

# Verificação de formação de condensações

ISO 13788

1.- ZONA COMUM.....	3
1.1.- Paredes exteriores.....	3
1.1.1.- Parede Ext. Conv. Degradada.....	3
1.2.- Coberturas em contacto com o exterior.....	7
1.2.1.- Telhado Degradado.....	7
1.3.- Pavimentos térreos.....	20
1.3.1.- Laje Conv.....	20

# Verificação de formação de condensações

## 1.- ZONA COMUM

### 1.1.- Paredes exteriores

#### 1.1.1.- Parede Ext. Conv. Degradada

##### 1.1.1.1.- Resultados do cálculo de condensações

###### 1.1.1.1.1.- Condensação superficial

$$f_{R_{si}} = 0.819 \quad f_{R_{si},min} = 0.688$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{R_{si}}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.725 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{R_{si},min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr}$  é 0.8.

###### 1.1.1.1.2.- Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

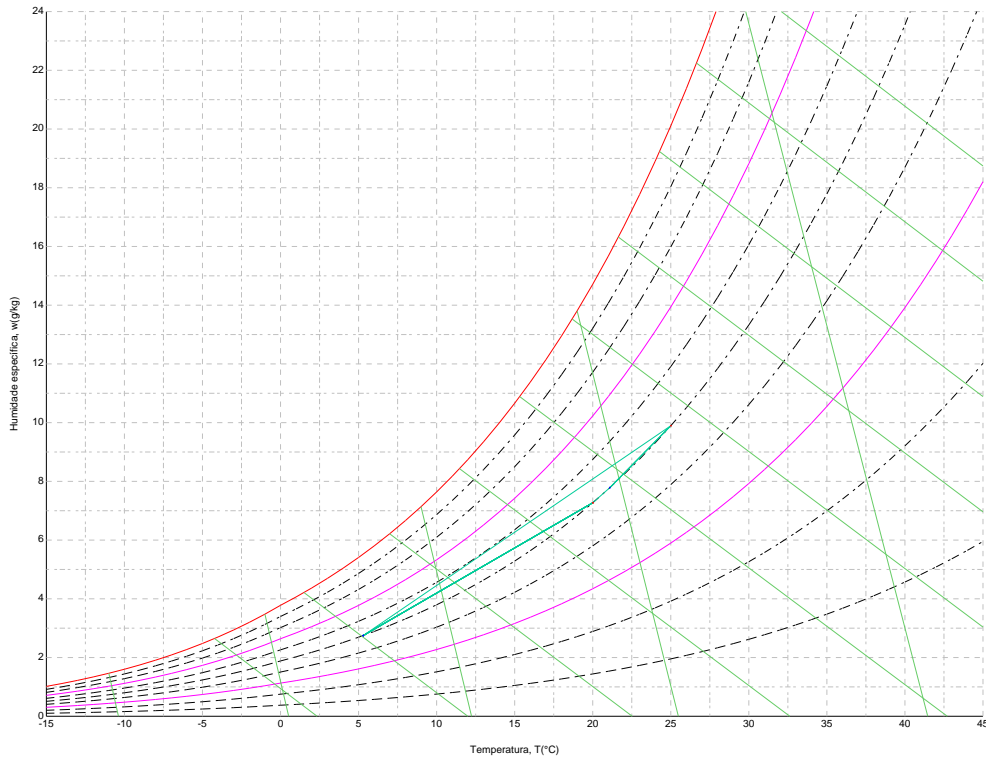
###### 1.1.1.2.- Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	5.3	5.3	5.3	5.3	21.1	21.1	21.1	21.1	5.3	5.3	5.3	5.3
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°C)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	25.0	25.0	25.0	25.0	20.0	20.0	20.0
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 10 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.

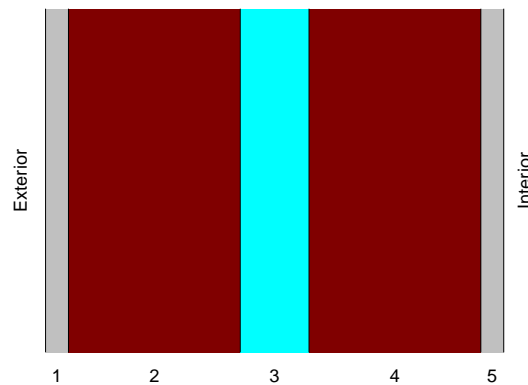
# Verificação de formação de condensações



Produzido por uma versão Educativa de CYPE

## 1.1.3.- Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogêneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

Parede Ext. Conv. Degradada		e (cm)	l (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
<b>R<sub>se</sub></b>				0.04		
1	Argamassa e reboco tradicional	2.0	1.300	0.01538	1	2
2	Tijolo cerâmico furado (15 cm)	15.0	0.385	0.38961	1	15
3	Poliestireno extrudido (XPS) Degradado	6.0		0.40000		0.01
4	Tijolo cerâmico furado (15 cm)	15.0	0.385	0.38961	1	15
5	Argamassa e reboco tradicional	2.0	1.300	0.01538	1	2
<b>R<sub>si</sub></b>				0.13		

onde:

- e: Espessura, cm.
- l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).
- R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

## Verificação de formação de condensações

- m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.  
 $S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.  
 $R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .  
 $R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	40.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	1.3800
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	34.01
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.725
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.819

onde:

- $E_T$ : Espessura total do elemento, cm.  
 $R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .  
 $S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.  
U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .  
 $f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.725 W/m^2 \cdot K$  e  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

### 1.1.4.- Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{Rsi,min}$  fica da seguinte forma:

	$q_e$ ( $^{\circ}C$ )	$j_e$ (%)	$q_i$ ( $^{\circ}C$ )	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ ( $^{\circ}C$ )	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Fevereiro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Março	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Abril	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Mai	21.1	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	--*
Junho	21.1	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.000
Julho	21.1	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.000
Agosto	21.1	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.000
Setembro	5.3	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.688
Outubro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Novembro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Dezembro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598

\*: Não existe risco de formação de condensações superficiais no paramento interior, já que  $q_e \geq q_i$ .

onde:

- $q_e$ : Temperatura do ar exterior,  $^{\circ}C$ .  
 $j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.  
 $q_i$ : Temperatura do ar interior,  $^{\circ}C$ .  
 $j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.  
 $P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.  
 $P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.  
 $q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável,  $^{\circ}C$ .  
 $f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.819 > f_{Rsi,min} = 0.688$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

# Verificação de formação de condensações

## 1.1.1.5.- Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogêneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Parede Ext. Conv. Degradada	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	5.30	890.291	445.145	50.0		
Face exterior	5.73	917.052	445.145	48.5	--	--
Interface 1-2	5.89	927.532	487.682	52.6	--	--
Interface 2-3	10.04	1230.620	806.704	65.6	--	--
Interface 3-4	14.30	1629.217	806.917	49.5	--	--
Interface 4-5	18.45	2122.097	1125.939	53.1	--	--
Face interior	18.62	2143.984	1168.476	54.5	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j: Humidade relativa, %.

