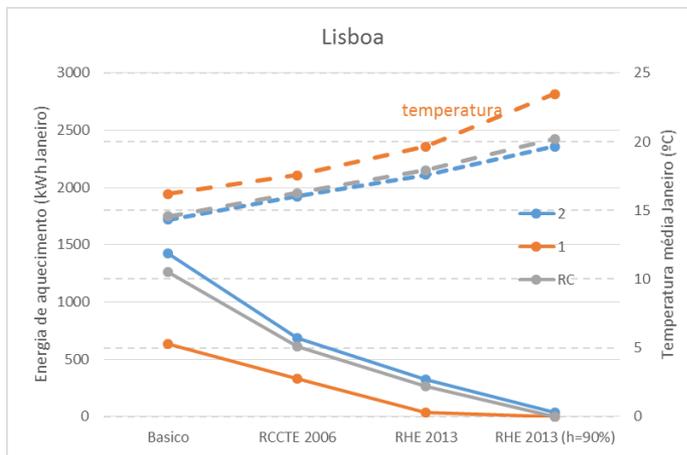
# Relação qualidade térmica, necessidades nominais de aquecimento e conforto (regime estacionário)



## Com ganhos solares

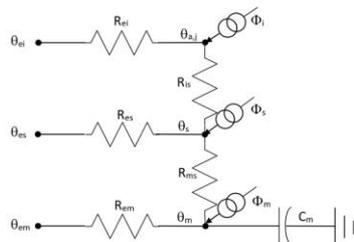
## Sombreamento forte

$T_{Lisboa} 10,6^{\circ}C$   
 $T_{Bragança} 5,3^{\circ}C$



# Modelo dinâmico para estudar comportamento térmico de espaços/frações

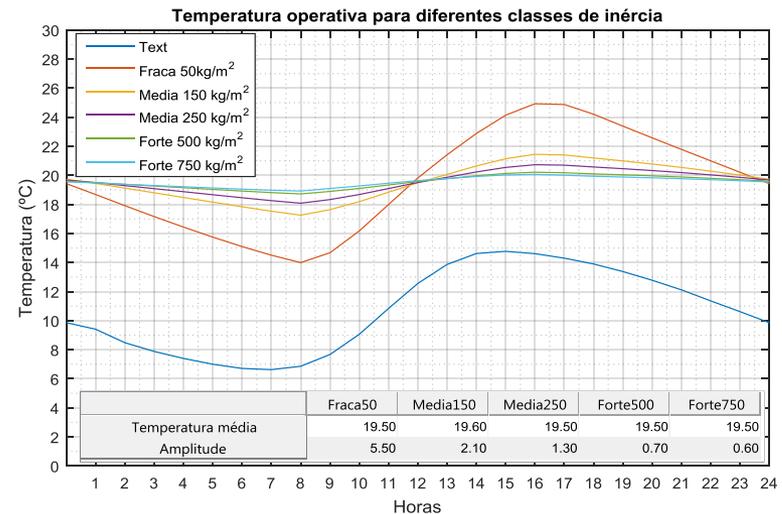
- Exemplo de modelo regime dinâmico:



Nós de Temperatura:	Resistência térmicas:
$\theta_{ei}$ – Ar interior	$R_{ei}$ - devido à renovação do ar
$\theta_{es}$ – Ar exterior	$R_{es}$ – dos componentes leves que separam o exterior do interior
$\theta_m$ – Massa	$R_{em}$ – dos componentes pesados que separam o exterior do interior
$\theta_s$ – <i>Star</i>	$R_{is}, R_{ms}$ – entre as superfícies interiores e o ar interior
$\theta_{es}, \theta_{em}$ – ar-sol para os componentes externos	

Modelo simplificado (5RC) do comportamento térmico da fração

- Em espaços com inércia térmica forte as variações da temperatura interior são menores e mais lentas do que nos espaços de inércia térmica fraca
- Inércia edifícios portugueses: média/forte



É possível avaliar condições interiores e conforto com modelos simples e dispor de um indicador?

## 2 - Metodologia para avaliar relação entre conforto térmico, necessidades térmicas de aquecimento e indicador

### Edifício de referência

- Unifamiliar e multifamiliar (FF de 0.15 a 1.2 m<sup>-1</sup>)
- Épocas: até 1960, 1961-1990, 1991-2012; >= 2013 e novos
- Climas: Bragança (I3V2), Portalegre (I2,V3) e Lisboa (I1V3)
- Ganhos térmicos internos REH

### Qualidade térmica

- Paredes, cobertura e pavimento: sem isolamento até isolamento elevado (U 2.8 a 0.13 W/(m<sup>2</sup>.K)), cores clara e escura ( $\alpha=0.4$  e  $\alpha=0.8$ )
- Janelas: simples e janelas com isolamento reforçado (U<sub>w</sub> de 5.1 a 2.0 W/(m<sup>2</sup>.K))
- Permeabilidade ao ar da envolvente (elevada/baixa) (R<sub>ph</sub> 0.4 a 0.8 h<sup>-1</sup>)
- Sistemas de ventilação: sem e com recuperação de calor ( $\eta=60\%$ )

### Avaliação comportamento

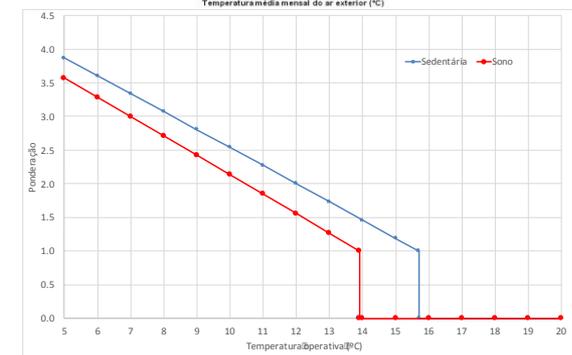
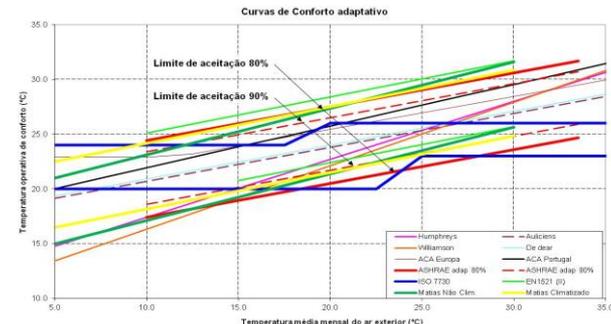
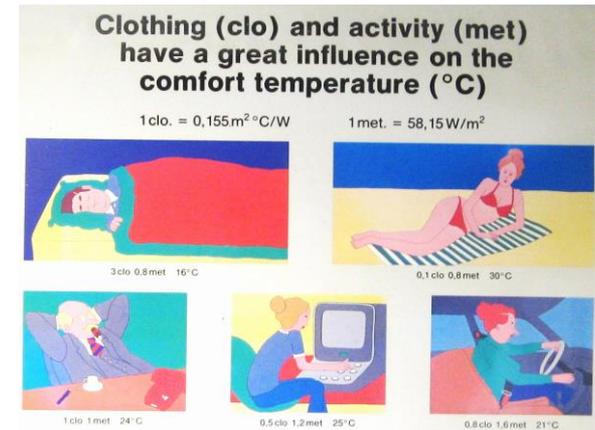
- Avaliação do comportamento térmico passivo do edifício com modelo detalhado, nomeadamente do impacto da qualidade térmica nas condições de conforto térmico e nas necessidades nominais de aquecimento
- Avaliado desempenho no mês mais frio: Janeiro.

# Edifício de habitação passivo: conforto térmico

- Classe C de conforto térmico ISO 7730. Percentagem previsível de insatisfeitos (PPD) não superior a 15% e um voto médio previsto (PMV) de  $\pm 0.7$ .

