

## **ESTUDO E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE COBERTURAS VERDES UTILIZANDO O GÊNERO *COMMELINA***

**Plínio A. Tavares\* e Leôncio D. T. Câmara**

*IPRJ - Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 28.625-570, RJ, Brasil*

**Palavras chave:** Conforto térmico, Caracterização térmica, Coeficiente de condutividade térmica, *Commelina*, Desempenho térmico, ABNT NBR 15220.

**Resumo.** A utilização de coberturas verdes em telhados é uma solução simples e barata, que influencia o conforto térmico e produtividade humana, seja em ambientes domiciliares ou industriais. A literatura na área é bem significativa quanto ao potencial e viabilidade da utilização de telhados verdes no aumento do conforto de ambientes, porém é muito carente de métodos e técnicas de caracterização de propriedades térmicas destes materiais. Neste projeto o objetivo é desenvolver um método de caracterização térmica de coberturas verdes utilizando a resistência térmica equivalente. Os dados experimentais de perfis de temperatura são comparados em duas situações, com e sem cobertura verde, podendo com isso inferir quanto à condutividade térmica do material composto através da aplicação de balanços de energia e fenômenos de transferência de calor nos módulos. Os primeiros resultados mostraram-se promissores, já que foram obtidos valores de condutividade térmica próximos daqueles observados na literatura para materiais similares.

---

Endereços de e-mail: [ionilp@hotmail.com](mailto:ionilp@hotmail.com)\*, [diogenescamara@gmail.com](mailto:diogenescamara@gmail.com)

## 1 INTRODUÇÃO

A proteção contra as adversidades climáticas sempre foi procurada ao longo da história humana. Desde as eras mais remotas da sociedade ela foi almejada, seja através de uma simples fogueira, uma caverna, ou de tecnologias mais avançadas, como os aparelhos de ar refrigerado em carros. O clima, que é influenciado pela ação humana, com o advento da urbanização, teve uma alteração significativa que foi negativa na qualidade de vida. Sendo composto de inúmeras variáveis, relacionado com a climatização de um ambiente fechado, o chamado conforto térmico será abordado nesse trabalho.

A alternativa moderna para esse problema, no modo chamado ativo, é a utilização de aparelhos de condicionamento de ar. Porém, devido aos elevados gastos energéticos e de manutenção, na década de 70, uma das alternativas estudada por pesquisadores acadêmicos, foi a cobertura verde, que não é uma tecnologia nova, nem tão pouco da era pós-moderna [13]. Através da história, observamos o seu uso nas sociedades antigas, como os babilônios, com seus famosos jardins suspensos e os vikings, com seus telhados de turfas, para se protegerem do frio [5].

Neste trabalho foi proposta uma nova metodologia de caracterização térmica de coberturas verdes, a qual se baseia na análise dos perfis de temperatura nos módulos através de uma nova abordagem de Resistência Térmica Equivalente. Foram realizadas medições de temperatura em dois módulos com telhas de amianto: um com cobertura verde e outro com material isolante. No novo método, chamado de Método de Resistências Equivalentes são utilizadas camadas de material isolante, com condutividade térmica conhecida, de forma a obter o coeficiente de condutividade equivalente ( $k$ ) do material estrutural com a planta do gênero *Commelina*.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Coeficiente de condutividade térmica ( $k$ )

Pode-se defini-lo como um “mecanismo” de transferência de calor. A condução térmica pode ser vista como a transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas menos energéticas, e acontece devido à vibração atômica dos retículos atômicos. Em materiais não condutores elétricos, a transferência ocorre através das ondas vibracionais, já em materiais condutores elétricos, ocorre também através da movimentação de elétrons livres [1].

Matematicamente, a condutividade térmica pode ser expressa pela equação [4]:

$$k = \frac{Q/At}{dT/dx} \quad (1)$$

Tem-se  $Q$  igual à quantidade de calor para um tempo  $t$  através de uma área  $A$  do material, onde a área é medida perpendicularmente à direção em que se dá a troca de calor,  $dT/dx$  igual ao gradiente de temperatura, ou seja, é a variação de temperatura com a distância, na direção do fluxo de calor [4].

### 2.2 O coeficiente de condutividade térmica ( $k$ ) e a sua caracterização em telhados verdes

O telhado verde é utilizado como um “isolante térmico vivo” para coberturas de edificações. Seu uso vem de muito tempo, como podemos ver em relatos históricos dos Vikings, e nos jardins suspensos da Babilônia [5].