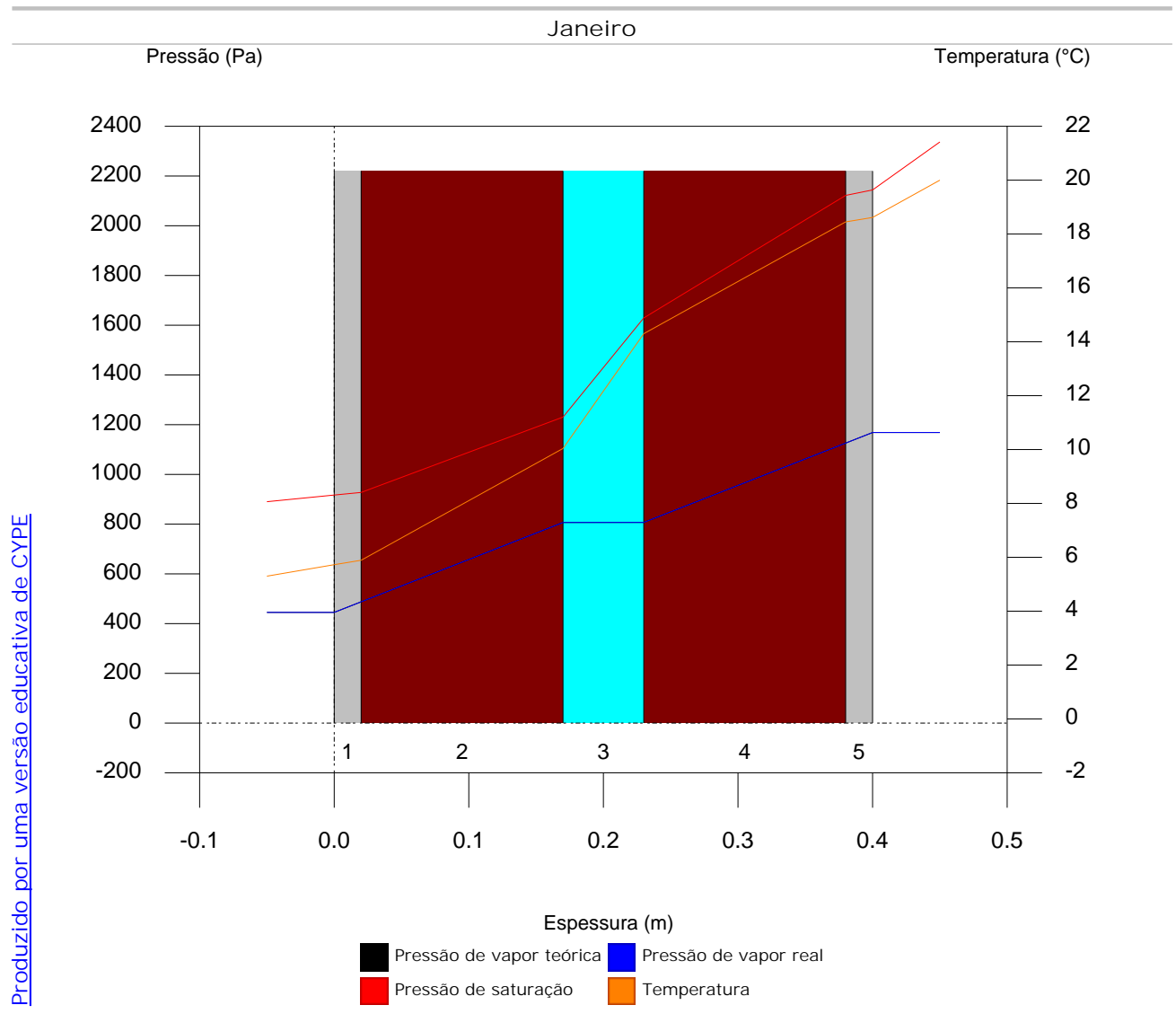
g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

# Verificação de formação de condensações

## 1.1.1.6.- Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## 1.2.- Coberturas em contacto com o exterior

### 1.2.1.- Telhado Degradado

#### 1.2.1.1.- Resultados do cálculo de condensações

##### 1.2.1.1.1.- Condensação superficial

$$f_{R_{Si}} = 0.868 \quad f_{R_{Si, \min}} = 0.688$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{R_{Si}}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.530 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{R_{Si, \min}}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si, cr} \leq 0.8$ .

##### 1.2.1.1.2.- Condensação intersticial

O elemento construtivo apresenta condensações intersticiais nos meses de: setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril. No entanto, a quantidade de condensação acumulada em cada período anual não é superior à quantidade de evaporação possível no mesmo período.

