

## RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES

### AVALIAÇÃO DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE COBERTURAS

**CLIENTE: Ecotelhado**

#### 1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta o relatório parcial da Vertes Arquitetura Bioclimática e Eficiência Energética para a empresa Ecotelhado, cuja etapa é a de análise e cálculo de transmitância térmica de 3 sistemas construtivos de coberturas: cobertura com isolante térmico EPS 40mm; cobertura com isolante térmico poliuretano 50mm e; cobertura verde sistema alveolar Ecotelhado. Ainda, contém uma análise do atendimento ao pré-requisito de transmitância térmica exigido nos Requisitos Técnicos de Qualidade (RTQ-R) para edificações residenciais, portaria nº 449 do INMETRO publicada em novembro de 2010.

#### 2. CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DAS COBERTURAS

Para a avaliação e cálculo da transmitância térmica das coberturas foram adotadas as informações fornecidas pela Tecnisa e pela Ecotelhado. As propriedades térmicas dos materiais utilizados nos cálculos foram adotadas da norma brasileira NBR 15220-2, de estudos específicos da área, e de informações fornecidas pela Ecotelhado.

##### 2.1 Cálculo da transmitância térmica da cobertura com isolante térmico EPS 40mm

Para a transmitância térmica da cobertura (Figura 1), foi informado pela Tecnisa que será adotado um sistema construtivo de laje de concreto (100mm) e manta impermeabilizante, uma camada adicional de concreto como proteção mecânica (35mm) com isolamento térmico EPS 40mm acima e um contra-piso flutuante. A Tabela 1 apresenta as espessuras de cada componente, propriedades térmicas e transmitância térmica calculada de acordo com o método definido na norma brasileira NBR 15220-2.

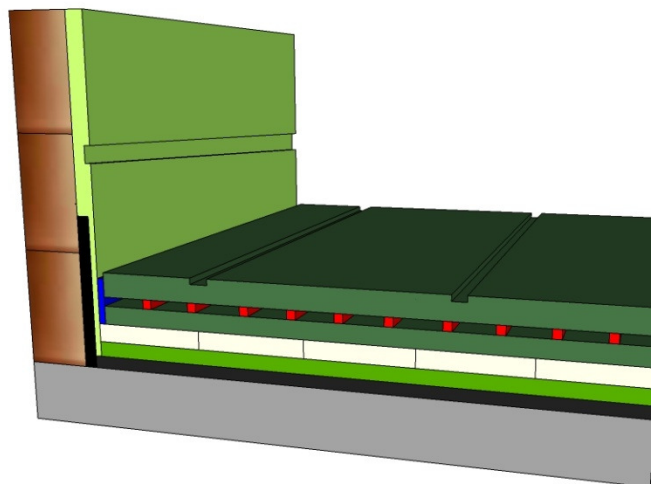


Figura 1: Sistema construtivo Tecnisa para cobertura com isolante térmico (EPS 40mm ou Poliuretano 50mm)

**Tabela 1. Resistência térmica calculada para cada componente da cobertura e transmitância térmica do sistema construtivo com 40mm de EPS**

Material	e [m]	$\lambda$ [W/m K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
ar na superfície externa	-	-	0,04	
contra piso	0,050	1,150	0,04	
isolante térmico EPS	0,040	0,040	1,00	
proteção mecânica	0,035	1,150	0,03	
laje	0,100	1,750	0,06	
ar na superfície interna	-	-	017	
				<b>0,75</b>

## 2.2 Cálculo da transmitância térmica da cobertura com isolante térmico Poliuretano 50mm

Para a transmitância térmica da cobertura (Figura 1), foi informado pela Tecnisa que será adotado um sistema construtivo de laje de concreto (100mm) e manta impermeabilizante, uma camada adicional de concreto como proteção mecânica (35mm) com isolamento térmico Poliuretano 50mm acima e um contra-piso flutuante. A Tabela 2 apresenta as espessuras de cada componente, a condutividade térmica (NBR 15220-2), a resistência térmica e a transmitância térmica calculada.

**Tabela 2. Resistência térmica calculada para cada componente da cobertura e transmitância térmica do sistema construtivo com 50mm de poliuretano**

Material	e [m]	$\lambda$ [W/m K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
ar na superfície externa	-	-	0,04	
contra piso	0,050	1,150	0,04	
isolante térmico Poliuretano	0,050	0,030	1,67	
proteção mecânica	0,035	1,150	0,03	
laje	0,100	1,750	0,06	
ar na superfície interna	-	-	0,17	
				<b>0,50</b>

## 2.3 Cálculo da transmitância térmica da cobertura verde com sistema alveolar Ecotelhado

Para a transmitância térmica da cobertura verde (Figura 2), foi informado pela Ecotelhado que será adotado um sistema construtivo de laje de concreto, uma camada de concreto como proteção mecânica com o sistema Ecotelhado acima (membrana alveolar – módulo Ecotelhado – substrato leve).