Para a sua utilização como isolante em projetos de engenharia, é necessário que se caracterizem três propriedades físicas: a densidade,  $\rho$ , o calor específico,  $c$ , e o coeficiente

térmico,  $k$ , que é o mais complexo de se caracterizar [1].

Após pesquisas em artigos e teses, foi encontrada a caracterização de coeficientes térmicos do substrato de telhados verdes, porém, nenhuma caracterização das plantas propriamente ditas [2, 11, 14], apenas proposta de estudos para se caracterizar o coeficiente térmico [6]. A escassez de trabalhos nessa área pode ser devido a não existir um método para se calcular o coeficiente de condutividade térmica de plantas, por tratar-se de um isolante térmico vivo. A seguir será citado brevemente o método mais utilizado em materiais convencionais e o porquê não poderá ser utilizado em plantas.

### 2.3 Métodos para caracterização do coeficiente de condutividade térmica ( $k$ )

Existem vários métodos para determinação da condutividade térmica de um material, estes podem ser divididos em duas grandes categorias: métodos diretos e métodos indiretos.

Os métodos diretos têm como princípio medir a condutividade térmica a partir dos resultados experimentais, já nos métodos indiretos é medida experimentalmente uma determinada propriedade, e com ela calcula-se, através de modelos, o valor da condutividade térmica [4].

Existe ainda outra classificação referente à utilização ou não de padrões: métodos comparativos e absolutos. Os métodos comparativos requerem um ou mais corpos de provas calibrados, padrões, que são tomados como referência; por sua vez, os métodos absolutos têm como princípio fazer a medida da condutividade térmica sem o uso de padrões comparativos [4].

#### 2.3.1 Medições da resistência e condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida

A técnica que utiliza este princípio chama-se método calorimétrico de placa quente placa fria. Ele é normatizado pela ABNT NBR 15220:2003 [1], sendo o método mais utilizado. Sua aplicação é executada em regime permanente da resistência térmica e da condutividade térmica de materiais sólidos ou granulares, compactados ou não. O método opera na faixa de condutividade térmica abaixo de  $2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ .

Nas restrições da própria ABNT NBR 15220:2003 [1], é citado que, a condutividade térmica dos materiais não homogêneos, não pode ser considerada como propriedade intrínseca, ou seja, no caso da *Commelina*, como isolante, além de ser heterogênea, ela é uma planta que possui um mecanismo de transformação de energia solar em energia química conhecida por fotossíntese. As plantas também não se aplicam a este método por possuírem umidade e seria necessário que fossem desidratadas. A seguir na Figura 1 apresenta a montagem do conjunto para caracterização de condutividade térmica utilizando o método calorimétrico de placa quente placa fria [1].

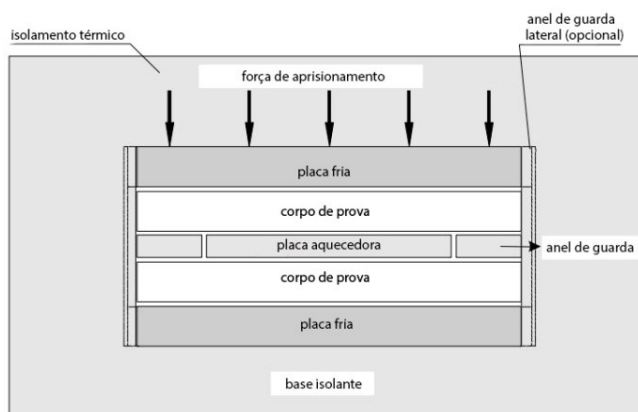


Figura 1: Propriedades térmicas da trapoeraba [1]

Como sabemos que as plantas possuem uma direção em que a energia solar é, além de absorvida, convertida em energia química, que seria das folhas para as raízes. O método acima representado não leva em conta esta peculiaridade, por se tratar de um material anisotrópico. Ele apenas levaria em conta de maneira limitada a geometria, que seriam os aspectos fibrosos e com espaçamento das folhas formando uma espécie de “colchão de ar fibroso”.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Métodos de equivalência de resistências

Como, para se caracterizar a condutividade térmica aparente ( $k$ ) de coberturas verdes não foi possível à utilização de nenhum método ou técnica conhecido na literatura, foi desenvolvido um método intitulado de Equivalência de Resistências. Este método consiste basicamente em se chegar à equivalência da resistência térmica da cobertura verde com um material isolante que se tem conhecimento de sua condutividade térmica aparente. O aferimento da resistência equivalente é feito quando o  $dT/dx$  é igual para as duas coberturas, ou seja, quando o fluxo térmico global é igual nos dois módulos, e por sua vez a igualdade do fluxo térmico é identificada pela equivalência das temperaturas após as coberturas.