PMV – Voto Médio Previsto

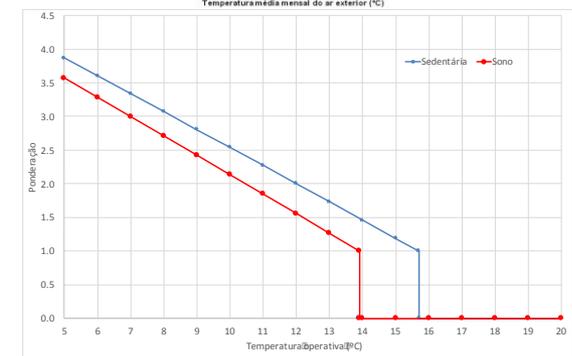
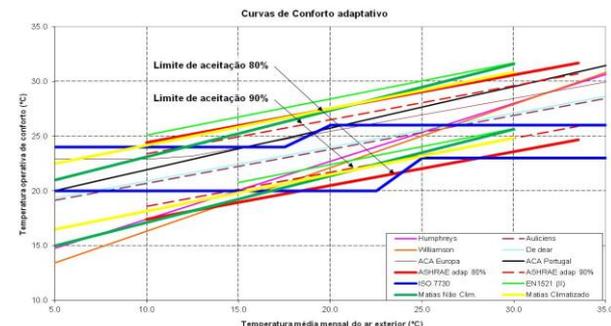
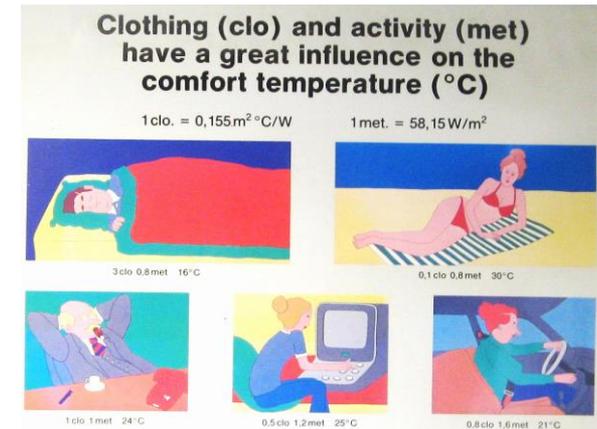
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Muito frio	Frio	Ligeiramente frio	Neutro	Ligeiramente quente	Quente	Muito quente



# Edifício de habitação passivo: conforto térmico

- Classe C de conforto térmico ISO 7730. Percentagem previsível de insatisfeitos (PPD) não superior a 15% e um voto médio previsto (PMV) de  $\pm 0.7$ .
- 23h00 às 7h00:
  - atividade sono, 0.7 met,
  - édredon, cama,  $I_T=3.4$  clo,
  - temperatura operativa de 14°C.
- 8h00 às 23h00:
  - atividade sedentária, 1.2 met,
  - vestuário,  $I_T=1.3$  clo,
  - temperatura operativa de 16°C.
- Avaliação das condições de conforto ao longo de 1 mês: Método C da ISO 7730 (Média ponderada de PMV em função do desvio ao PMV aceitável) com limite de 10% do “tempo”, 74 h em janeiro.

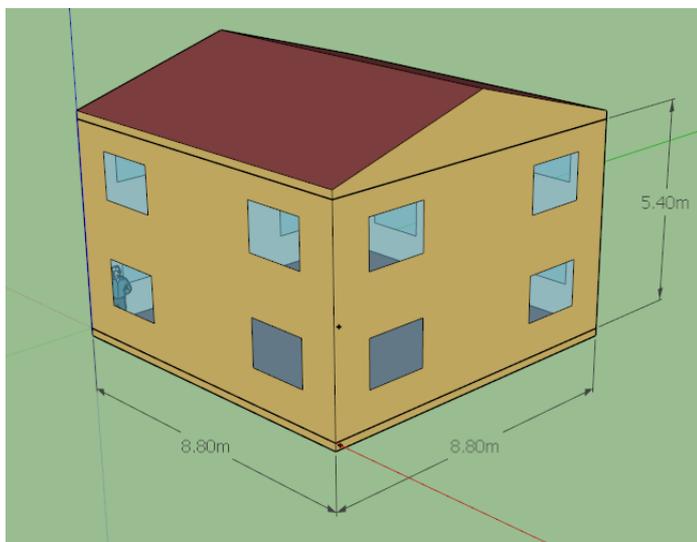
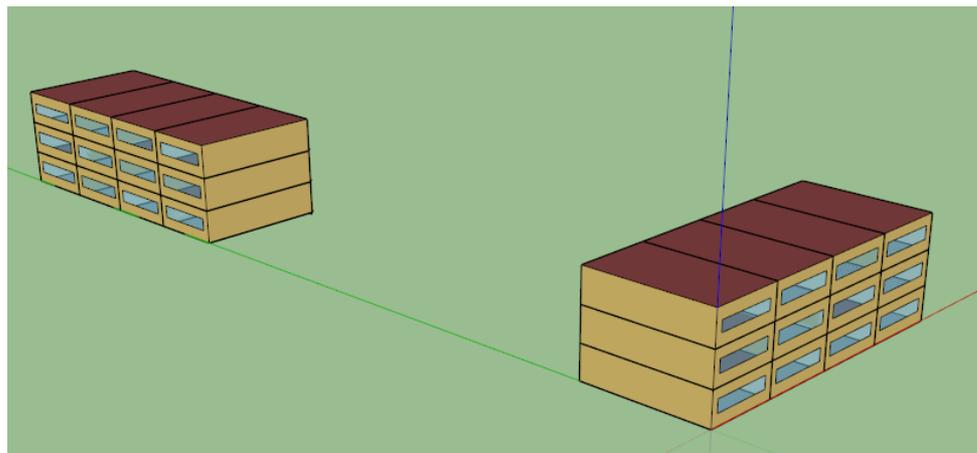
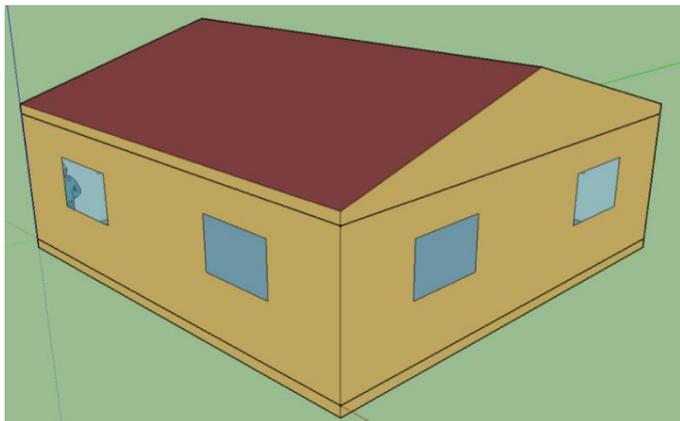
$$w_f = \sum \frac{PMV_{atual}}{PMV_{limite}} \Big|_{Se PMV_{actual} < PMV_{limite}}$$