# Verificação de formação de condensações

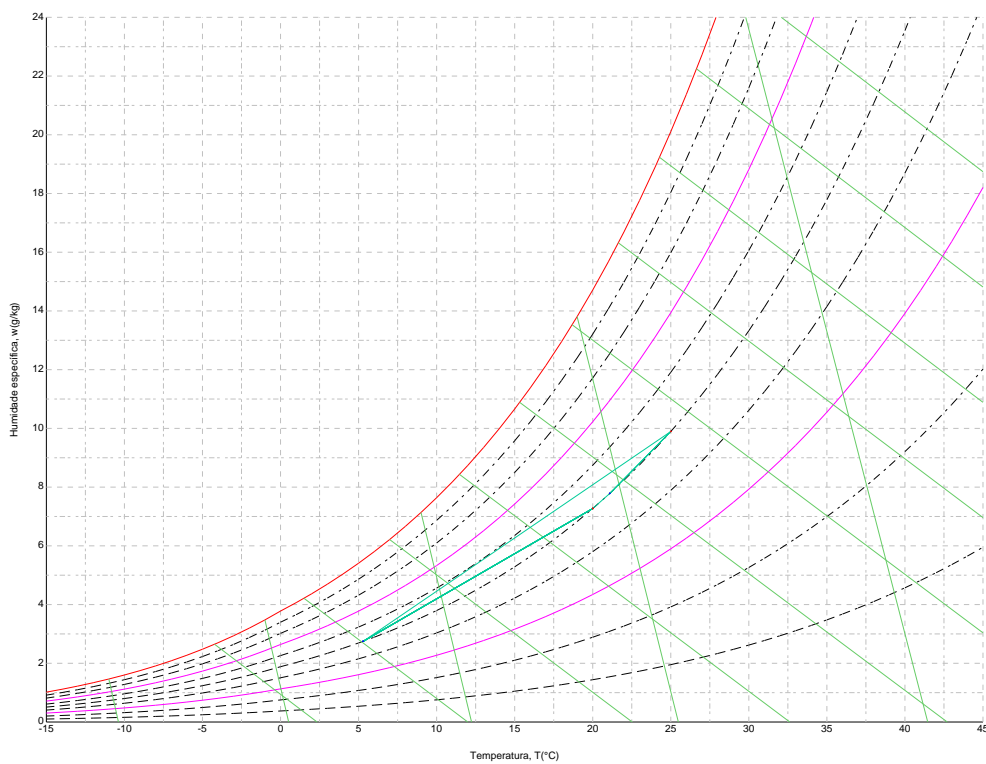
## 1.2.1.2.- Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	5.3	5.3	5.3	5.3	21.1	21.1	21.1	21.1	5.3	5.3	5.3	5.3
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°C)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	25.0	25.0	25.0	25.0	20.0	20.0	20.0
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

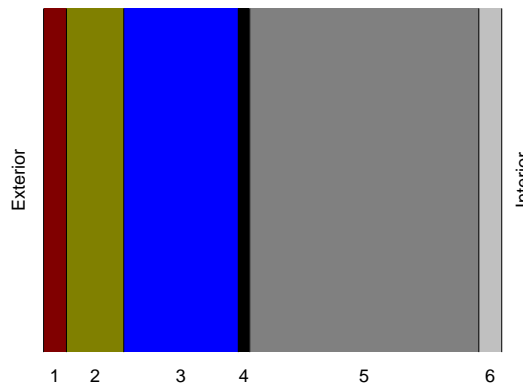
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 10 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.

Produzido por uma versão educativa de CYPE



## 1.2.1.3.- Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de

## Verificação de formação de condensações

faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

Telhado Degradado		e (cm)	l (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>a</sub> (m)
R <sub>se</sub>				0.04		
1	Telha	2.0	1.000	0.02000	30	60
2	Madeira densa	5.0	0.230	0.21739	1	5
3	Poliestireno extrudido (XPS) Degradado	10.0		1.35135		0.01
4	Membranas flexíveis impregnadas com betume	1.0	0.230	0.04348	1	1
5	Betão armado com % armadura < 1 %	20.0	2.000	0.10000	1	20
6	Argamassa e reboco tradicional	2.0	1.300	0.01538	1	2
R <sub>si</sub>				0.10		

onde:

- e: Espessura, cm.  
 l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).  
 R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.  
 m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.  
 S<sub>a</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.  
 R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.  
 R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e <sub>T</sub>	cm	40.0
Resistência térmica total, R <sub>T</sub>	m <sup>2</sup> ·K/W	1.8876
Espessura de ar equivalente total, S <sub>d,T</sub>	m	88.01
Transmitância térmica, U	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0.530
Factor de resistência superficial interior, f <sub>Rsi</sub>	--	0.868

onde:

- E<sub>T</sub>: Espessura total do elemento, cm.  
 R<sub>T</sub>: Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais R<sub>se</sub> e R<sub>si</sub>, m<sup>2</sup>·K/W.  
 S<sub>d,T</sub>: Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.  
 U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).  
 f<sub>Rsi</sub>: Factor de resistência superficial interior, calculado como (1 - U·R<sub>si</sub>), em que U = 0.530 W/m<sup>2</sup>·K e R<sub>si</sub> = 0.25 m<sup>2</sup>·K/W.

### 1.2.1.4.- Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de j<sub>si,cr</sub> £ 0.8 .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de f<sub>Rsi,min</sub> fica da seguinte forma:

	q <sub>e</sub> (°C)	j <sub>e</sub> (%)	q <sub>i</sub> (°C)	j <sub>i</sub> (%)	P <sub>i</sub> (Pa)	P <sub>sat</sub> (q <sub>si</sub> ) (Pa)	q <sub>si,min</sub> (°C)	f <sub>Rsi,min</sub>
Janeiro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Fevereiro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Março	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Abril	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Mai	21.1	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	--*
Junho	21.1	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.000
Julho	21.1	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.000
Agosto	21.1	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.000
Setembro	5.3	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.688

## Verificação de formação de condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Outubro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Novembro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Dezembro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598

\*: Não existe risco de formação de condensações superficiais no paramento interior, já que  $q_e \geq q_i$ .

onde:

- $q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.
- $j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.
- $q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.
- $j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.
- $P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.
- $P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.
- $q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.
- $f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.868 > f_{Rsi,min} = 0.688$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.2.1.5.- Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Telhado Degradado	$q$ (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	$j$ (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> .mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	5.30	890.291	445.145	50.0		
Face exterior	5.61	909.787	445.145	48.9	--	--
Interface 1-2	5.77	919.675	919.675	100.0	0.522	14.125
Interface 2-3	7.46	1033.424	964.088	93.3	--	--
Interface 3-4	17.98	2060.765	964.176	46.8	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.051	973.059	46.2	--	--
Interface 5-6	19.10	2210.085	1150.710	52.1	--	--
Face interior	19.22	2226.645	1168.476	52.5	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

- $q$ : Temperatura, °C.
- $P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.
- $P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.
- $j$ : Humidade relativa, %.
- $g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).
- $M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

## Verificação de formação de condensações

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Fevereiro.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> .mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	5.30	890.291	445.145	50.0		
Face exterior	5.61	909.787	445.145	48.9	--	--
Interface 1-2	5.77	919.675	919.675	100.0	0.471	14.596
Interface 2-3	7.46	1033.424	964.088	93.3	--	--
Interface 3-4	17.98	2060.765	964.176	46.8	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.051	973.059	46.2	--	--
Interface 5-6	19.10	2210.085	1150.710	52.1	--	--
Face interior	19.22	2226.645	1168.476	52.5	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