Para que haja melhor compreensão do método uma representação esquemática é demonstrada na Figura 2.

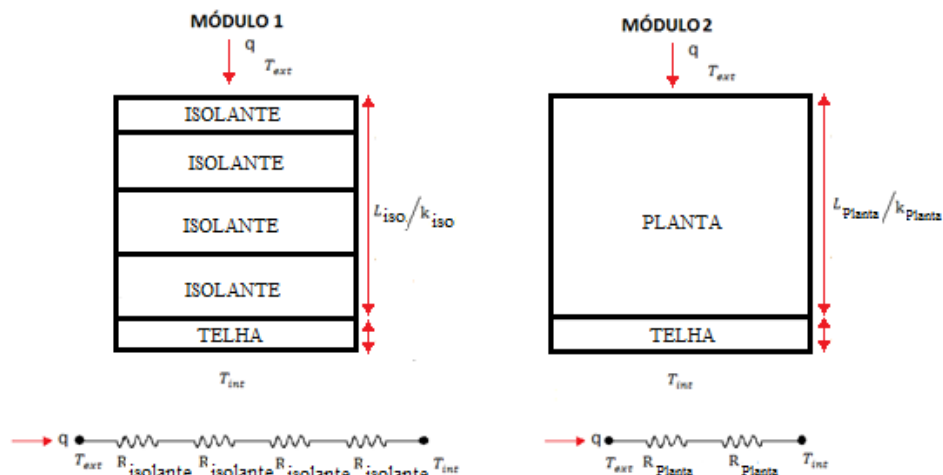


Figura 2: Equivalência de resistências

Para se obter o valor da condutividade térmica equivalente ( $k_{equivalente}$ ) de uma cobertura verde, é realizada uma equivalência do fluxo de calor de cada cobertura, pois eles são aproximadamente iguais, assim como a temperatura exterior e a temperatura interior.

A seguir é demonstrada a modelagem do  $k_{equivalente}$ , sendo as considerações: temperaturas médias foram consideradas apenas na área não hachurada; regime permanente, pois foram consideradas as temperaturas médias; a transferência de calor unidimensional, pois todas as áreas são iguais; a resistência de contato entre espuma e fibra de vidro foi considerada como ar, com propriedades a 300 K, tendo a espessura de 0,0421 m; a resistência de contato entre a fibra de vidro e telhado foi desprezada; as trocas radiantes desprezadas, considerando que os dois módulos recebem o mesmo fluxo térmico. Sendo,  $R$ , a resistência,  $T_{s,1}$  e  $T_{s,2}$ , as temperaturas,  $L$ , a espessura,  $k$ , o coeficiente de condutividade térmica,  $A$ , área,  $q_x$ , o fluxo térmico.

$$R_{t,cond} \equiv \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad [7] \quad (2)$$

As resistências equivalentes hipotéticas dos módulos serão:

$$R_{tot,módulo1} = \frac{L_{isolante}}{k_{isolante}} + \frac{L_{telha}}{k_{telha}A} \quad (3)$$

$$R_{tot,módulo2} = \frac{L_{planta}}{k_{planta,equivalente}A} + \frac{L_{telha}}{k_{telha}A} \quad (4)$$

O valor do coeficiente de condutividade térmica ( $k_{planta,equivalente}$ ) é obtido igualando o fluxo térmico nos dois módulos.

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}} \quad [7] \quad (5)$$

$$q_x = \frac{\Delta T}{R_{tot,módulo1}} = \frac{\Delta T}{R_{tot,módulo2}} \quad (6)$$

$$R_{tot,módulo1} = R_{tot,módulo2} \quad (7)$$

Substituindo as Eq. (3) e Eq. (4) na Eq. (7) teremos:

$$k_{planta,equivalente} = \frac{L_{planta}}{\frac{L_{isolante}}{k_{isolante}}} \quad (8)$$

Para a realização dessa técnica foi necessário a construção de dois módulos experimentais, um em cobertura verde e outro com em cobertura tradicional, ambos apresentados na Figura 3, e um sistema para aquisição de dados para as temperaturas internas de cada módulo, e ambiente.