## Edifício de referência: Exemplo moradias

Época	Unidade	Até 1960	1961:1990	1991:2012	Novos
Designação		1960	1980	2000	2015
Tipologia		T2	T2	T3	T3
Área útil de pavimento	(m <sup>2</sup> )	80	100	155	165
Número de pisos		1	1	2	2
Largura da fachada X	(m)	8.94	10.00	8.80	9.08
Largura da fachada Y	(m)	8.94	10.00	8.80	9.08
Pé direito médio (Pd)	(m)	2.7	2.7	2.7	2.7
Área de janelas/Área de pavimento (Aw/Au)		15%	15%	20%	20%
Área de janelas/Área de fachada (WWR=Aw/Au)		12%	14%	16%	17%
Área de parede fachada N, E, S, ou W	(m <sup>2</sup> )	21.1	23.3	19.9	20.4
Área de janela (Aw) Fachada N, E, S, ou W	(m <sup>2</sup> )	3.00	3.75	7.75	8.25
Área de cobertura	(m <sup>2</sup> )	79.9	100.0	77.4	82.4
Área de pavimento	(m <sup>2</sup> )	79.9	100.0	77.4	82.4
Área de envolvente	(m <sup>2</sup> )	256	308	345	361
Volume	(m <sup>3</sup> )	216	270	418	445
FF=S/V	(m <sup>-1</sup> )	<b>1.19</b>	1.14	0.82	<b>0.81</b>

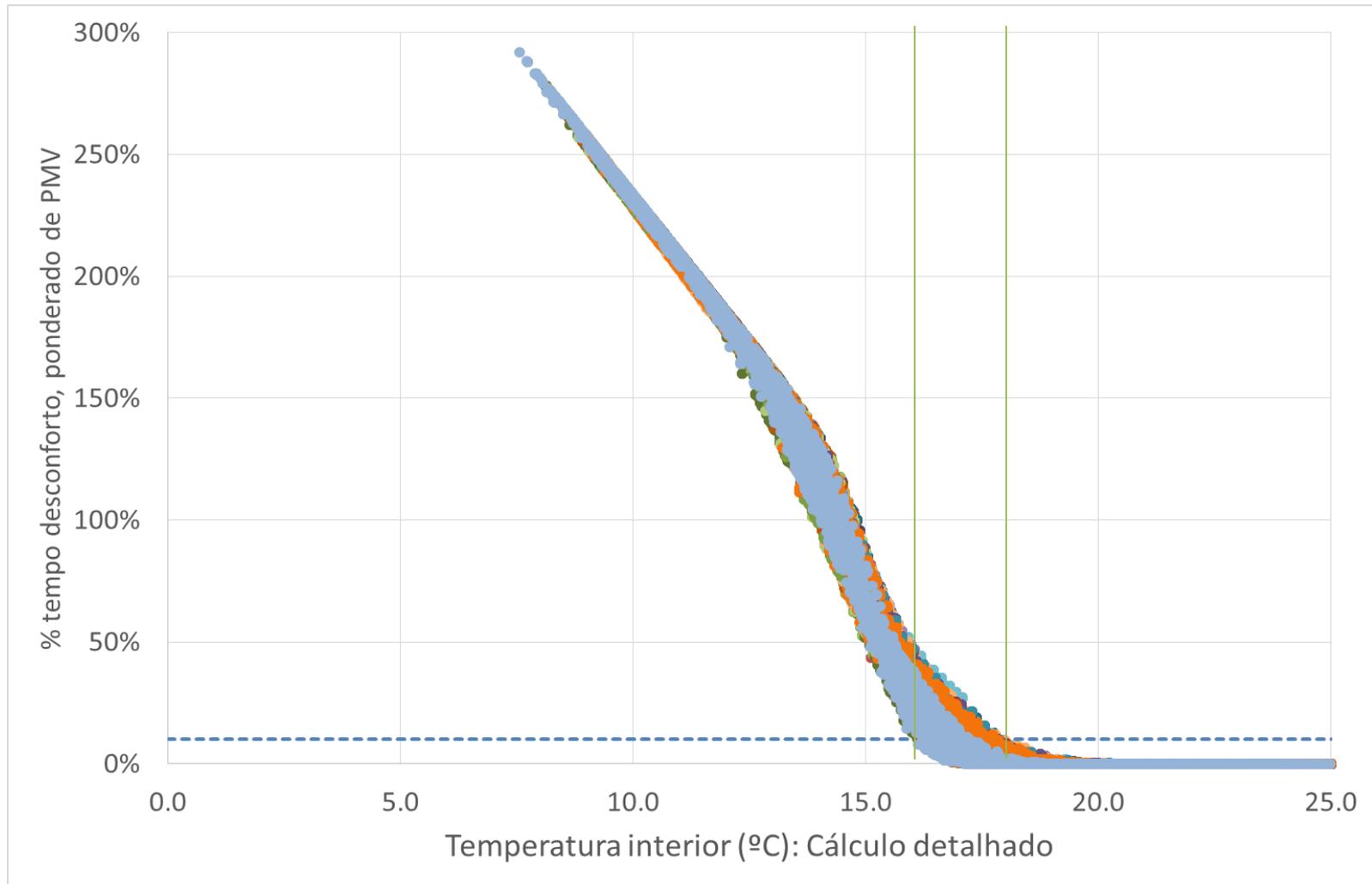
# Edifício de referência: Exemplo moradias e apartamentos