Foi informado pela Ecotelhado que no desempenho do sistema construtivo, o substrato leve permanece úmido enquanto o módulo ecotelhado tem uma função drenante e permanece seco. Em função deste comportamento não homogêneo foi subdividido todo o sistema construtivo em duas seções dependendo da espessura das camadas de substrato leve e módulo Ecotelhado.

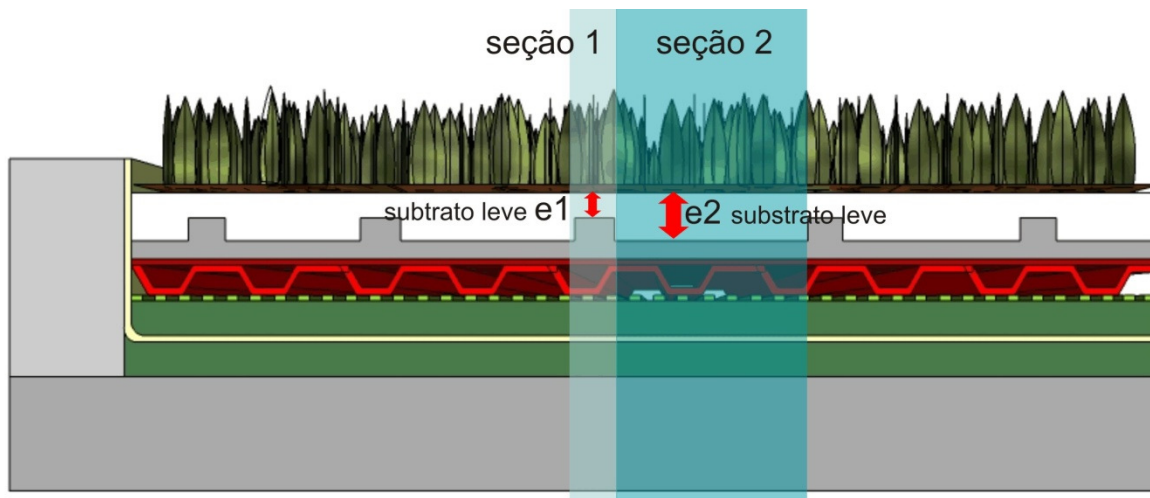


Figura 2: Sistema construtivo Ecotelhado para cobertura

A Tabela 3 apresenta as espessuras de cada componente, a condutividade térmica e a resistência térmica calculada para as seções representadas na Figura 2. As espessuras atribuídas para a membrana alveolar foram definidas de acordo com a informação da Ecotelhado indicando que esta camada permanece com 60% de água e 40% de ar.

Tabela 3. Resistência térmica calculada para cada componente da cobertura e transmitância térmica do sistema construtivo Ecotelhado.

Material	$e_{\text{seção 1}}$ [m]	$e_{\text{seção 2}}$ [m]	$\lambda$ [W/m K]	$R_{\text{seção 1}}$ [m <sup>2</sup> K/W]	$R_{\text{seção 2}}$ [m <sup>2</sup> K/W]
ar na superfície externa	-	-	-	0,10 <sup>1</sup>	0,10 <sup>1</sup>
substrato leve	0,010	0,060	0,170 <sup>2</sup>	0,06	0,35
módulo Ecotelhado	0,080	0,030	0,117 <sup>3</sup>	0,68	0,26
membrana retenção de nutrientes	0,005	0,005	0,070 <sup>4</sup>	0,07	0,07
membrana alveolar (sem água)	0,010	0,010	-	0,15 <sup>8</sup>	0,15 <sup>8</sup>
membrana alveolar (com água)	0,015	0,015	0,613 <sup>5</sup>	0,02	0,02
proteção mecânica + reg	0,070	0,070	1,150 <sup>6</sup>	0,06	0,06
laje	0,100	0,100	1,750 <sup>7</sup>	0,06	0,06
ar na superfície interna	-	-	-	0,17	0,17

<sup>1</sup> Maior valor de resistência térmica entre valores medidos e citados por Gaffin et al (2003)\*

<sup>2</sup> Valor adotado da madeira leve e úmida (Protolab - www.protolab.com.br), conforme indicação da Ecotelhado\*