Os módulos foram construídos, com largura de 1 m, comprimento 1,5 m e altura de 1 m, confeccionados com cantoneiras soldadas de ferro de 1/2" x 1/2", e em todas as faces, exceto a superior, foram cobertas por placas de madeirite de 6 mm de espessura, sobrepostas por isopor de 150 mm de espessura. Nas faces superiores estão as diferentes coberturas, com o objetivo de realizar a comparação entre uma cobertura com dados técnicos normatizados existentes, como fibra de vidro e uma espuma de polipropileno, e outra de trapoeraba com propriedades desconhecidas.

Termístores foram instalados no centro de cada módulo, a 50 cm de distância das coberturas, e um terceiro termistor externamente, para captação da temperatura ambiente. Os módulos foram posicionados um ao lado do outro, para que tivessem a mesma incidência à radiação solar. A trapoeraba, cujo nome científico é *Commelina Diffusa*, tem cerca de 300 mm de altura e possui alta resistência às intempéries e pouco substrato para sobrevivência

– apenas uma camada inferior a 10 mm [3].



Figura 3: Comparação de coberturas

### 3.2 Caracterização do calor específico $c$ (kJ/kg·K)

Para caracterização do calor específico da Trapoeraba foi utilizado cortiça como massa seca por ser um material de origem vegetal já caracterizado. Os dados utilizados foram retirados do Incropera [7], sendo definido o calor específico  $c$ , e  $x$  o percentual de massa:

$$c_{\text{trapoeraba}} = \frac{c_{\text{trapoeraba,aérea}} + c_{\text{trapoeraba,rad}}}{2} \quad (9)$$

$$c_{\text{trapoeraba,aérea}} = c_{\text{trapoeraba,rad}} = x_{\text{h}_2\text{o}} \times c_{\text{h}_2\text{o}} + (1 - x_{\text{h}_2\text{o}})c_{\text{cortiça}} \quad (10)$$

Como demonstrado anteriormente foi feita uma média entre a parte radicular da trapoeraba e a parte aérea, por possuírem um percentual de água diferente. Os dados de teor de água, em %, utilizados foram de [13].

### 3.3 Caracterização da densidade aparente $\rho$ (kg/m<sup>3</sup>)

Na caracterização da densidade aparente foram utilizados dados obtidos por [13], como: pesos de biomassa seca e fresca, e teores de água. Sendo que esses dados foram das partes aéreas e radiculares da planta. A Tabela 1 [12], adaptada pelo autor, com características da trapoeraba.

Tabela 1: Propriedades das espécies de *Commelina* spp, cultivadas em vasos, em casa de vegetação, por 120 dias. Adaptado de Ronchi [12]

Características	Espécies <i>C.Diffusa</i>
Peso da biomassa fresca da parte aérea [gramas por vaso]	665,00
Peso da biomassa seca da parte aérea [gramas por vaso]	70,51
Teor de água na parte aérea [%]	89,24
Peso da biomassa fresca do sistema radicular [gramas por vaso]	157,65
Peso da biomassa seca do sistema radicular [gramas por vaso]	10,15
Teor de água do sistema radicular [%]	93,56
Volume do sistema radicular fresco [mililitros por vaso]	165,50

### 3.4 Cálculo para análise da eficiência energética

Foi utilizada a equação de fluxo de calor [9], para se calcular o fluxo e posteriormente a taxa de calor que incidiu no exemplo teórico C5 da ABNT NBR 15220:2003 [1], e nos módulos confeccionados pelo autor. Onde  $\dot{Q}$  é o fluxo de calor,  $U$  a transmitância térmica,  $A$  a

área,  $\Delta T$  a variação de temperatura,  $\alpha$  a absorvância,  $RS$  a radiação solar,  $R_{se}$  o fluxo de calor na direção descendente [9]:

$$\Phi = U \times A \times (\Delta T + (\alpha \times RS \times R_{se}) - 4) \quad (11)$$

## 4 RESULTADOS OBTIDOS

### 4.1 Caracterização da condutividade aparente equivalente $k_{trap.equivalente}$ (W/m·K) da trapoeraba, utilizando o Método de Equivalência de Resistências

Foi realizado um ensaio, com o intuito de se obter dados necessários a caracterização do coeficiente de condutividade equivalente. Os dados obtidos no ensaio estão demonstrados na Figura 4.

