

## ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO DE COBERTURA ATRAVÉS DA ÁGUA COLETADA DA CHUVA

*Julio Cesar Borges Junior<sup>1</sup>; Rodolpho Félix de Oliveira<sup>2</sup>; Douglas Martins Arduini<sup>3</sup>; Claiton Carvalho Soares<sup>4</sup>; Carlos Roberto Mangussi<sup>5</sup>*  
*<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Universidade de Uberaba*  
*juniorcborges@edu.uniube.br*  
*mangusi@terra.com.br*

### Resumo

Vivemos em uma sociedade em que o consumo de água é elevado e onde se é pouco pensado em questões ambientais como a preservação dos mananciais e o tratamento da mesma para que possa ser reutilizada. A escassez de água presente no mundo traz a necessidade de buscarmos alternativas para amenizar seu desperdício. A estratégia bioclimática de resfriamento evaporativo da cobertura é uma dessas alternativas e consiste em pulverizar água sobre o telhado, fazendo com que o mesmo ceda calor e ocorra evaporação, com isto acontecerá o resfriamento do ambiente interno e umidificação do ambiente externo. Para isso é preciso estudar os tipos de coberturas mais comuns e realizar testes de eficiência de desempenho térmico. O projeto tem como objetivo ajudar economicamente através da diminuição de gasto energético com fontes de resfriamento, como, ventiladores e ar-condicionado. Foram feitos testes com protótipos em escala real, onde foram coletados dados de temperatura antes e depois da cobertura ser molhada. Com base nesses dados montou-se planilhas no programa MS Excel, para calcular e comparar o fluxo de calor de acordo com a temperatura. No decorrer do projeto também foi calculada uma bomba centrífuga necessária para o funcionamento do sistema e comparar o gasto energético.

**Palavras-chave:** Telhado. Temperatura. Cerâmica. Evaporação.

### 1 Introdução

A estratégia bioclimática de resfriamento evaporativo da cobertura consiste em irrigar o telhado, fazendo com que o mesmo ceda calor para a água evaporar e desse modo resfriando o ambiente interno e umidificando o externo, mas esse método de resfriamento será interessante caso seja reaproveitada outra fonte de água, sem ser a da residência.

Segundo Camargo (2004), o resfriamento evaporativo consiste na utilização da evaporação d'água através da passagem de um fluxo de ar, provocando uma redução da temperatura. No caso desse projeto, os fluídos de trabalhos são a água e a radiação solar que também é um fenômeno natural e influencia no processo.

Para Frota e Schiffer (2001) de acordo com o clima do ambiente, os recursos naturais podem não ser suficientes para o equilíbrio térmico desejado, porém mesmo sem resultados esperados, deve-se buscar esses meios para que o consumo de energia elétrica seja minimizado.

Conforme afirma Bagnati (2013), antes de começar a pensar em uma estratégia bioclimática para melhorar o clima do ambiente, é importante conhecer primeiro como as adversidades do clima interfere no mesmo, além de identificar os melhores materiais para as diferentes temperaturas e seus coeficientes para realizar os devidos cálculos.

## 11º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 16 de outubro a 30 de novembro de 2017

Segundo Mascaró (1991), na execução de um projeto deve-se excluir os ganhos por radiação solar nos ambientes internos e procurar diminuir esses ganhos através do meio externos em fachadas e coberturas.

O telhado das casas tem a função de proteger a residência de intempéries como raios solares, ventos e chuva, porém a água é um dos bens mais preciosos que temos e, com as chuvas, é desperdiçado através de bueiros, ralos e tubulações de esgoto.

Segundo Michels (2007), é importante escolher corretamente o material de cobertura, pois o conforto do ambiente dependerá da capacidade desse material em absorver e transferir a radiação solar. Diante disso, a pesquisa envolve testes com diferentes tipos de cobertura, para que no final possa ser determinada aquela de melhor desempenho térmico.