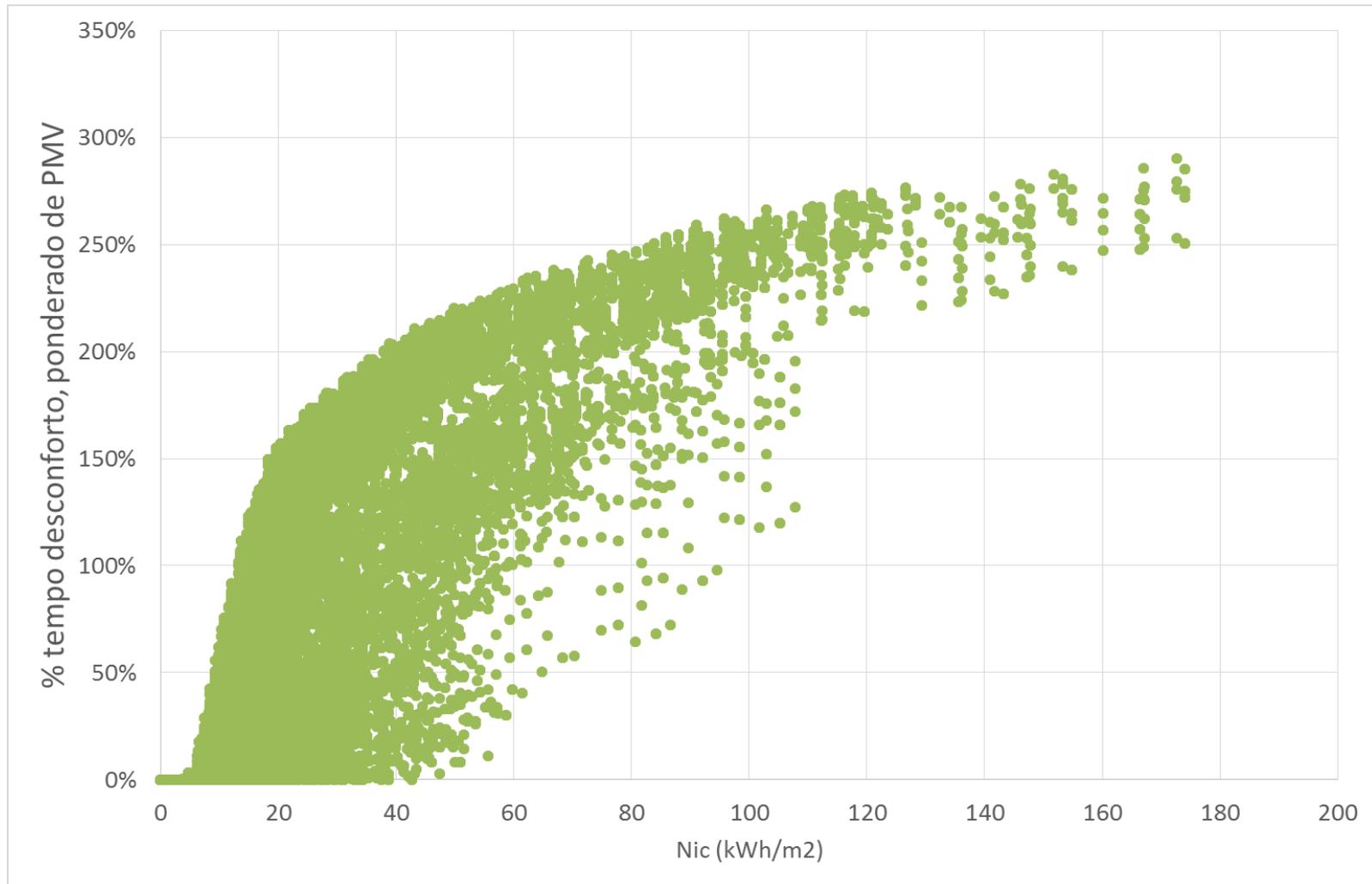
# Qualidade térmica da envolvente

		<1960	1961:1990	1991:2012	>2012, I1	>2012, I2	>2012, I3
$U_{\text{Parede}}$	W/(m <sup>2</sup> .K)	2.00	1.76	0.92	0.40	0.35	0.30
$U_{\text{Cobertura}}$	W/(m <sup>2</sup> .K)	2.80	2.80	0.94	0.35	0.30	0.25
$U_{\text{Pavimento}}$	W/(m <sup>2</sup> .K)	2.10	2.10	0.78	0.35	0.30	0.25
$U_{\text{Envidraçados}}$	W/(m <sup>2</sup> .K)	5.10	4.10	3.10	2.80	2.40	2.20
$g_{\text{vidro}}$	-	0.85	0.85	0.75	0.75	0.75	0.75
$g$	-	0.38	0.30	0.04	0.04	0.04	0.04
$R_{\text{ph}}$	(h <sup>-1</sup> )	0.5/0.6	0.4/0.6	0.4/0.6	0.4/0.6	0.4/0.6	0.4/0.6

### 3 - Resultados globais 645000 casos: Conforto e Temperatura



# Resultados globais 645000 casos: Conforto e Nec. Aquecimento



# Indicador do comportamento térmico passivo: Inverno

Habitação tem um comportamento térmico passivo satisfatório quanto o número de horas de desconforto estimado para o mês mais frio (janeiro) ponderado do desvio do voto médio previsto (PMV) não excede 10%, admitindo ocupantes com atividade sedentária durante o dia (1.2 met e 1.3 clo) e atividade do tipo sono durante a noite (0.7 met e 3.4 clo).

**Indicador do comportamento térmico passivo (inverno): Temperatura interior média do mês mais frio ( $T_i$ )**

- Fração é passiva se  $T_i \geq 18$  °C;
- Fração é fria se  $T_i \leq 16$  °C;
- Fração é ligeiramente confortável/desconfortável para valores entre 16 e 18°C.

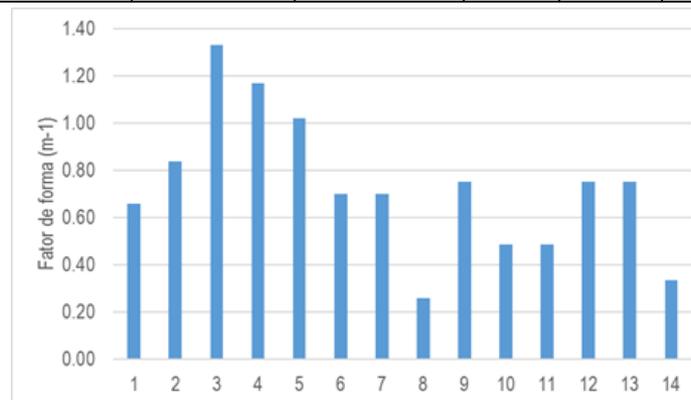
$$T_i = T_e + a \left( \frac{G}{H} \right)^b$$

Em que:

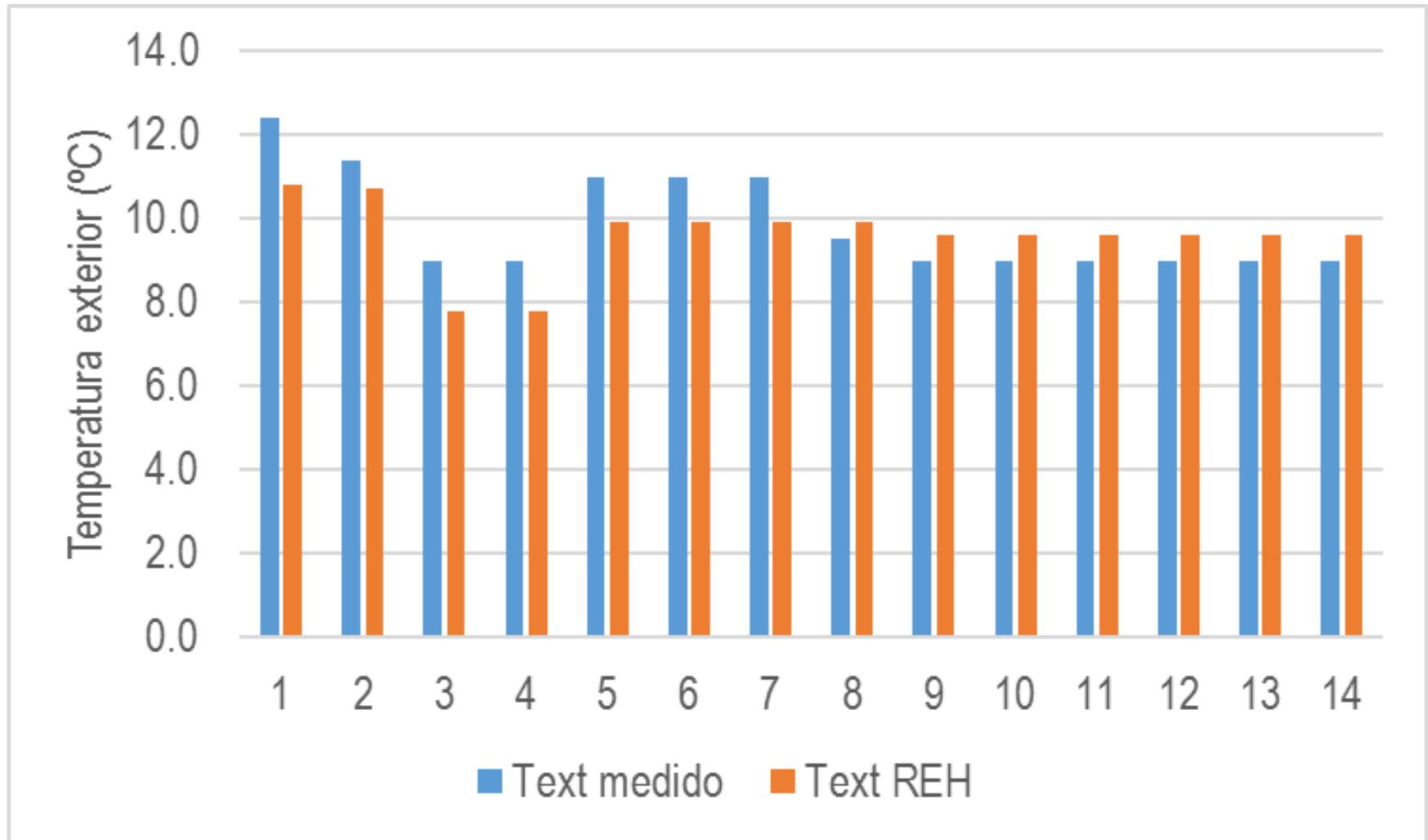
- $T_i$  – Temperatura interior média mensal (°C)
- $T_e$  – Temperatura exterior média mensal (°C)
- $G$  – Ganhos térmicos médios (ocupantes, equipamentos, solares, em W)
- $H$  – Coeficiente global de perdas térmicas (W/°C)