<sup>3</sup> Valor adotado da ponderação de 90% de EVA ( $\lambda=0,03$ ) e 10% de cimento seco ( $\lambda=0,9$ )\*

<sup>4</sup> Valor adotado conforme indicação da Ecotelhado\*

<sup>5</sup> Valor adotado da água saturada em fase líquida a 300K por Incropera e Dewitt (2003)

<sup>6</sup> Valor adotado da NBR 15220

<sup>7</sup> Valor adotado da NBR 15220

<sup>8</sup> Valor adotado para câmara de ar com 1cm e alta emissividade, por NBR 15220

\* Para adotar este valor recomenda-se uma medição a partir de um ensaio de laboratório para fundamentar o valor adotado.

A Tabela 4 apresenta a geometria do módulo. A resistência térmica total calculada é de  $1,31\text{m}^2\text{K}/\text{W}$  e a transmitância térmica final calculada é de  $0,76\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ .

**Tabela 4. Resistência térmica calculada para o módulo e transmitância térmica do sistema construtivo Ecotelhado**

Módulo Ecotelhado	Larg [m]	Alt [m]	Nº de negativos [unid]	A [m <sup>2</sup> ]	1 modulo [m <sup>2</sup> ]
Módulo	0,35	0,7	1	0,245	1
Seção 1	-	-	-	0,130	0,53
Seção 2	0,12	0,12	8	0,115	0,47

### 3. AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO AO PRÉ-REQUISITO DE U<sub>cob</sub> SEGUNDO O RTQ-R

Para a análise ao atendimento ao pré-requisito de transmitância térmica indicado do RTQ-R, é realizada uma comparação entre as transmitâncias térmicas calculadas e os limites apresentados da Tabela 3.1 do RTQ-R. A Tabela 5 representa os índices adotados na Tabela 3.1 do RTQ-R, com destaque para a Zona Bioclimática 3, pois é a zona que o município de São Paulo está inserido. Ressalta-se que, de acordo com item 3.1.1.1 b do RTQ-R, *Considerações sobre a absorvância solar das superfícies externas que compõem os ambientes*, as coberturas vegetais (teto jardim), não precisam atender ao pré-requisito de absorvância, logo, entende-se que pode ser adotado o limite mais alto da Tabela 3.1 do RTQ-R ( $U \leq 2,30$ ). Para as demais superfícies, devem-se atentar as cores dos revestimentos externos das coberturas.

**Tabela 5. Representação da Tabela 3.1 do RTQ-R – Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas**

ZB	Componente	Absorvância Solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m <sup>2</sup> K)]	Capacidade térmica [kJ/(m <sup>2</sup> K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	<b><math>U \leq 2,30</math></b>	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	<b><math>U \leq 1,50</math></b>	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

As transmitâncias térmicas calculadas para os sistemas construtivos de coberturas com isolantes térmicos atendem aos limites exigidos no RTQ-R, tanto para coberturas com revestimentos externos claros (absorvância abaixo de 0,6) como para coberturas com revestimentos externos escuros (absorvância igual ou acima de 0,6). Para a cobertura verde, desconsidera-se o parâmetro de absorvância e se adota o limite mais alto. Neste caso, a transmitância térmica calculada atende aos dois limites exigidos no RTQ-R.

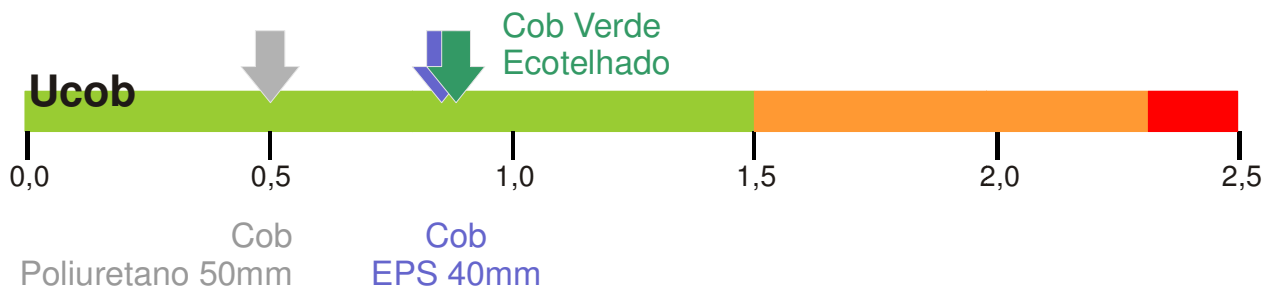


Figura 3: Escala de transmitância térmica

Para adotar o sistema construtivo de cobertura verde, a Vertes recomenda que sejam realizados ensaios de laboratório para identificar as propriedades térmicas correspondentes às camadas que compõem o sistema construtivo Ecotelhado e evitar assim possíveis diferenças de interpretação com o Organismo de Inspeção Acreditado (OIA).