É explicado por Michels (2007) que o telhado é o elemento com maior exposição solar nas residências horizontais, sendo que este absorve a maior parte da energia solar e transfere para o ambiente interno da edificações, sendo assim, aumentando a temperatura. Portanto, nota-se a importância de tentar impedir o ganho de calor começando pela cobertura, sendo o sistema de resfriamento evaporativo uma das alternativas para minimizar esses ganhos.

Esta pesquisa tem por objetivo efetuar testes de desempenho térmico, com base no referencial teórico, com cobertura cerâmica, fibrocimento, aço galvanizado e acrílica, para comprovar a melhoria da temperatura interna através da água coletada da chuva na superfície, utilizando cálculos de conforto térmico de acordo com a NBR 15220, além de verificar a viabilidade do sistema.

### 2 Materiais e Métodos

O método consiste em aferir a temperatura externa e interna do ambiente, em dias e horários diferentes, com um relógio termo higrômetro, que indica umidade e temperatura máxima e mínima, e aferir a temperatura

externa e interna pontual da cobertura com termômetro infravermelho. Primeiro coleta-se essas medidas com a cobertura seca e anota-se o horário da primeira medição, após molhar a cobertura com um aspersor ligado à uma mangueira de jardim durante um período de 30 minutos, coleta-se novamente as medidas e anota-se o horário da segunda medição. Com os dados coletados, monta-se uma planilha no programa MS Excel para calcular e comparar valores. Os materiais utilizados consistem em instrumentos como termômetro infravermelho, computadores, calculadoras, relógio termo higrômetro, mangueira de jardim, aspersor e caderno de anotações.

Para os resultados de fluxo térmico foram utilizados as equações 1 e 2 encontradas em DUARTE, V. C. P.; *et al.* (2016), para o cálculo do fluxo de calor e do fluxo de calor médio, respectivamente:

$$\text{Eq. (1): } Q = U \times A \times (\alpha \times RS \times Rse + \Delta t - 4)$$

Onde:

Q: é o fluxo térmico (W);

U: é a transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>K);

A: é o valor numérico da área da cobertura (m<sup>2</sup>);

$\alpha$ : é o coeficiente de absorvidade térmica;

RS: é a radiação solar (W/m<sup>2</sup>);

Rse: é a resistência superficial externa (m<sup>2</sup>K/W);

$\Delta t$ : é a variação de temperatura (°C);

$$\text{Eq. (2): } QM = (Qmáx + Qmín) / 2$$

Onde:

QM: é o fluxo de calor médio (W);

Qmáx: é o fluxo de calor para a temperatura máxima (W);

Qmín: é o fluxo de calor para a temperatura mínima (W);

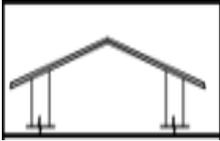
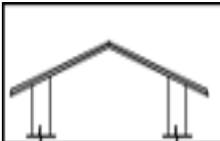
E os dados como, transmitância térmica (U), absorvância ( $\alpha$ ), emissividade (e) e Resistência térmica superficial externa (Rse), foram retirados dos quadros mostrados abaixo encontrados na ABNT NBR 15220/2003

**11º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 16 de outubro a 30 de novembro de 2017**

(Desempenho térmico de edificações) parte dois e três.

Fonte: ABNT NBR 15220/2003.

**Quadro 1** - Transmitância térmica para algumas coberturas.

Cobertura	Descrição	U [W/m <sup>2</sup> .k]
	Cobertura de telhado de barro sem forro Espessura da telha: 1,0 cm	4,55
	Cobertura de telha de fibro -cimento sem forro Espessura da telha: 0,7 cm	4,60
	Cobertura de telha de barro com forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00
	Cobertura de telha de fibro – cimento com forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00

Fonte: ABNT NBR 15220/2003.

**Quadro 2** - Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $e$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas).

Tipo de superfície	$\alpha$	$e$
Chapa de alumínio (nova e Brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98

**Quadro 3**- Resistência térmica superficial externa.

Rse (m <sup>2</sup> .k)/w		
Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente
		
0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT NBR 15220/2003.

**Quadro 4** - Dados de Radiação Solar Incidente sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m<sup>2</sup>).

Latitude: 20° Sul.