- q: Temperatura, °C.
- P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.
- P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.
- j: Humidade relativa, %.
- g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).
- M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Fevereiro)

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Março.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> .mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	5.30	890.291	445.145	50.0		
Face exterior	5.61	909.787	445.145	48.9	--	--
Interface 1-2	5.77	919.675	919.675	100.0	0.522	15.118
Interface 2-3	7.46	1033.424	964.088	93.3	--	--
Interface 3-4	17.98	2060.765	964.176	46.8	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.051	973.059	46.2	--	--
Interface 5-6	19.10	2210.085	1150.710	52.1	--	--
Face interior	19.22	2226.645	1168.476	52.5	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

- q: Temperatura, °C.
- P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.
- P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.
- j: Humidade relativa, %.
- g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).
- M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Março)

Produzido por uma empresa educativa de CYPE

## Verificação de formação de condensações

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Abril.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	5.30	890.291	445.145	50.0		
Face exterior	5.61	909.787	445.145	48.9	--	--
Interface 1-2	5.77	919.675	919.675	100.0	0.505	15.623
Interface 2-3	7.46	1033.424	964.088	93.3	--	--
Interface 3-4	17.98	2060.765	964.176	46.8	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.051	973.059	46.2	--	--
Interface 5-6	19.10	2210.085	1150.710	52.1	--	--
Face interior	19.22	2226.645	1168.476	52.5	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j: Humidade relativa, %.

g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Abril)

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Maio.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	21.10	2500.889	1250.445	50.0		
Face exterior	21.08	2497.314	1250.445	50.1	--	--
Interface 1-2	21.07	2495.528	2495.528	100.0	-15.623	--
Interface 2-3	20.94	2476.186	2258.639	91.2	--	--
Interface 3-4	20.15	2358.862	2258.165	95.7	--	--
Interface 4-5	20.13	2355.169	2210.787	93.9	--	--
Interface 5-6	20.07	2346.696	1263.231	53.8	--	--
Face interior	20.06	2345.394	1168.476	49.8	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j: Humidade relativa, %.

g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Maio)

Produção por um curso de educação de CYPE

## Verificação de formação de condensações

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Junho.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> .mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	21.10	2500.889	1250.445	50.0		
Face exterior	21.18	2513.603	1250.445	49.7	--	--
Interface 1-2	21.22	2519.980	1477.134	58.6	--	--
Interface 2-3	21.67	2590.220	1496.025	57.8	--	--
Interface 3-4	24.47	3066.456	1496.063	48.8	--	--
Interface 4-5	24.55	3082.969	1499.841	48.6	--	--
Interface 5-6	24.76	3121.243	1575.404	50.5	--	--
Face interior	24.79	3127.168	1582.960	50.6	--	--
Ar interior	25.00	3165.920	1582.960	50.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j: Humidade relativa, %.

g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Junho)

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Julho.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> .mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	21.10	2500.889	1250.445	50.0		
Face exterior	21.18	2513.603	1250.445	49.7	--	--
Interface 1-2	21.22	2519.980	1477.134	58.6	--	--
Interface 2-3	21.67	2590.220	1496.025	57.8	--	--
Interface 3-4	24.47	3066.456	1496.063	48.8	--	--
Interface 4-5	24.55	3082.969	1499.841	48.6	--	--
Interface 5-6	24.76	3121.243	1575.404	50.5	--	--
Face interior	24.79	3127.168	1582.960	50.6	--	--
Ar interior	25.00	3165.920	1582.960	50.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j: Humidade relativa, %.

g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Julho)

Prozudo por uniaesio educatia de CYPE

## Verificação de formação de condensações

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Agosto.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	21.10	2500.889	1250.445	50.0		
Face exterior	21.18	2513.603	1250.445	49.7	--	--
Interface 1-2	21.22	2519.980	1477.134	58.6	--	--
Interface 2-3	21.67	2590.220	1496.025	57.8	--	--
Interface 3-4	24.47	3066.456	1496.063	48.8	--	--
Interface 4-5	24.55	3082.969	1499.841	48.6	--	--
Interface 5-6	24.76	3121.243	1575.404	50.5	--	--
Face interior	24.79	3127.168	1582.960	50.6	--	--
Ar interior	25.00	3165.920	1582.960	50.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j: Humidade relativa, %.

g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Agosto)

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Setembro.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	5.30	890.291	445.145	50.0		
Face exterior	5.72	916.503	445.145	48.6	--	--
Interface 1-2	5.93	929.862	929.862	100.0	12.055	12.055
Interface 2-3	8.19	1086.529	1086.529	100.0	--	--
Interface 3-4	22.30	2690.845	1086.745	40.4	--	--
Interface 4-5	22.75	2765.993	1108.320	40.1	--	--
Interface 5-6	23.80	2945.822	1539.811	52.3	--	--
Face interior	23.96	2974.374	1582.960	53.2	--	--
Ar interior	25.00	3165.920	1582.960	50.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j: Humidade relativa, %.

g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Setembro)

Produzido por uma empresa de educação de CYPE

## Verificação de formação de condensações

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Outubro.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> .mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	5.30	890.291	445.145	50.0		
Face exterior	5.61	909.787	445.145	48.9	--	--
Interface 1-2	5.77	919.675	919.675	100.0	0.522	12.577
Interface 2-3	7.46	1033.424	964.088	93.3	--	--
Interface 3-4	17.98	2060.765	964.176	46.8	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.051	973.059	46.2	--	--
Interface 5-6	19.10	2210.085	1150.710	52.1	--	--
Face interior	19.22	2226.645	1168.476	52.5	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

- q: Temperatura, °C.
- P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.
- P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.
- j: Humidade relativa, %.
- g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).
- M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Outubro)

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Novembro.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> .mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	5.30	890.291	445.145	50.0		
Face exterior	5.61	909.787	445.145	48.9	--	--
Interface 1-2	5.77	919.675	919.675	100.0	0.505	13.082
Interface 2-3	7.46	1033.424	964.088	93.3	--	--
Interface 3-4	17.98	2060.765	964.176	46.8	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.051	973.059	46.2	--	--
Interface 5-6	19.10	2210.085	1150.710	52.1	--	--
Face interior	19.22	2226.645	1168.476	52.5	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

- q: Temperatura, °C.
- P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.
- P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.
- j: Humidade relativa, %.
- g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).
- M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Novembro)

Produzido por uma empresa de educação de CYPE

## Verificação de formação de condensações

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Dezembro.