#### 4. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DAS COBERTURAS ANALISADAS

A simulação computacional foi realizada mediante o programa EnergyPlus (versão 5.0), no qual simula o desempenho térmico e energético de edificações com todos os sistemas que compõem a edificação e que são relevantes para seu desempenho, tais como climatização, iluminação, cargas térmicas, propriedades de materiais, e outros elementos que participam das trocas térmicas. Foi desenvolvido pelo *Department of Energy* dos EUA e ganhou espaço juntos aos simuladores após ter sido validado pelo método BESTEST, da *Standard 140*.

Para a modelagem computacional foi utilizado o Caso900 da *Standard 140* (Figura 4) como caso base das simulações e para aferição e confiabilidade dos resultados simulados. Ainda, foi adotado o arquivo climático SWERA (BRA\_Sao.Paulo-Congonhas.837800\_SWERA), considerado representativo para o clima de São Paulo. Vale ressaltar que os resultados se aplicam a esse caso específico de um modelo de única zona térmica e com características definidas pela *Standard 140*. Resultados diferentes podem ser obtidos com outro modelo de edificação.

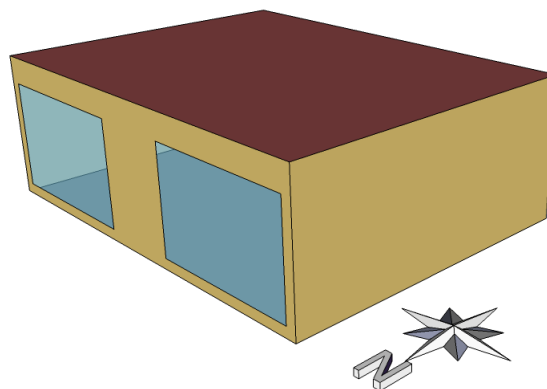


Figura 4: Imagem do modelo computacional caso 900 da *Standard 140* gerada pelo programa SketchUp

Foram simuladas as três opções de coberturas descritas nas Tabelas 1, 2 e 3. Os resultados demonstram o consumo médio anual de energia das coberturas ao longo de um ano e a demanda máxima. O padrão de uso adotado para o sistema de ar condicionado e para as cargas internas foi de 24h, 365 dias por ano.

A Tabela 6 apresenta o consumo anual de energia e a densidade de consumo de energia das coberturas simuladas tanto para resfriamento quanto para aquecimento. A Tabela 7 apresenta a demanda máxima e a densidade de demanda máxima.

**Tabela 6: Consumo anual de energia e densidade de consumo das coberturas simuladas**

Coberturas	Consumo anual		
	Resfriamento [kWh]	Aquecimento [kWh]	Total [kWh]
Com isolante EPS 40mm	4280,2	0,6	4280,8
Com isolante Poliuretano 50mm	4293,4	0,0	4293,4
Ecotelhado	4276,5	6,0	4282,5
Coberturas	Densidade de consumo anual		
	Resfriamento [kWh/m <sup>2</sup> ]	Aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total [kWh/m <sup>2</sup> ]
Com isolante EPS 40mm	89,2	0,0	89,2
Com isolante Poliuretano 50mm	89,4	0,0	89,4
Ecotelhado	89,1	0,1	89,2

**Tabela 7: Demanda máxima de energia e densidade de demanda máxima das coberturas simuladas**

Coberturas	Demanda máxima	
	Resfriamento [kW]	Aquecimento [kW]
	3 maio 14h30	18 junho 06h45
Com isolante EPS 40mm	2,9	0,2
Com isolante Poliuretano 50mm	2,9	0,0
Ecotelhado	3,0	0,6
Coberturas	Densidade de demanda máxima	
	Resfriamento [W/m <sup>2</sup> ]	Aquecimento [W/m <sup>2</sup> ]
	3 maio 14h30	18 junho 06h45
Com isolante EPS 40mm	60,9	4,8
Com isolante Poliuretano 50mm	61,1	0,0
Ecotelhado	63,0	12,4

Observa-se nos resultados apresentados na Tabela 6 que o consumo anual de energia das três coberturas simuladas é semelhante. A diferença de consumo de energia por resfriamento do sistema construtivo Ecotelhado é de 0,2% inferior ao consumo médio dos demais sistemas construtivos de coberturas simulados. Na data de ocorrência da demanda máxima de energia, observa-se que os resultados também são semelhantes, porém, o sistema Ecotelhado apresenta uma diferença de 3,3% superior à demanda média das coberturas com isolantes térmicos. A Figura 5 representa a semelhança do consumo de energia das coberturas simuladas. O consumo de energia por aquecimento apresenta um resultado insignificante.