# Casos de estudo: Edifícios reais

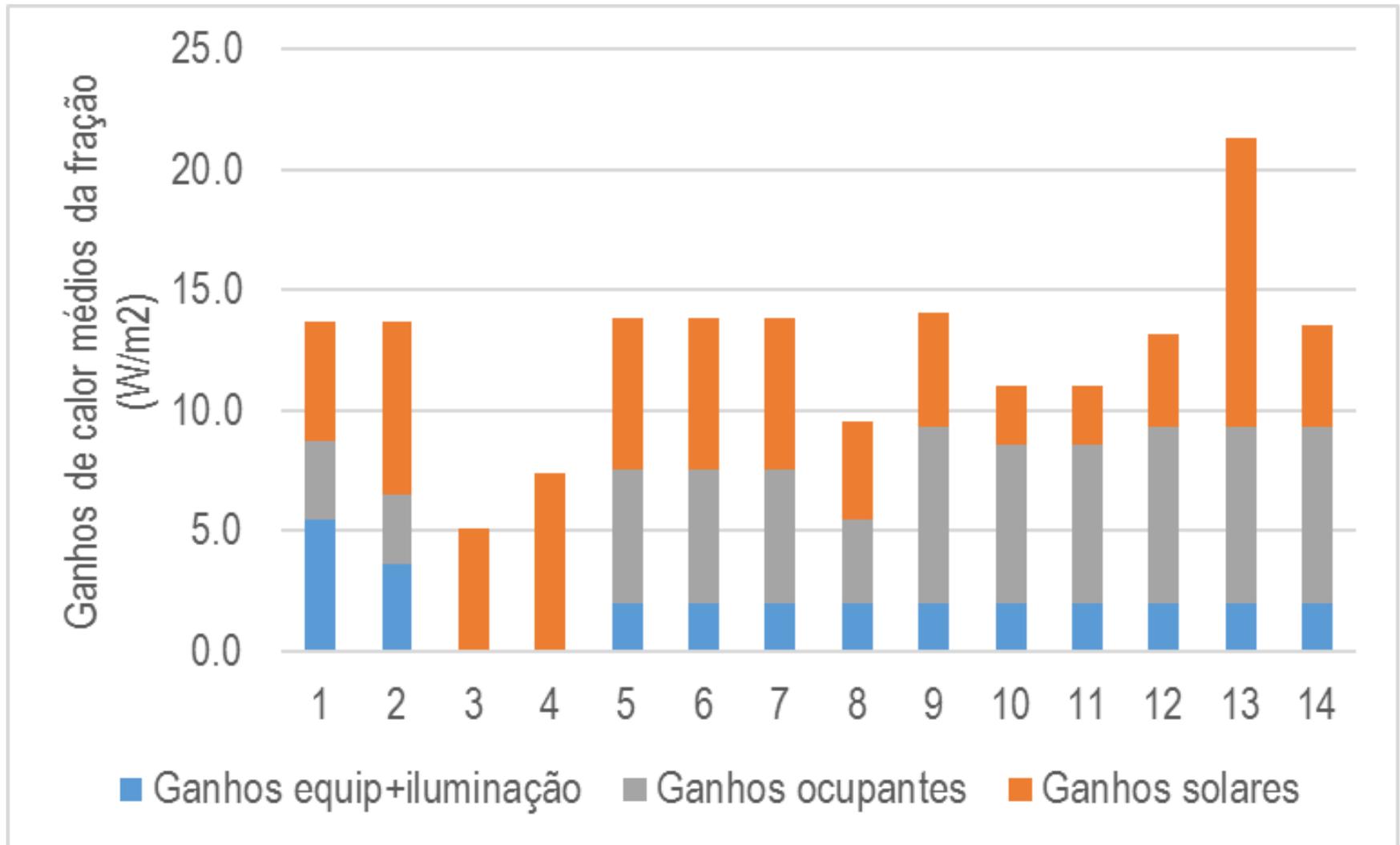
Caso	Localidade	Zona Climática	Tipologia	Ano	Orientação	FF m <sup>-1</sup>	Apav m <sup>2</sup>	Aw/Apav	Uopacos W/(m <sup>2</sup> .K)	Uw W/(m <sup>2</sup> .K)	Rph	Fonte
1	Lisboa	I1	Apartamento	2000	N/S	0.66	105.0	16%	0.96	3.10	0.70	Autor
2	Sobreda	I1	Moradia	Novo	NE/SW	0.84	226.6	25%	0.37	1.90	0.20	Autor
3	Revelhe	I2	Moradia	Reabilitado	E/W	1.33	65.7	26%	0.61	2.30	0.01	(Jerónimo, 2014)
4	Revelhe	I2	Moradia	Reabilitado	E/W	1.17	61.4	6%	1.33	2.30	0.01	
5	Porto	I1	Apartamento-Cobertura	Recente	NE/SW	1.02	60.1	17%	0.90	3.50	0.56	(Curado, 2014)
6	Porto	I1	Apartamento	Recente	NE/SW	0.70	60.1	17%	1.14	3.50	0.35	
7	Porto	I1	Apartamento	Recente	NE/SW	0.70	60.1	17%	1.14	3.50	0.69	
8	Matosinhos	I1	Apartamento	2003	S/N	0.26	63.0	12%	1.30	5.90	0.90	(LNEC, 2003)
9	Leiria	I2	Apartamento-Cobertura	1984-R	E/W	0.75	60.0	13%	0.60	3.00	0.60	(LNEC, 2012)
10	Leiria	I2	Apartamento	1984-R	E/W	0.49	50.0	13%	0.60	3.00	0.60	
11	Leiria	I2	Apartamento	1984-R	E/W	0.49	50.0	13%	0.60	3.00	0.60	
12	Leiria	I2	Apartamento-Cobertura	1984-R	E/W	0.75	60.0	13%	0.60	3.00	0.60	
13	Leiria	I2	Apartamento-Cobertura	1984	E/W	0.75	60.0	13%	2.64	3.90	0.70	
14	Leiria	I2	Apartamento	1984	E/W	0.34	60.0	13%	2.40	3.90	0.70	