Telhado Degradado	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	5.30	890.291	445.145	50.0		
Face exterior	5.61	909.787	445.145	48.9	--	--
Interface 1-2	5.77	919.675	919.675	100.0	0.522	13.603
Interface 2-3	7.46	1033.424	964.088	93.3	--	--
Interface 3-4	17.98	2060.765	964.176	46.8	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.051	973.059	46.2	--	--
Interface 5-6	19.10	2210.085	1150.710	52.1	--	--
Face interior	19.22	2226.645	1168.476	52.5	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j: Humidade relativa, %.

g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Dezembro)

Evolução anual da condensação acumulada.

Apresentam-se seguidamente as quantidades totais de água condensada no elemento construtivo para cada situação de cálculo, assim como a evolução da humidade acumulada ao longo do ano.

O primeiro mês com condensações em alguma interface é setembro, apesar da quantidade neta anual ser nula, por produzir-se a evaporação suficiente nos meses seguintes.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evolução da quantidade de água condensada.												
g <sub>c</sub> g/(m <sup>2</sup> ·mês)	0.522	0.471	0.522	0.505	--	--	--	--	12.055	0.522	0.505	0.522
g <sub>ev</sub> g/(m <sup>2</sup> ·mês)	--	--	--	--	15.623	--	--	--	--	--	--	--
M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )	14.125	14.596	15.118	15.623	--	--	--	--	12.055	12.577	13.082	13.603

onde:

g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

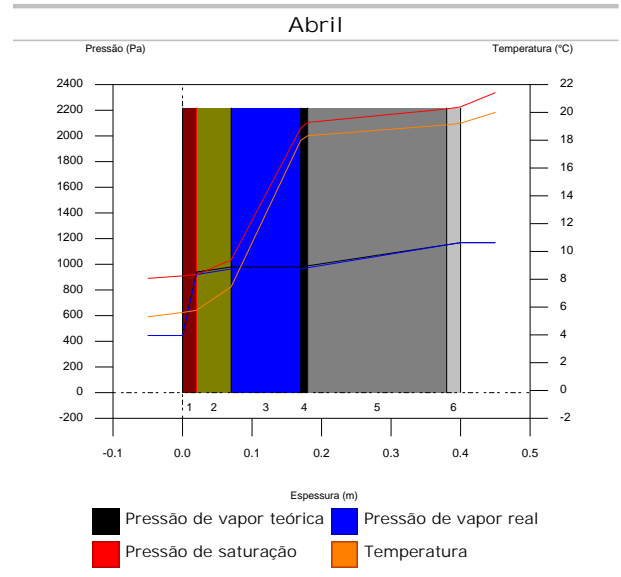
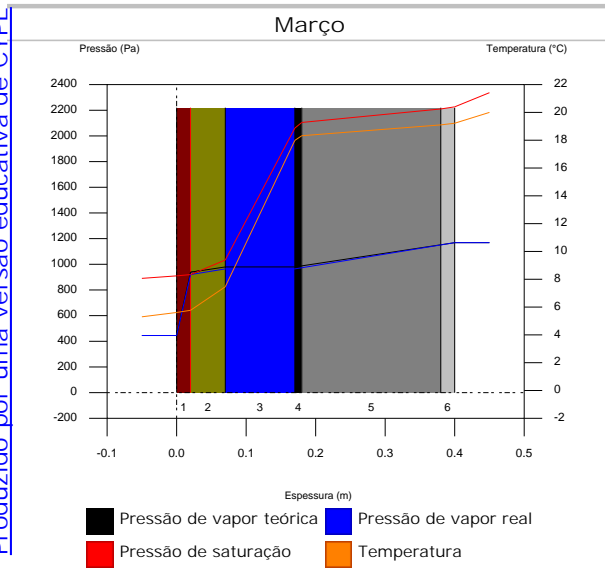
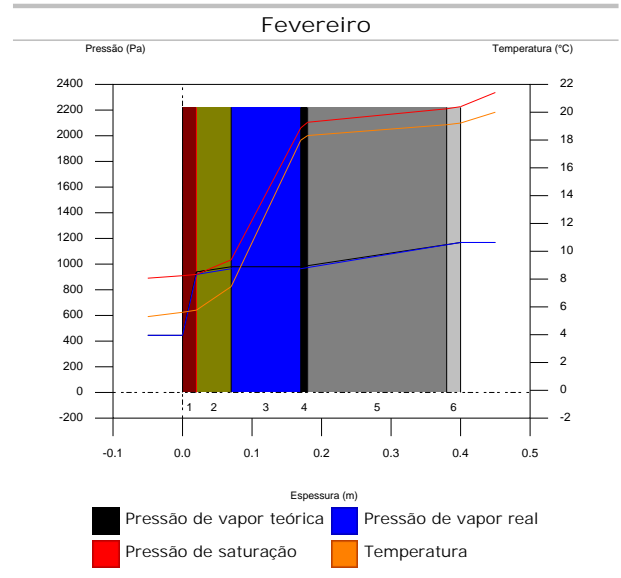
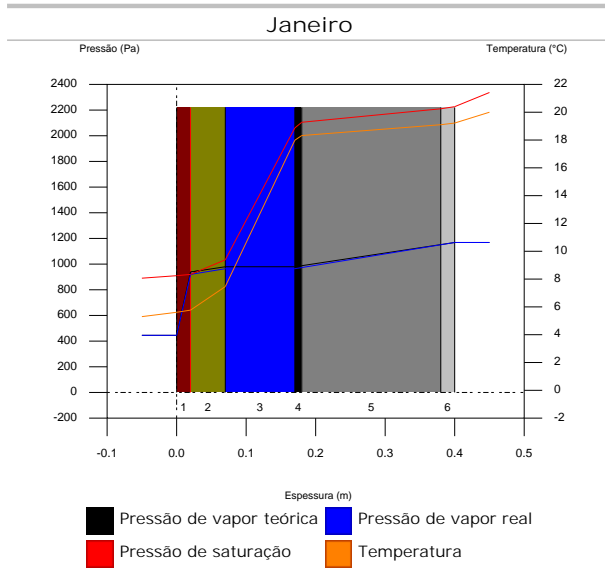
g<sub>ev</sub>: Densidade de fluxo de evaporação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Condensação acumulada)