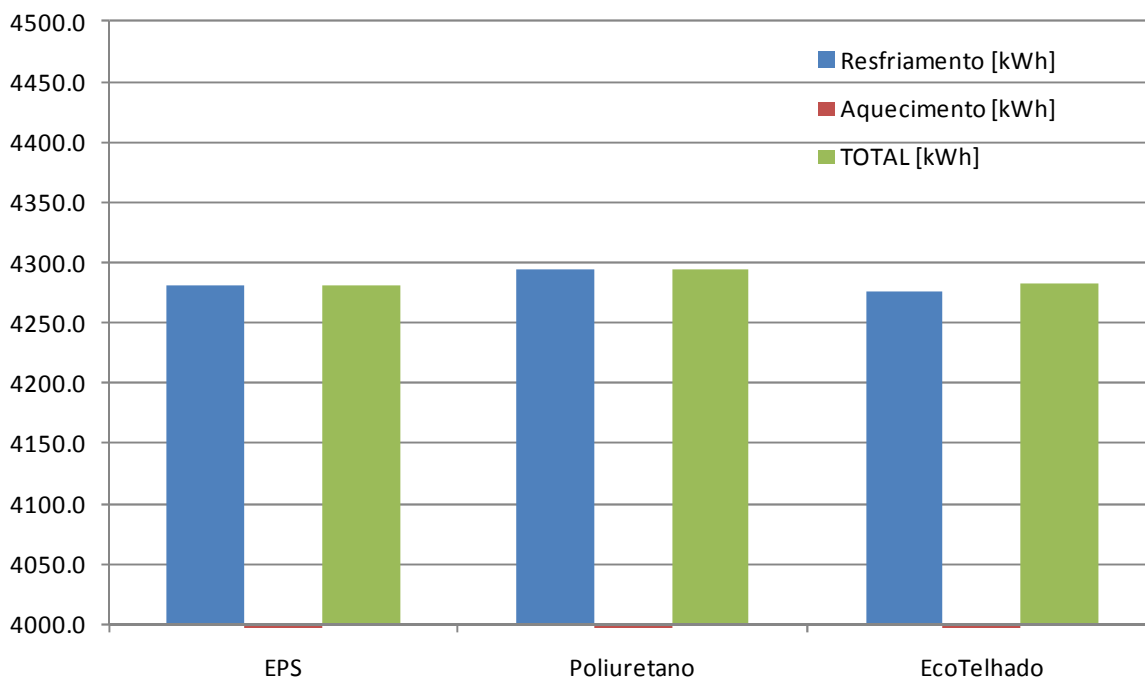


Figura 5: Consumo médio anual de energia das coberturas simuladas

Por estes resultados apresentados pela simulação computacional e pelos resultados apresentados pelos cálculos de transmitância térmica das coberturas, a cobertura verde do sistema Ecotelhado com as características descritas na Tabela 3 apresenta desempenho térmico equivalente aos sistemas construtivos de cobertura com isolante térmico EPS 40mm e Poliuretano 50mm.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 15220-1. Desempenho Térmico de Edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Janeiro, 2003.

ABNT NBR 15220-2. Desempenho Térmico de Edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Janeiro, 2003.

ANSI, ASHRAE. Standard 140. Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta: ANSI, ASHRAE. 2007.

HENNINGER, R. H., WITTE, M. J. Energy Plus Testing with Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests from ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 (BESTEST). Berkeley: LBNL, 2010. Technical Report.

GAFFIN, S; ROSENZWEIG, C; PARSHALL, L; BEATTIE, D; BERGHAGE, R; O'KEEFFE, G; BRAMAN, D. Energy balance modeling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency. www.roofmeadow.com. Acessado em 30 de março de 2010.

INCROPERA, F; DEWITT, D. Transferência de Calor e Massa. Quinta Edição. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 2003. 698 p.

Florianópolis, 28 de abril de 2011.

Atenciosamente,



Marina Vasconcelos – CREA 90.529/D  
*Vertes Arquitetura Bioclimática e Eficiência Energética*