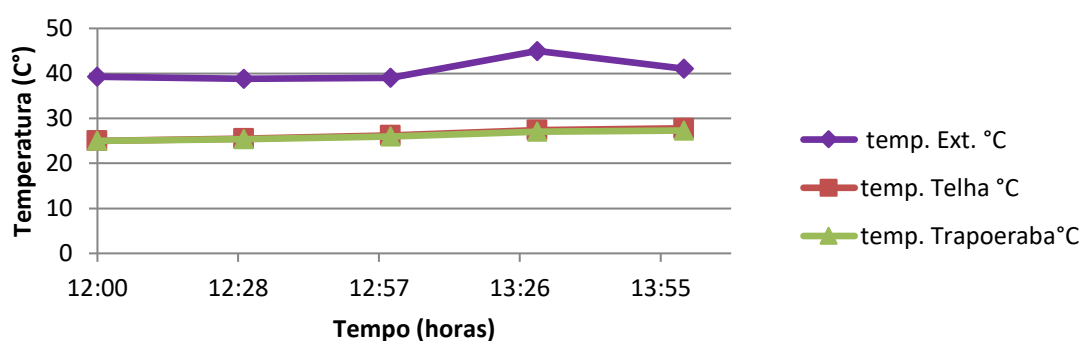


Figura 4: Gráfico de temperaturas / tempo

A temperatura dos dois módulos se manteve praticamente constante em torno de 24°C, havendo uma pequena diferença a partir das 14h. A área hachurada não foi desconsiderada para o cálculo do  $k_{trap.equivalente}$  devido à diferença nas temperaturas internas dos módulos.

Na Tabela 2 estão expostos os dados utilizados para o cálculo do  $k_{trap.equivalente}$ .

Tabela 2: Dados utilizados no cálculo

Materiais	$k$ [W/(m·K)]	$L$ [m]
Ar	0,0263	0,0421
EPP	0,033	0,0185
Fibra de vidro	0,045	0,0005
Trapoeraba	-	0,07033

Na Tabela 3 é apresentado o resultado da caracterização realizada, onde são apresentadas as principais propriedades térmicas da espécie em questão.

Tabela 3: Propriedades térmicas da trapoeraba

Propriedades da trapoeraba	Valores
Condutividade térmica equivalente ( $k$ ) [W/(m·K)]	0,032
Calor específico ( $c$ ) [kJ/(kg·K)]	3,975
Densidade ( $\rho$ ) [kg/m <sup>3</sup> ]	1108

A trapoeraba apresenta características de um isolante térmico, sendo isto comprovado na comparação com isolantes comerciais, como a cortiça granulada que possui  $0,045 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  [7] de condutividade térmica, sendo da mesma “família” da trapoeraba por ser um material composto por lignocelulose.

A ABNT NBR 15220:2003, no anexo B Propriedades Térmicas de Materiais [1], orienta que os valores de condutividade térmica ( $k$ ) e calor específico ( $c$ ) dos materiais usados devem, sempre que possível, serem medidos em laboratório. Sendo assim, esses cálculos se baseiam em valores apenas indicativos.

#### 4.2 Cálculo do exemplo C.5 da NBR 15220, adicionado a trapoeraba

Para exemplificar a aplicação da trapoeraba como isolante térmico, é feita uma comparação de cálculo com o exemplo C.5 da ABNT NBR 15220:2003 [1], onde é adicionada uma camada de trapoeraba como isolante acima do telhado, como demonstrado na Figura 5. Tem-se o telhado inclinado de trapoeraba com chapas de fibrocimento, e forro de *pinus* com câmara de ar ventilada, sendo o comprimento do telhado igual a 7 m e abertura de ventilação de 5 cm por 7 m em cada beiral.