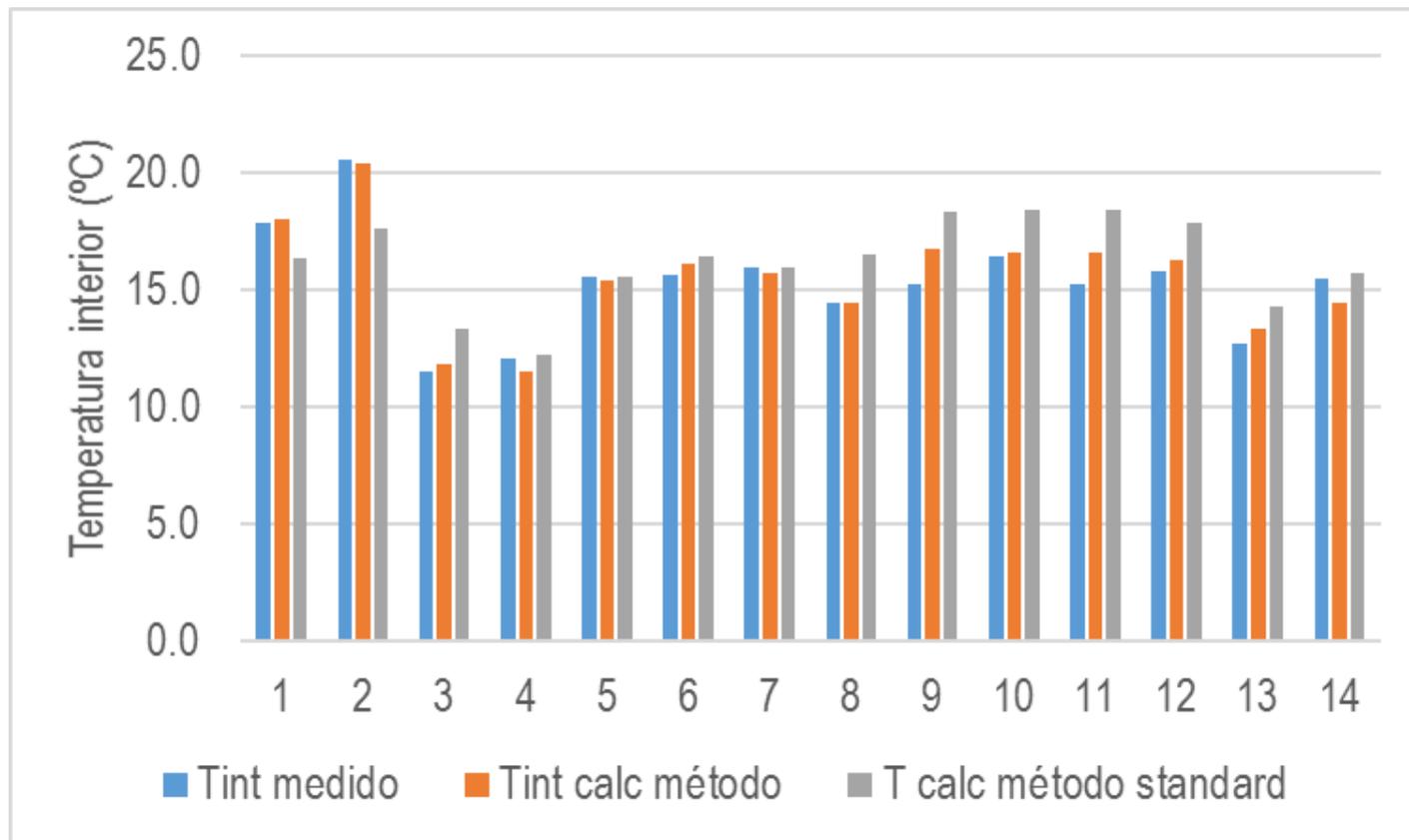
## Temperatura exterior durante os períodos de medição e valores regulamentares REH



## Ganhos de calor: Melhor informação disponível



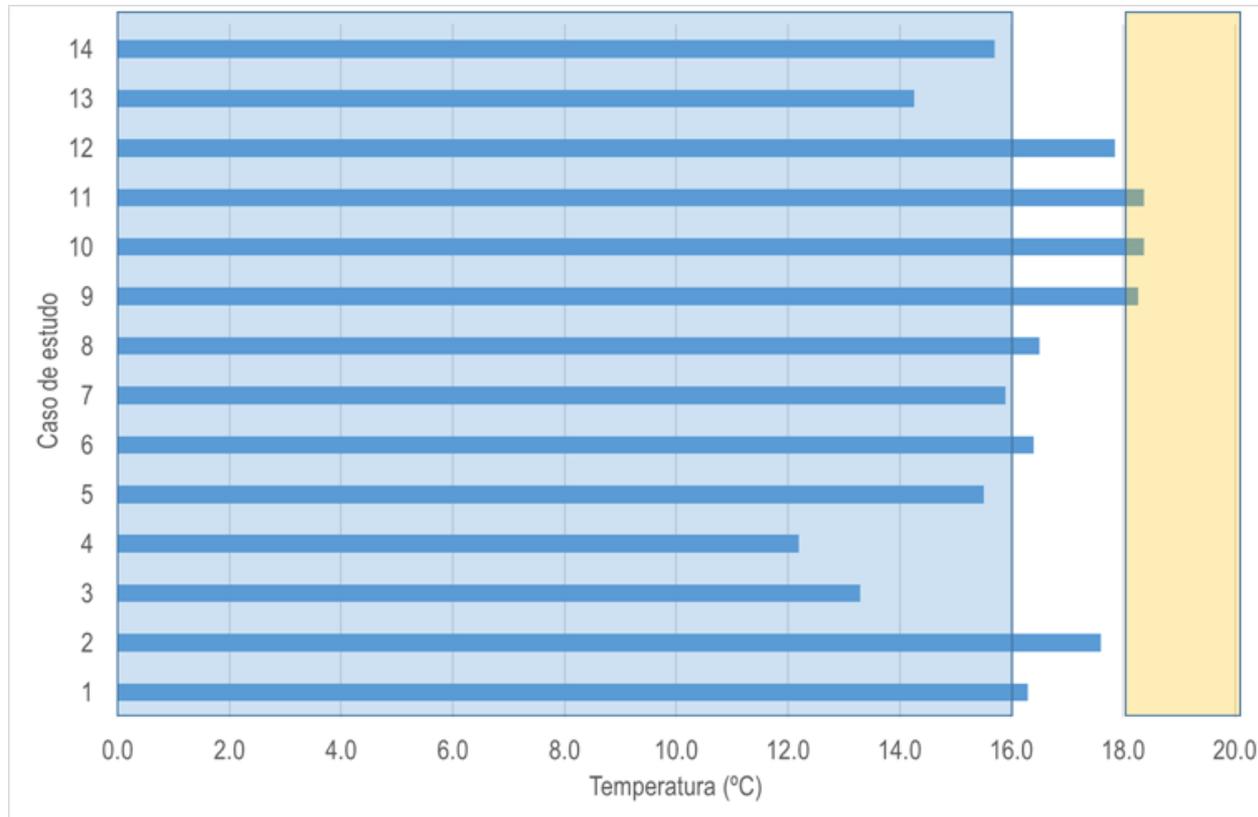
## Comparação dos valores da temperatura interior medidos e calculados



“Tint calc método” considera a melhor informação disponível.

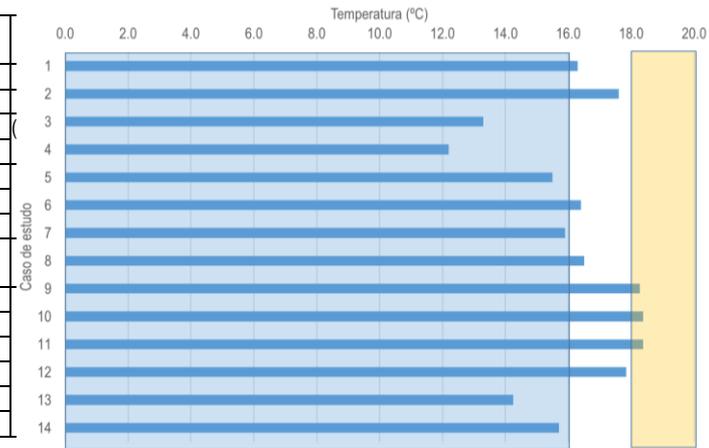
“Tcalc método standard”, considera ganhos térmicos internos, renovação do ar e temperatura exterior de referência.