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	
S	0	28	45	53	60	65	68	65	60	53	45	28	0	março 22 / setembro 22
SE	219	537	668	573	443	285	110	65	60	53	45	28	0	
E	221	573	741	652	508	306	68	65	60	53	45	28	0	
NE	94	289	407	402	341	222	68	65	60	53	45	28	0	
N	88	203	229	189	155	135	127	135	155	189	229	203	88	
NW	0	28	45	53	60	65	68	222	341	402	407	289	94	
W	0	28	45	53	60	65	68	306	508	652	741	573	221	
SW	0	28	45	53	60	65	110	285	443	573	668	537	219	
H	0	157	439	686	897	1025	1071	1025	897	686	439	157	0	

Fonte: Frota e Schiffer (2001).

Para o cálculo da bomba centrífuga foi utilizado o modelo inicial BCR – 2000, produzido pelas Indústrias Schneider Motobombas.

Para verificar se a bomba escolhida irá atender o sistema, é preciso fornecer alguns dados de projeto. Conforme fornecido pelo fabricante, o diâmetro da tubulação de recalque será de 25 mm (3/4”) e como o diâmetro de sucção é uma medida acima do de recalque, será adotado 32 mm (1”).

A vazão de projeto adotada para o protótipo será a mesma de uma torneira de jardim, de acordo com a ABNT NBR 5626 (1998), essa vazão é de 0,20 litros por segundo ou 0,72 metros cúbicos por hora.

### 3 Resultados

#### 3.1 Testes de conforto térmico da telha cerâmica e fibrocimento

Os fluxos de calor encontrados a partir da equação 01 e 02 se encontram no quadro 5.

## 11º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 16 de outubro a 30 de novembro de 2017

**Quadro 5 – Resultados obtidos para as telhas cerâmica e fibrocimento.**

.....		Média das temperaturas				
		Telha Fibrocimento				
Seca	Temp. Máx. (C°)	31,9	31,9	33,6	40,6	33,1
	Temp. Mín. (C°)	31,6	31,6	32,0	38,9	33,0
	Úmidade Máx. (%)	63	52	63	57	57
	Úmidade Mín. (%)	56	48	56	53	51
	Fluxo de Calor (W)	1587,4	1484,5	1068,5	1433,5	995,1
Molhada	Temp. Máx. (C°)	28,5	30,7	30,4	28,7	32,6
	Temp. Mín. (C°)	25,0	30,4	28,3	28,0	30,4
	Úmidade Máx. (%)	70	51	60	67	50
	Úmidade Mín. (%)	67	49	57	61	43
	Fluxo de Calor (W)	1574,7	1287,7	1011,1	1122,8	1090,9
	Dia	08/02/2017	15/02/2017	23/02/2017	09/03/2017	17/03/2017
.....		Média das temperaturas				
		Telha Cerâmica				
Seca	Temp. Máx. (C°)	31,3	31,3	31,1	36,8	31,4
	Temp. Mín. (C°)	30,5	31,0	30,2	34,5	32,0
	Úmidade Máx. (%)	67	60	67	60	57
	Úmidade Mín. (%)	65	46	63	49	55
	Fluxo de Calor (W)	2151,5	1921,6	1373,6	1848,6	1348,0
Molhada	Temp. Máx. (C°)	29,0	32,7	30,3	31,1	30,5
	Temp. Mín. (C°)	28,0	32,2	29,2	30,6	29,6
	Úmidade Máx. (%)	69	49	61	61	59
	Úmidade Mín. (%)	65	41	49	56	59
	Fluxo de Calor (W)	2147,8	1613,2	1333,4	1369,9	1486,8
	Dia	08/02/2017	15/02/2017	23/02/2017	09/03/2017	17/03/2017

Fonte: Acervo dos autores (2017).

De acordo com o aplicativo altímetro guiado pelo sistema GPS (Figura 1), verificou-se que a Latitude da cidade de Uberaba é de 19° 45' 16" Sul, próxima de 20° Sul. Com base nesses dados foi encontrado o índice de Radiação Solar (RS), para o período entorno de 15:00 horas, conforme Quadro 6.