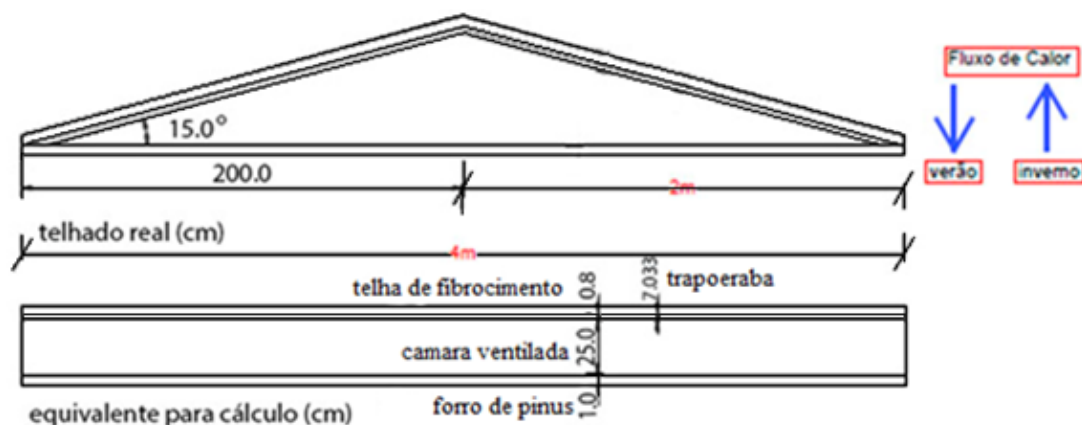


Figura 5: Representação simplificada do telhado inclinado com telha de fibrocimento e trapoeraba, forro de pinus e câmara de ar ventilada, adaptado da ABNT NBR 15220:2003 [1]

Na Tabela 4 estão apresentados os dados para cálculo.

Tabela 4: Dados utilizados no cálculo

Materiais	$\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$c$ ( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ )	$k$ ( $\text{W}/\text{mK}$ )	$L$ (cm)
Fibrocimento	1700	0,84	0,65	0,8
Pinus	500	1,34	0,15	1
Trapoeraba	1108	3,975	0,032	7,033

Na Tabela 5, estão apresentados os resultados da aplicação da trapoeraba como isolante térmico. Trata-se de um comparativo entre os dados originais da ABNT NBR 15220:2003 [1], e os dados calculados pelo autor com a adição da trapoeraba como isolante.



Tabela 5: Resultado das aplicações práticas

Resultado das aplicações práticas	Exemplo C.5 da NBR 15220	Exemplo C.5 da NBR 15220 com trapoeraba
Resistência térmica ( $R_t$ ) [ $m^2 \cdot K/W$ ]	0,2890	2,4868
Resistência térmica total ( $R_T$ ) (verão) [ $m^2 \cdot K/W$ ]	0,4990	2,6968
Transmitância térmica ( $U$ ) (verão) [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]	2,0	0,3707
Resistência térmica total ( $R_T$ ) (inverno) [ $m^2 \cdot K/W$ ]	0,2667	0,2667
Transmitância térmica ( $U$ ) (inverno) [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]	3,75	3,75
Capacidade térmica da cobertura ( $C_T$ ) [ $kJ \cdot W/(m^2 \cdot K)$ ]	18	327,75
Atraso térmico ( $\varphi$ ) (verão) [horas]	0,9	17,8
Fator de calor solar ( $FS_0$ ) (verão) [%]	p/ $\alpha = 0,3 \rightarrow 2,4$ p/ $\alpha = 0,5 \rightarrow 0,4$	p/ $\alpha = 0,4 \rightarrow 6$

Verifica-se que houve um aumento das resistências térmicas ( $R_t$ ), ( $R_T$ ), ou seja, um aumento do isolamento térmico em aproximadamente 8,5 vezes, comparado com a cobertura de telha, e o aumento de atraso térmico de aproximadamente 19,5 vezes.

O calor acumulado na superfície da cobertura verde somente irá influenciar a superfície interior após 17,8 horas de exposição à radiação solar, isso se deve ao aumento da capacitância térmica em aproximadamente 18 vezes.

### 4.3 Análises de eficiência energética

Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A promoção da eficiência energética abrange o aprimoramento das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento. Adotam-se, como pressupostos básicos, a manutenção das condições de conforto, de segurança e de produtividade dos usuários, contribuindo adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a mitigação dos impactos ambientais [10].

Segundo Lambers *et al* [8], “A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é considerado mais eficiente do que outro se esta edificação oferece as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia”.