# Indicador de comportamento térmico passivo: Apreciação



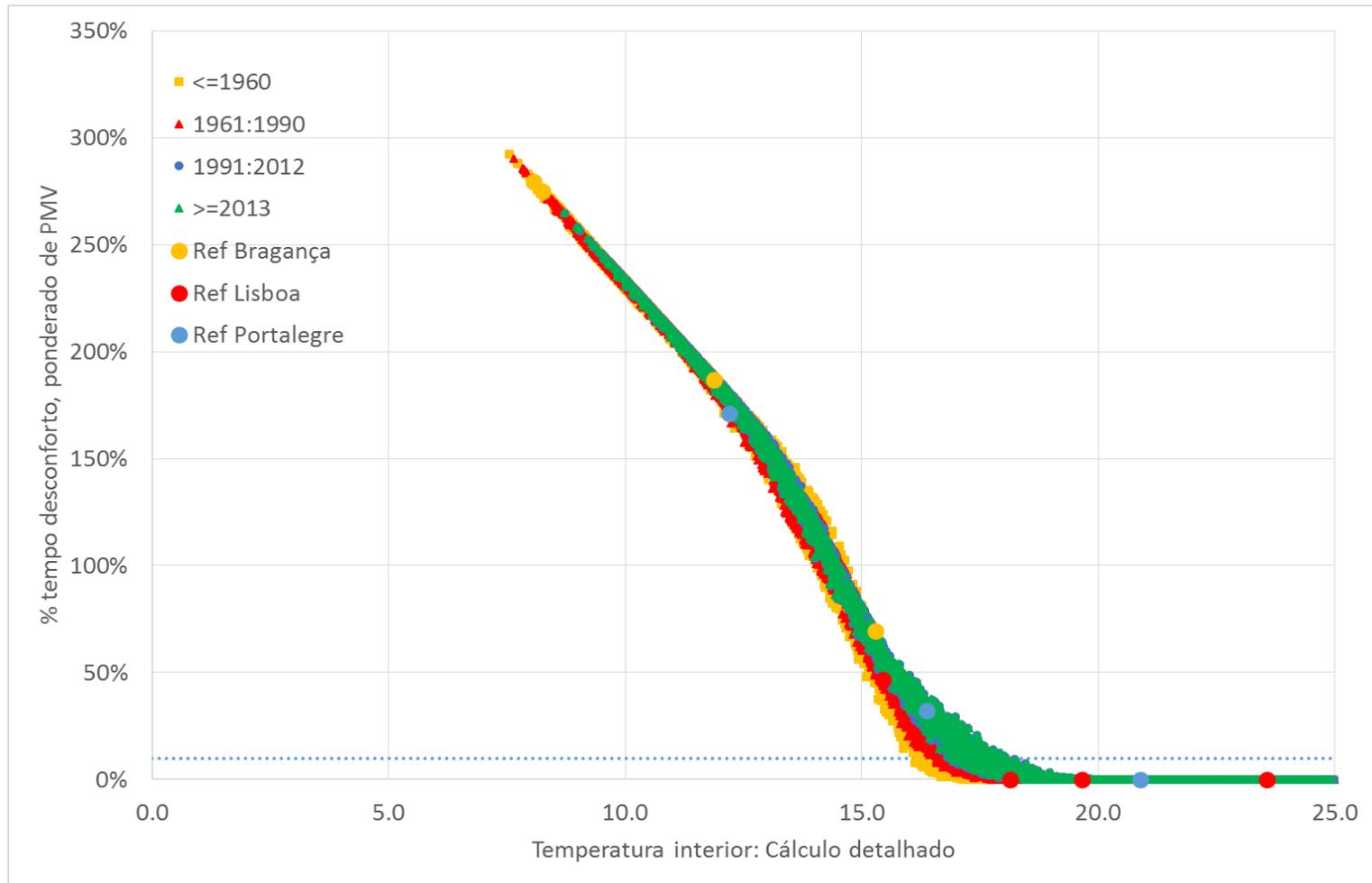
# Indicador de comportamento térmico passivo: Melhorias

Caso	Localidade	Zona Climática	Tipologia	Ano	Orientação	FF m <sup>-1</sup>	Apav m <sup>2</sup>	Aw/Apav	Uopacos W/(m <sup>2</sup> .K)	Uw W/(m <sup>2</sup> .K)	Rph
1	Lisboa	I1	Apartamento	2000	N/S	0.66	105.0	16%	0.96	3.10	0.70
2	Sobreda	I1	Moradia	Novo	NE/SW	0.84	226.6	25%	0.37	1.90	0.20
3	Revelhe	I2	Moradia	Reabilitado	E/W	1.33	65.7	26%	0.61	2.30	0.01
4	Revelhe	I2	Moradia	Reabilitado	E/W	1.17	61.4	6%	1.33	2.30	0.01
5	Porto	I1	Apartamento-Cobertura	Recente	NE/SW	1.02	60.1	17%	0.90	3.50	0.56
6	Porto	I1	Apartamento	Recente	NE/SW	0.70	60.1	17%	1.14	3.50	0.35
7	Porto	I1	Apartamento	Recente	NE/SW	0.70	60.1	17%	1.14	3.50	0.69
8	Matosinhos	I1	Apartamento	2003	S/N	0.26	63.0	12%	1.30	5.90	0.90
9	Leiria	I2	Apartamento-Cobertura	1984-R	E/W	0.75	60.0	13%	0.60	3.00	0.60
10	Leiria	I2	Apartamento	1984-R	E/W	0.49	50.0	13%	0.60	3.00	0.60
11	Leiria	I2	Apartamento	1984-R	E/W	0.49	50.0	13%	0.60	3.00	0.60
12	Leiria	I2	Apartamento-Cobertura	1984-R	E/W	0.75	60.0	13%	0.60	3.00	0.60
13	Leiria	I2	Apartamento-Cobertura	1984	E/W	0.75	60.0	13%	2.64	3.90	0.70
14	Leiria	I2	Apartamento	1984	E/W	0.34	60.0	13%	2.40	3.90	0.70