**Figura 1 – Aplicativo altímetro guiado por GPS.**



Fonte: Acervo dos autores (2017).

### 3.2 Dimensionamento da bomba para atender o sistema:

De acordo com a montagem do protótipo, a altura de sucção será de 1 metro, a altura de recalque 2,18 metros, o comprimento de tubulação desenvolvido na sucção de 1,50 metros e no recalque 5,80 metros.

O comprimento equivalente das peças na sucção foi de 15,10 metros e no recalque foi de 3,90 metros. Somando esses valores com os comprimentos equivalentes das peças, encontra-se o comprimento total na sucção de 16,60 metros e no recalque de 9,70 metros.

Seguindo a base de cálculo fornecida pelo fabricante, encontra-se a altura manométrica da bomba de 3,74 m.c.a. e potência da boma de 0,091 CV. Como o modelo escolhido opera com ¼ CV para uma altura de 4 metros, então atenderá o sistema.

Comparando a potência da bomba de 183,875 W (1/4 CV) com um ventilador de 60 W, não é eficiente, pois são necessários 3 ventiladores para atingir essa potência. Porém um aspersor possui raio de alcance de 4 metros (Figura 2), com isso atinge uma área de 50,26 m².

**Figura 2 – Características do aspersor.**



#### Aspersor Perereca

- Vazão: 450 L/h
- Raio de alcance: 4,0 m
- Pressão de serviço: 0,5 kg/cm
- Entrada p/ mangueira: 3/4" x 1/2
- Irrigação: jardins

Fonte: Garden Brasil (2017).

## 11º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 16 de outubro a 30 de novembro de 2017

Como a bomba dimensionada atinge uma vazão de até 3,2 m<sup>3</sup>/h, conseguirá atender 7 aspersores que cobrirão juntos uma área de 351,82 m<sup>2</sup>.

### 4 Discussão

O fluxo de calor é diretamente proporcional à temperatura, ou seja, quanto maior a diferença de temperatura entre a parte externa e interna maior o fluxo de calor.

A troca de energia térmica entre a água e a cobertura se faz através de condução o que fez com que a temperatura interna e externa reduza melhorando assim o conforto térmico. Entretanto, a troca de calor ambiente se faz por radiação. Sendo assim para se obter melhores resultados na redução de temperatura e no fluxo de calor pode-se utilizar de outras técnicas além da irrigação com água, como a mudança na cor da cobertura, pois cores mais claras absorvem menos calor.

Já no quesito energia o sistema se mostrou eficiente, se comparado a ventiladores, desde que seja utilizado para substituir mais de três.

### 5 Conclusão

Para as telhas em estudo de conforto térmico temos o estudo de fluxo de calor, temperatura e umidade. Assim podemos verificar que as telhas cerâmica e de fibrocimento apresentaram um comportamento diferente. O fluxo térmico calculado para a cobertura de barro se mostrou mais eficiente do que a da cobertura de fibrocimento, pois apresentou resultados maiores e quanto maior o fluxo de calor maior é a diferença de temperatura interna e externa.

O sistema se mostrou eficiente dependendo da necessidade de quem irá utilizá-lo. Mostrou redução gradual de temperatura e um aumento na umidade relativa do ar. A redução de temperatura não foi muito grande, entretanto,

foi sensível no interior dos protótipos a melhoria do conforto interno.

O sistema apresenta uma forma de reaproveitamento de água da chuva, pois sua ideia é reutilizar a água proveniente da precipitação, tendo sua coleta através das calhas para um reservatório devidamente calculado, entretanto, no quesito energia ele se mostra viável apenas quando substitui três ou mais ventiladores como mostrado nos cálculos desenvolvidos.

### Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5626:** Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15527:** Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BAGNATI, M. M. **Zoneamento bioclimático e arquitetura brasileira: qualidade do ambiente construído.** 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013.

---

**11º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 16 de outubro a 30 de novembro de 2017**

---

DUARTE, V. C. P.; *et al.* **Desempenho térmico de edificações.** 7ª edição – Florianópolis: LabEEE, 2016.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243 p.