A seguir é demonstrada a economia energética com o uso da trapoeraba como telhado verde com intenção de isolamento térmico. Será feita uma comparação de dois casos, primeiramente será aplicado ao exemplo C5 da ABNT NBR 15220:2003 [1], e posteriormente aos módulos confeccionados pelo autor, com o intuito de se comparar a ordem de grandeza da economia em construções de diferentes dimensões. O ensaio mostrado na Figura 6 teve a seguinte disposição: módulo 1 (telha), e a direita; módulo 2 (trapoeraba/telha).



Figura 6: Módulos para medição de temperatura

Na Figura 7 são apresentadas as medições de temperaturas.

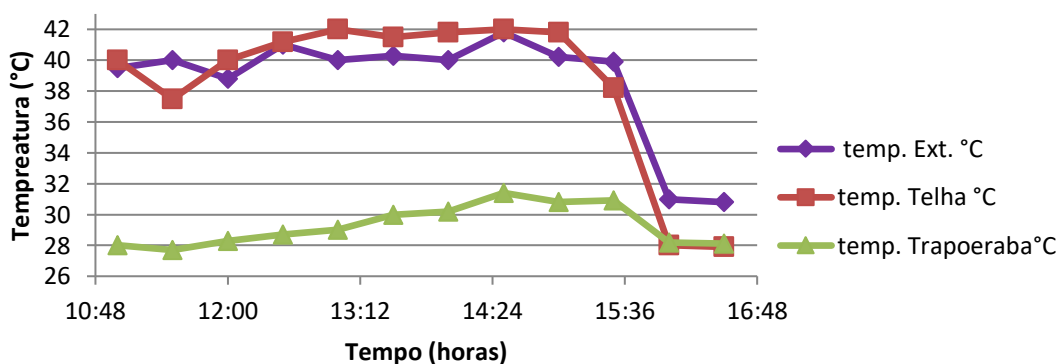


Figura 7: Gráfico de temperaturas / tempo

Na Tabela 6 estão demonstradas as temperaturas mínimas, máximas e médias adquiridas no experimento.

Tabela 6: Temperaturas para análise

Temperaturas	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Média (°C)
Exterior	36	44	38
Módulo 1	32	44	38
Módulo 2	25	34	29

O módulo 2 onde está colocada a cobertura verde, nessas condições, apresentou um amortecimento de temperatura de 24% em relação à temperatura externa, enquanto o módulo com telha nenhum amortecimento de temperatura foi observado.

Após a chuva, de grande precipitação, o módulo com apenas telhado teve uma queda de temperatura mais rápida do que a cobertura verde acompanhando a queda da temperatura externa, mostrando a maior capacidade da cobertura verde de reter o calor. Na Tabela 7, está representado o comparativo dos fluxos e taxas de calor.

Tabela 7: Fluxos e taxas de calor

Resultado das aplicações práticas	Exemplo C.5 da NBR 15220	Exemplo C.5 da NBR 15220 com trapoeraba	Módulo 1 (telha de fibrocimento)	Módulo 2 (telha de fibrocimento, trapoeraba)
Fluxo de calor $\dot{Q}$ [W · h]	1808	179,24	4260,86	15,47
Taxa de calor $\dot{Q}'$ [W · h/m <sup>2</sup> ]	64,56	6,4	2.840,6	10,3

Estes resultados demonstram que existe uma redução de cerca de 10 vezes no exemplo C.5 da ABNT NBR 15220:2003 [1], e 275 vezes nos módulos construídos pelo autor. Com esses dados podemos observar uma menor redução nos fluxos e taxas no exemplo da ABNT NBR 15220:2003 [1], que é consequência do isolamento térmico preexistente, representado por telha de amianto, espaçamento do forro ao telhado, e o forro de pinus. Nos módulos construídos pelo autor apresentou-se um isolamento de menor significância, provido apenas pela telha de amianto, onde resultou numa maior redução nos fluxos e taxas de calor.

Esses valores podem ser utilizados para quantizar a redução energética de um estabelecimento na utilização de um ar refrigerado. A redução energética iria depender basicamente da geometria, e do isolamento já existentes na edificação. O telhado verde diminuiria a perda de carga, necessitando de menos energia para o aparelho de ar condicionado atingir a temperatura selecionada.