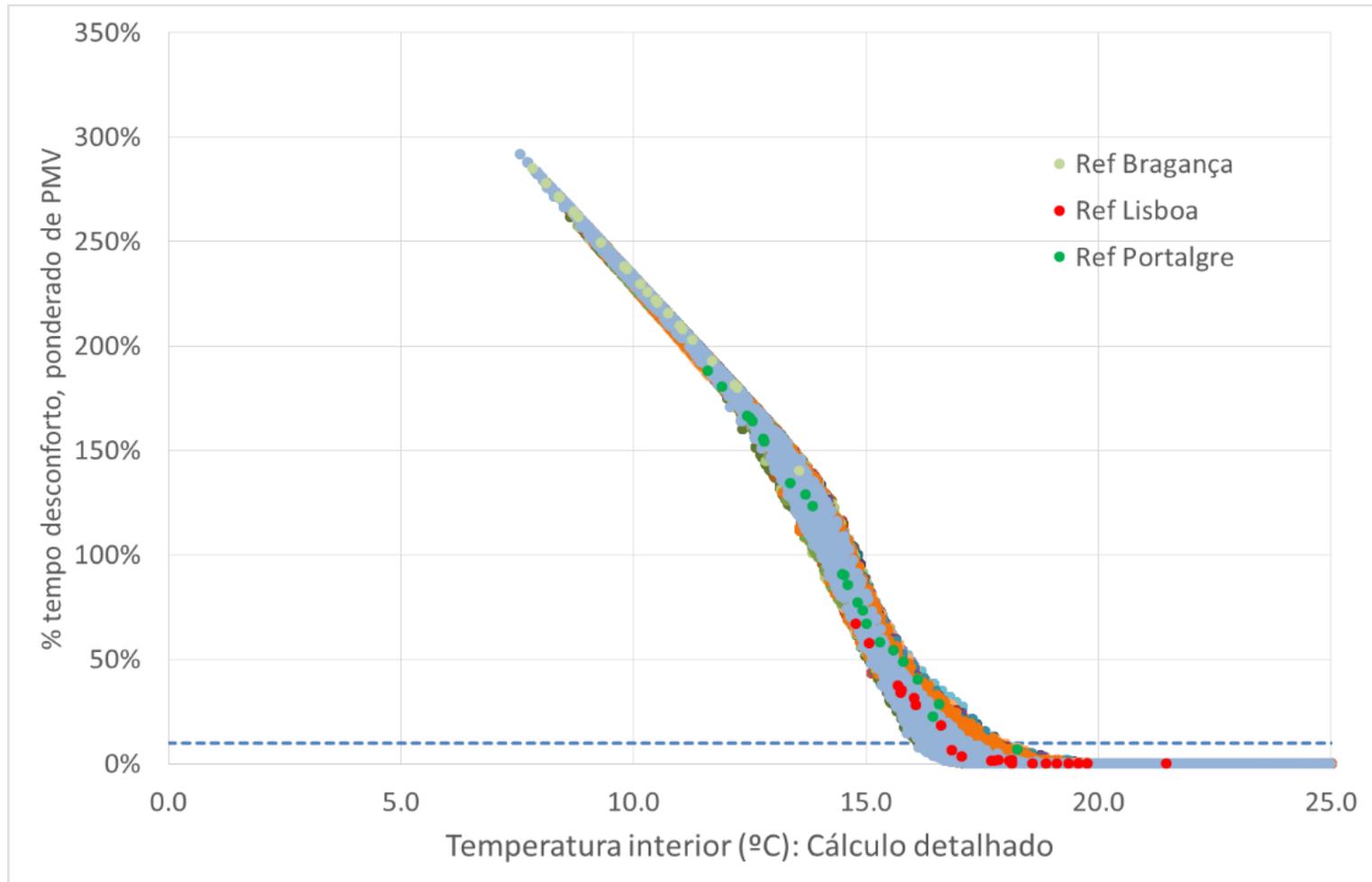


- Caso 1: Aumentar o fator solar dos vidros de 0.35 para 0.60 e reduzir a renovação de ar de 0.7h<sup>-1</sup> para 0.5 h<sup>-1</sup>
- Caso 2: Implementar um sistema de recuperação de calor no sistema de ventilação, dado o nível de isolamento térmico da envolvente já ser razoável e não ser fácil aumentar a exposição solar dos vãos envidraçados
- Casos 5, 6, 7 e 8: Incrementar o isolamento térmico das paredes de 1.3 para 0.4 W/(m<sup>2</sup>.K) e controlar os caudais de ventilação para um valor de 0.5 h<sup>-1</sup>.

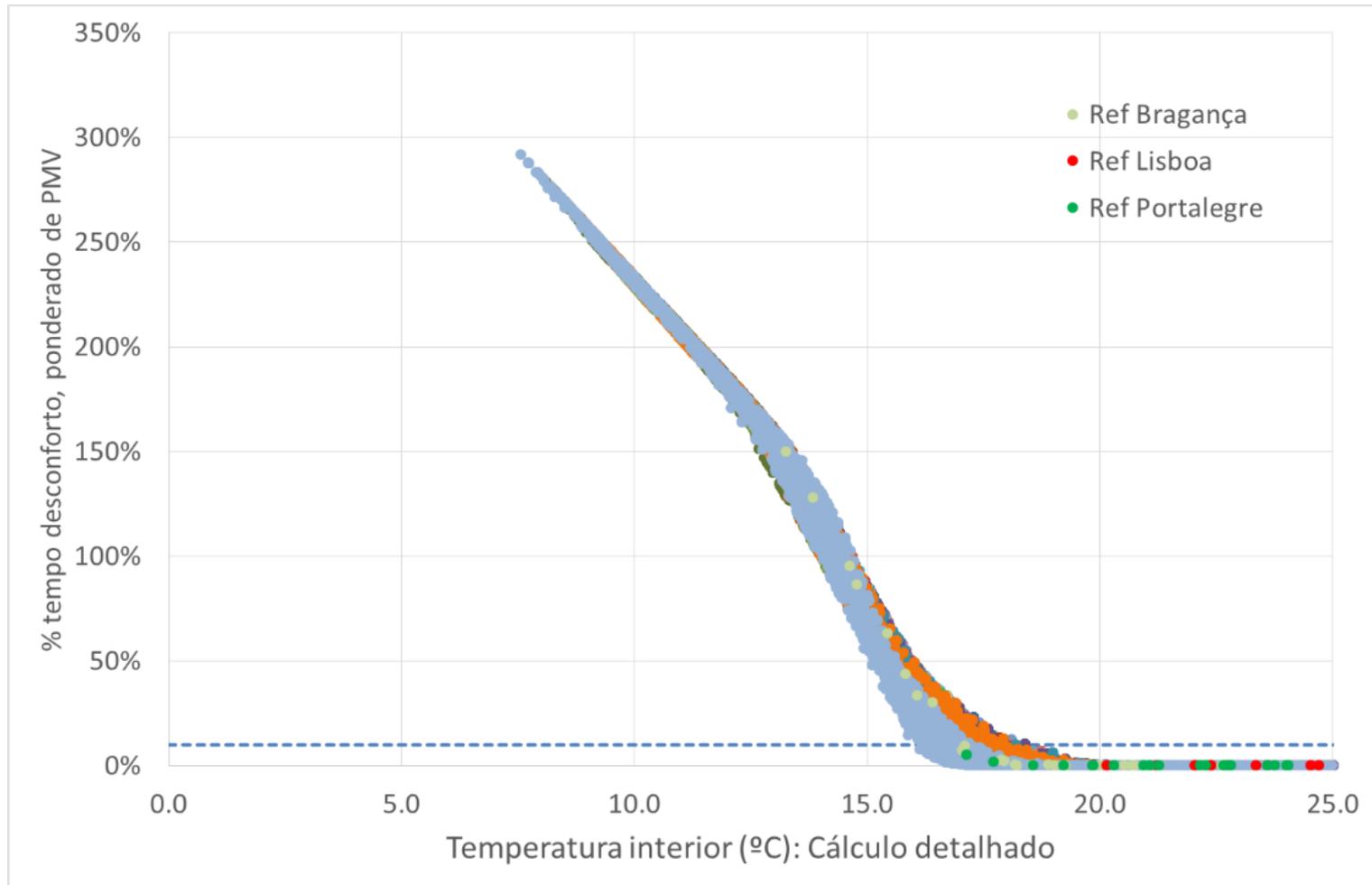
# Moradias



# Avaliação do comportamento passivo de apartamentos antes de 1960



# Avaliação do comportamento passivo de apartamentos novos



## 4 - Conclusões

- A temperatura interior média estimada para janeiro ( $T_i \sim T_e + G/H$ ), pode ser usada como indicador do comportamento térmico passivo:
  - $T_i \geq 18^\circ\text{C}$  indiciam % tempo desconforto, ponderado de PMV inferior a 10%
  - $T_i \leq 16^\circ\text{C}$  indiciam % tempo desconforto, ponderado de PMV superior a 10%
- O uso de  $N_{ic}$  para identificar edifícios passivos não se afigura tão razoável como a temperatura no mês mais frio:
  - Edifícios passivos  $N_{ic} < 5 \text{ kWh/m}^2$ !
  - $N_{ic}$  menores indiciam fração mais confortável
- Edifícios passivos:
  - Inércia forte, aproveitamento dos ganhos solares e isolamento térmico ajustado  $H(\text{W}/^\circ\text{C}) \sim G(\text{W}) / \Delta T (^\circ\text{C})$
  - Localidades mais frias (I3/I2), recuperação de calor no sistema de ventilação.

## 4 - Conclusões

- Na generalidade dos edifícios avaliados a temperatura interior é inferior a 15°C, configurando frações com baixo nível de conforto no inverno.
- Metodologia de avaliação do comportamento passivo permite estimar essa condição e apreciar medidas de melhoria.
- No caso de frações reabilitadas (janelas  $U_w=3.0$  e cerca de 5 cm de isolamento paredes e cobertura), frações compactas, caso exista um uso adequado das proteções solares e fontes de calor típicas de 4 W/m<sup>2</sup> é possível alcançar condições de conforto.
- Uso de sistemas de climatização em habitações passivas?

- Avaliar “conforto”:



- energia:



Obrigado pela atenção  
Armando Pinto  
apinto@lneec.pt