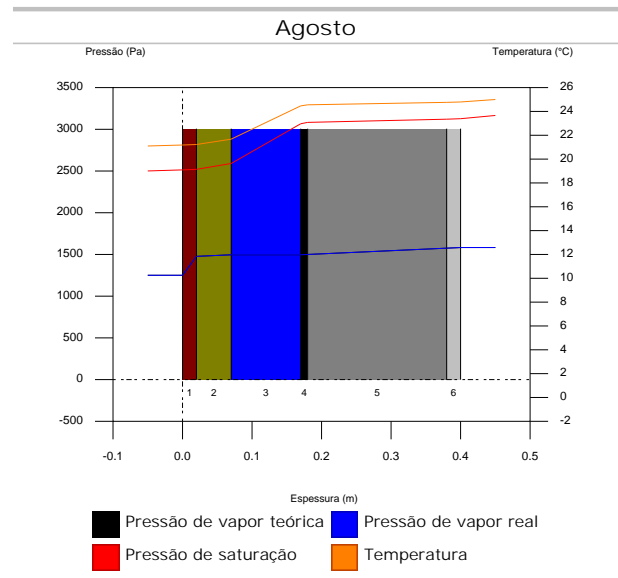
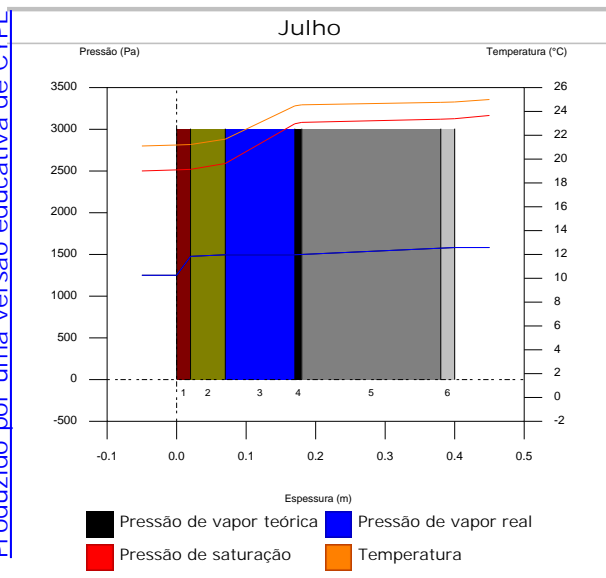
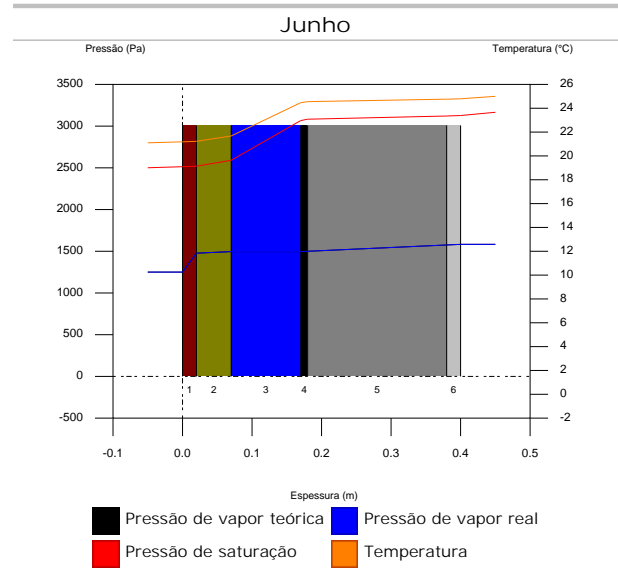
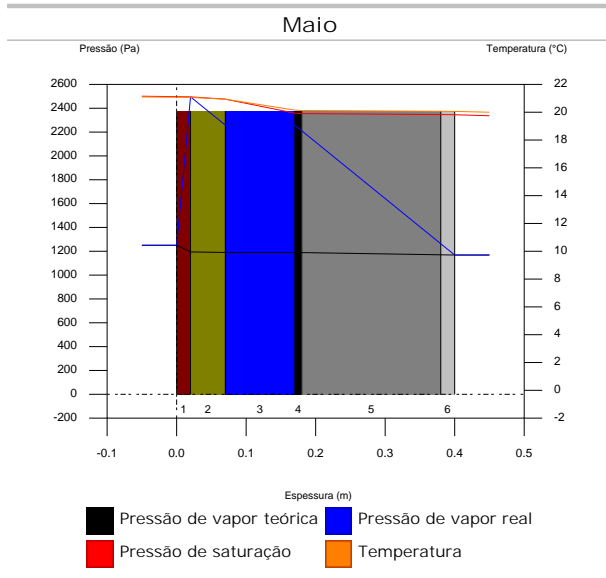
1.2.1.6.- Representação gráfica das condensações intersticiais previstas