## 5 CONCLUSÃO

A utilização de coberturas verdes em telhados se apresenta como solução em isolamento térmico para ambientes domiciliares ou industriais. Sendo a literatura na área carente de métodos e técnicas na caracterização de propriedades térmicas destes materiais, neste trabalho é apresentado um novo método de caracterização térmica de coberturas verdes. Este utiliza a resistência térmica equivalente de dois módulos, com e sem cobertura verde, podendo, com isso, inferir quanto à condutividade térmica do material, através da aplicação de balanços de energia e fenômenos de transferência de calor nos módulos.

Os primeiros resultados apresentam valores promissores, já que foi obtido o seguinte coeficiente de condutividade equivalente, 0,032 W/m·K, o qual é próximo daqueles observados na literatura para materiais similares [7].

A aplicação da trapoeraba, no telhado exemplificado na ABNT NBR 15220:2003 [1], a fica evidenciada sua função isolante, aumentando a resistência térmica em 8,5 vezes, comparada com a cobertura convencional, e o aumento do atraso térmico em aproximadamente 19,5 vezes, sendo que o calor acumulado na superfície da cobertura verde somente irá influenciar a superfície interior após 17,8 horas de exposição à radiação solar, isso se deve ao aumento da capacitância térmica em aproximadamente 18 vezes.

A análise de eficiência energética, onde é feita uma comparação dos fluxos e taxas de calor de telhados, com e sem a cobertura verde, que incidem nos módulos, de acordo com a norma ABNT NBR 15220:2003 [1], demonstrou que os resultados obtidos servem como indicativos de redução energética na utilização de um ar refrigerado, levando-se em conta a geometria da edificação e o isolamento preexistente.

## REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 15220: *Desempenho térmico de edificações: definições, símbolos e unidades*, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
- [2] R. Belarbi, R. D. Lasie e S. Ouldboukhitine. *Characterization of green roof components: Measurements of thermal and hydrological properties*. University of La Rochelle, La Rochelle, França, 2012.
- [3] F. M. G. Blanco. *Trapoeiraba uma planta daninha de difícil controle*. Disponível em: <[http://www.biologico.sp.gov.br/artigos\\_ok.php?id\\_artigo=132](http://www.biologico.sp.gov.br/artigos_ok.php?id_artigo=132)>, Acesso em outubro de 2013.
- [4] S. V. Canevarolo Jr. *Técnicas de caracterização de polímeros*. São Paulo: Editora Artiber, 2007.
- [5] N. Dunnett e N. Kingsbury. *Planting Green Roofs and Living Walls*. Department of Landscape at the University of Sheffield, Sheffield, Reino Unido, 2004.
- [6] I. L. Ferraz. *O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica*. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2012.
- [7] F. P. Incropera, Dewitt, Bergman, Lavine. *Fundamentos de transferência de calor e de massa*. Rio de Janeiro: LTC, 6ª edição, 2008.
- [8] R. Lamberts, L. Dutra e F. O. R. Pereira. *Eficiência energética na arquitetura*. Florianópolis: Editora ELETROBRAS/PROCEL, 3ª edição, 2014.
- [9] R. Lamberts e L. Dutra. *Desempenho térmico de edificações*. Apostila do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- [10] Ministério do Meio Ambiente. *Eficiência energética e conservação de energia*. Disponível em: <[www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energia](http://www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energia)>. Acesso em abril de 2014.
- [11] S. N. Ondimu e H. Murase. Combining Galerkin Methods and Neural Network Analysis to Inversely determine Thermal Conductivity of Living Green Roof Materials, *Biosystems Engineering*, 96(4):541–550, 2007.
- [12] T. Osmundson. *Roofs gardens: history, design and construction*. New York: W.W. Norton, 1999.
- [13] C. P. Ronchi, A. A. Silva, A. A. Terra, G. V. Miranda, L. R. Ferreira. Potencial de duas espécies de trapoeirabas infestantes de lavouras de café. DFT/UFV, Viçosa. MG (2000). Disponível em: <[www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb\\_anais/simposio2/manejo38.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio2/manejo38.pdf)>. Acesso em janeiro de 2017.
- [14] D. J. Sailor e M. Hagos. *An updated and expanded set of thermal property data for green roof growing media*. Department of Mechanical and Materials Engineering, Portland State University, Portland, USA, 2011.