# Verificação de formação de condensações



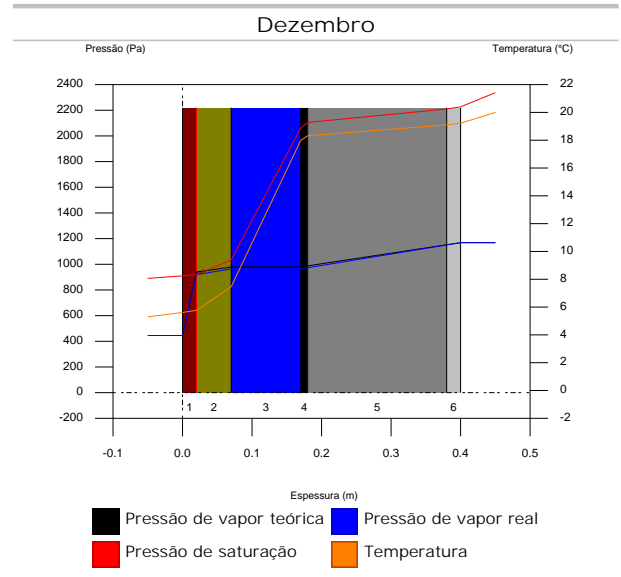
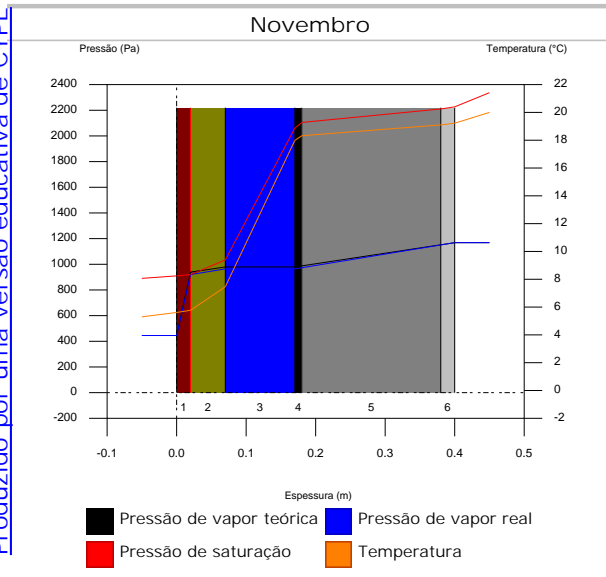
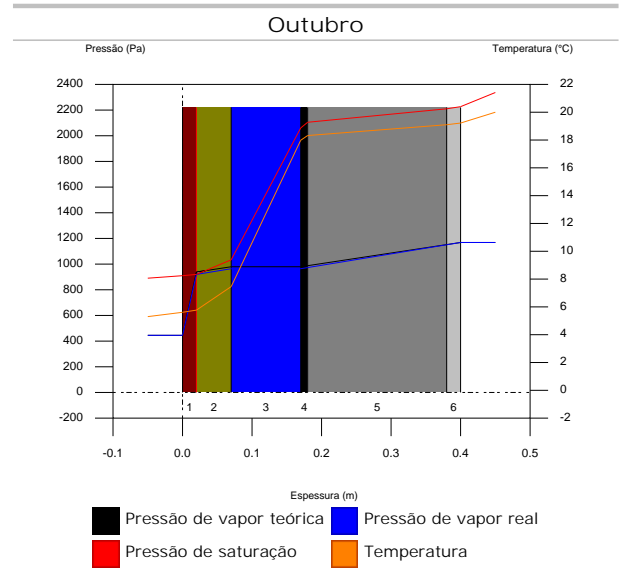
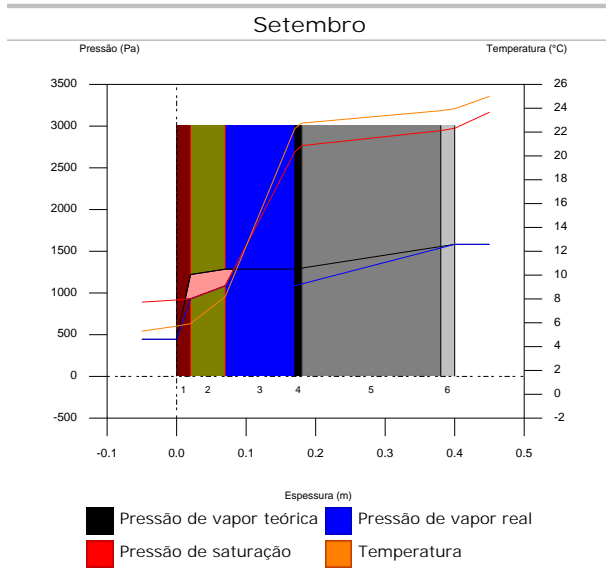
Produzido por uma versão educativa de CYPE

# Verificação de formação de condensações



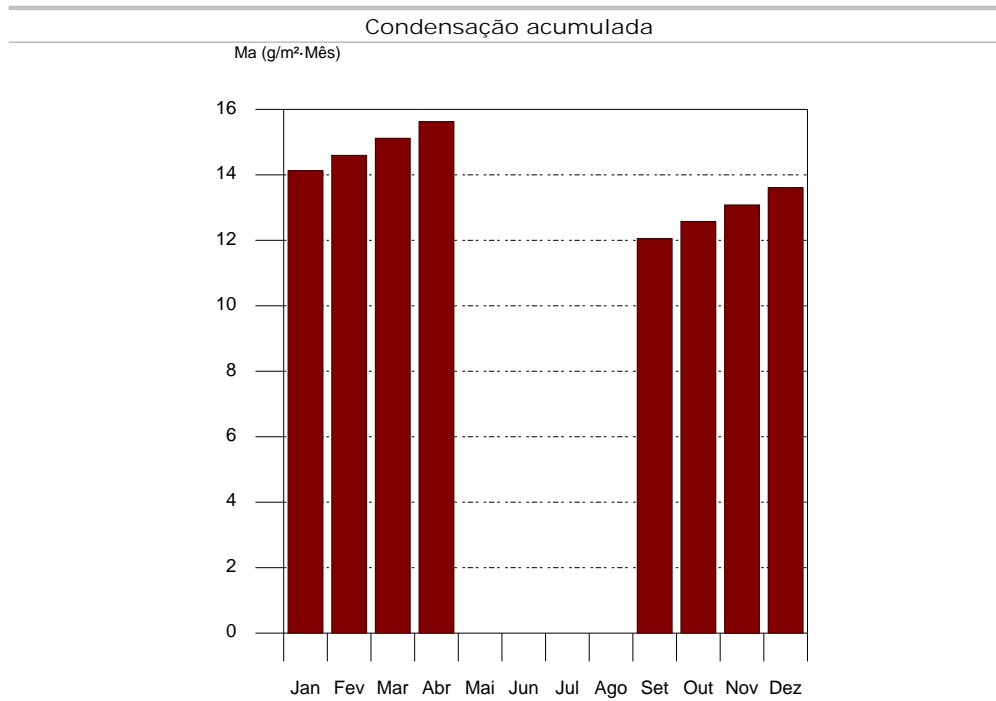
Produzido por uma versão educativa de CYPE

# Verificação de formação de condensações



Produzido por uma versão educativa de CYPE

# Verificação de formação de condensações



Produzido por uma versão educativa de CYPE

## 3.- Pavimentos térreos

### 3.1.- Laje Conv.

#### 3.1.1.- Resultados do cálculo de condensações

##### 3.1.1.1.- Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.847 \quad f_{Rsi,min} = 0.688$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

Onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.613 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr}$  é 0.8.

##### 3.1.1.2.- Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

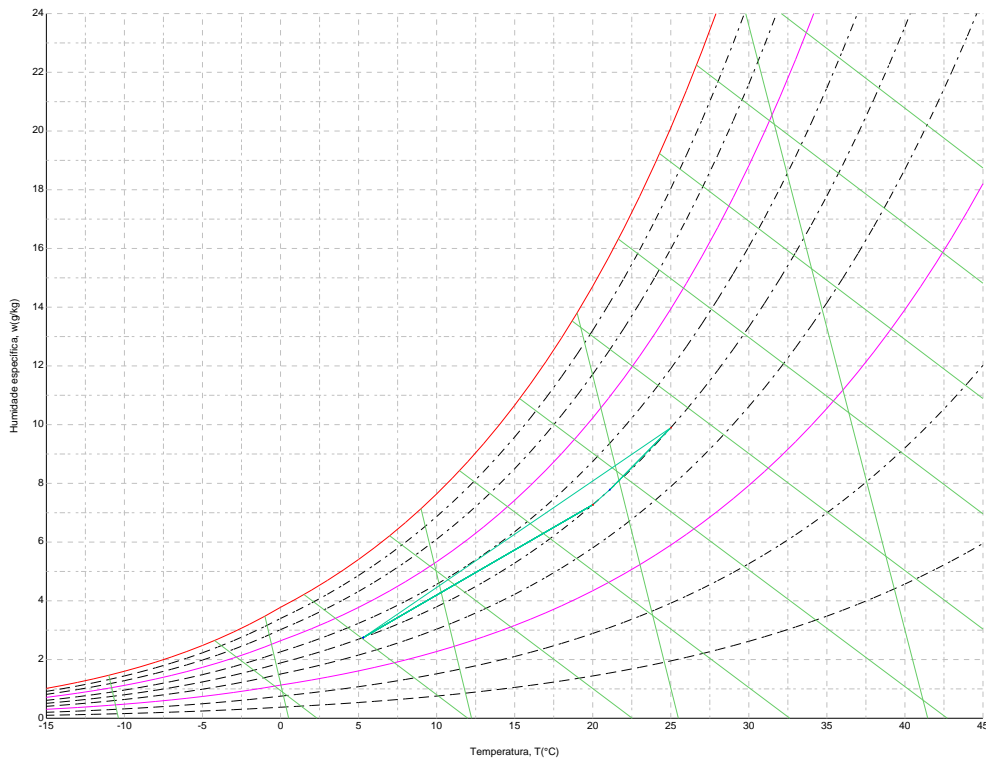
### 3.1.1.2.- Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Condições exteriores</b>												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	5.3	5.3	5.3	5.3	21.1	21.1	21.1	21.1	5.3	5.3	5.3	5.3
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
<b>Condições interiores</b>												
Temperatura, $\theta_i$ (°C)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	25.0	25.0	25.0	25.0	20.0	20.0	20.0
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 10 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.

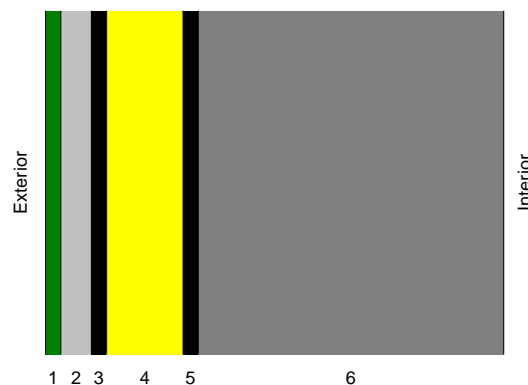
## Verificação de formação de condensações



Produzido por uma versão Educativa de CYPE

### 3.1.3.- Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogêneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

Laje Conv.		e (cm)	l (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
R <sub>se</sub>				0.00		
1	Cerâmica vidrada/grés cerâmico	1.0	1.300	0.00769	1	1
2	Argamassa e reboco tradicional	2.0	1.300	0.01538	1	2
3	Membranas flexíveis impregnadas com betume	1.0	0.230	0.04348	1	1
4	Lã de rocha (MW)	5.0	0.040	1.25000	1	5
5	Membranas flexíveis impregnadas com betume	1.0	0.230	0.04348	1	1
6	Betão armado com % armadura < 1 %	20.0	2.000	0.10000	1	20
R <sub>si</sub>				0.17		

onde:

e: Espessura, cm.

l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

## Verificação de formação de condensações

- R: Resistência térmica do material,  $m^2 \cdot K/W$ .  
 m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.  
 $S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.  
 $R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .  
 $R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	30.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	1.6300
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	30.00
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.613
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.847

onde:

- $E_T$ : Espessura total do elemento, cm.  
 $R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .  
 $S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.  
 U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .  
 $f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.613 W/m^2 \cdot K$  e  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

### 13.1.4.- Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{Rsi,min}$  fica da seguinte forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Fevereiro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Março	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Abril	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Maió	21.1	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	--*
Junho	21.1	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.000
Julho	21.1	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.000
Agosto	21.1	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.000
Setembro	5.3	50.0	25.0	55.0	1741.26	2176.57	18.9	0.688
Outubro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Novembro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598
Dezembro	5.3	50.0	20.0	55.0	1285.32	1606.65	14.1	0.598

\*: Não existe risco de formação de condensações superficiais no paramento interior, já que  $q_e > q_i$ .

onde:

- $q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.  
 $j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.  
 $q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.  
 $j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.  
 $P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.  
 $P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.  
 $q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.  
 $f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.847 > f_{Rsi,min} = 0.688$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

## Verificação de formação de condensações

### 1.3.1.5.- Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogêneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Laje Conv.	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	5.30	890.291	445.145	50.0		
Face exterior	5.30	890.291	445.145	50.0	--	--
Interface 1-2	5.37	894.600	469.256	52.5	--	--
Interface 2-3	5.51	903.274	517.478	57.3	--	--
Interface 3-4	5.90	928.190	541.589	58.3	--	--
Interface 4-5	17.17	1957.979	662.144	33.8	--	--
Interface 5-6	17.57	2007.093	686.255	34.2	--	--
Face interior	18.47	2124.169	1168.476	55.0	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j: Humidade relativa, %.

g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

# Verificação de formação de condensações

## 1.3.1.6.- Representação gráfica das condensações intersticiais previstas

