

**Aplicação da bucha vegetal (*Luffaaegyptiaca*) para colmeia de resfriamento evaporativo no Oeste da Bahia**

**Sponge gourd (*Luffaaegyptiaca*) application as an evaporative cooling matrix at West of Bahia**

DOI:10.34117/bjdv6n6-272

Recebimento dos originais:08/05/2020

Aceitação para publicação:11/06/2020

**Nielza de Azevedo Matos Brito**

Estudante de Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Oeste da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia  
Endereço: Av. Dr. Manoel Novaes, 1064 – Centro, Bom Jesus da Lapa – BA, Brasil  
E-mail: nielzacte@gmail.com

**André Issao Sato**

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas  
Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia  
Endereço: Av. Dr. Manoel Novaes, 1064 – Centro, Bom Jesus da Lapa – BA, Brasil  
E-mail: andre.sato@ufob.edu.br

**Anderson Breno Souza**

Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Vale do São Francisco  
Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia  
Endereço: Av. Dr. Manoel Novaes, 1064 – Centro, Bom Jesus da Lapa – BA, Brasil  
E-mail: anderson.souza@ufob.edu.br

**Luiz Justino da Silva Júnior**

Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia pela Universidade Estadual de Santa Cruz  
Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia  
Endereço: Av. Dr. Manoel Novaes, 1064 – Centro, Bom Jesus da Lapa – BA, Brasil  
E-mail: luiz.silva@ufob.edu.br

**RESUMO**

O resfriamento evaporativo é um dos mais antigos e mais eficientes métodos para refrigeração passiva de uma edificação e em climas secos. Seu processo físico se baseia na evaporação da água, que retira calor do ambiente ou do material sobre o qual a evaporação acontece. Este projeto destaca-se, primeiramente, pela aplicação regional – no oeste baiano - visto que a região é caracterizada pela alta temperatura ambiente e baixa umidade do ar ao longo do ano. Com base em estudos de materiais alternativos, percebeu-se a possibilidade da aplicação e avaliação do desempenho da bucha vegetal (*Luffaaegyptiaca*) para a construção da colmeia evaporativa em sistemas comerciais de climatizadores, tendo em vista sua abrangência na região e fácil adaptação ao sistema proposto. Os resultados indicam que a substituição do

material é viável e de fácil aplicação, apresentando características de resfriamento do ar ambiente próximas às da placa comercial.

**Palavras-Chave:** Resfriamento evaporativo, colmeia evaporativa, placa de celulose, bucha vegetal.

#### **ABSTRACT**

Evaporative cooling is one of the oldest and most efficient methods for passively cooling a building and at dry climates. Its physical process is based on water evaporation, which removes heat from the environment or from the material on which evaporation occurs. This project is based, primarily, for its regional application - in western Bahia - since the region is characterized by high ambient temperature and low air humidity throughout the year. Based on studies of alternative materials, there is a possibility of applying and evaluating the performance of the sponge gourd (*Luffaegyptiaca*) for the construction of an evaporative hive in a commercial climatizing system. The results indicate that replacing the commercial cellulose hive by the sponge gourd is feasible and easy to apply, presenting cooling results close to the commercial material.

**Keywords:** Evaporative cooling, evaporative hive, cellulose matrix, sponge gourd matrix.

## **1 INTRODUÇÃO**

O resfriamento ambiental tem forte relevância, na medida em que, segundo Kowaltowski (2011), locais com desconforto térmico (seja por temperaturas elevadas, baixa umidade ou falta de ventilação adequada) podem provocar alterações físicas e psicológicas nos indivíduos, e ocasionando inclusive situações prejudiciais à saúde dos mesmos.

Uma alternativa comumente utilizada para a climatização de ambientes consiste no uso de aparelhos de ar-condicionado, que resfriam o ar ambiente, ao mesmo tempo em que reduzem a umidade do ar e sem que ocorra a sua renovação. Teixeira et al. (2005) indica os efeitos nocivos da falta de renovação do ar ambiente pelo uso de sistemas de ar condicionado centrais e provocando a chamada Síndrome do Edifício Doente (SED). Os sistemas de climatização evaporativos, ao contrário, necessitam de constante renovação do ar ambiente e, simultaneamente, não reduzem a umidade relativa para o efeito de resfriamento.

Comumente, em regiões de clima quente e baixa umidade, utilizam-se jarros cerâmicos com água ou toalhas molhadas nas janelas residenciais com a finalidade de se amenizar o calor em ambientes internos e, segundo Oliveira (2011), essas técnicas empíricas de resfriamento evaporativo são observadas com frequência ao longo da história.

Conforme Yanagi et al. (2017), quando o ar percorre uma matriz aletada ou porosa encharcada de água, esse cede energia na forma de calor para o líquido, que evapora, provocando a queda de temperatura do ar e o aumento da umidade relativa do mesmo. Assim, o

material de construção da matriz evaporativa consiste em uma importante variável na análise do equipamento.

O material mais disseminado para aplicação em painéis evaporativos é a placa de celulose (Figura 1) e constituída pela junção de diversas folhas de celulose corrugadas. A estrutura final possui a configuração de uma colmeia, na qual os dutos formados permitem a passagem do ar e também o escoamento da água.

Figura 1 – Painel evaporativo de celulose tipo colmeia.



Fonte: Pereira (2017).

Para Pereira (2017), o valor ainda considerável para as placas de celulose consiste em um parâmetro importante para o estudo de novos materiais que sejam capazes de competir em termos de desempenho e apresentando um custo menor. Além disso, Oliveira (2011) destaca que a utilização de painéis de celulose pode acarreta em sérios danos ambientais, quando os mesmos são fabricados de matéria proveniente de árvores que não sejam de reflorestamento ou que exijam a derrubada de áreas nativas para novos campos de cultivo.

A fabricação de painéis com materiais alternativos apresenta uma gama de opções para materiais de fácil aquisição e baixo custo – como as fibras vegetais. Pode-se citar, neste caso, a bucha vegetal (*Luffaegyptiaca*) (Figura 2). Trata-se de uma planta herbácea trepadeira, presente na Ásia, África e América, e vastamente encontrada no Brasil. É, normalmente, aplicada como esponja de banho ou limpeza em geral e sua constituição é de 54% de celulose e 15% de lignina. (NAVARRO; MEDEIROS; MAIA, 1991 apud ALMEIDA, 2007)

Figura 2 – Bucha Vegetal.



Fonte: Pereira (2017).

Outro parâmetro de influência sobre o processo é, segundo Sánchez et al. (2012), a umidade relativa do ar ambiente, pois a transferência de massa provocada pela evaporação é diretamente proporcional ao gradiente de umidade presente entre ar e filme de água.

Ainda assim, nota-se a necessidade de maior pesquisa quanto às aplicações de resfriamento evaporativo em climatização de ambientes – como realizado por Carvalho et al. (2009) no sudoeste brasileiro – especialmente aplicado na região do oeste baiano. Sendo assim, a presente pesquisa tem como objetivo geral a adaptação de um sistema comercial de climatização com uma matriz de bucha vegetal. Essa avaliação se dividiu na observação isolada de um painel com buchas alinhadas e um painel com buchas cruzadas. Dados de temperatura e umidade relativa foram obtidos para efeito comparativo do funcionamento das diferentes placas.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

O trabalho consistiu em uma pesquisa puramente experimental, com a análise quantitativa das variáveis estabelecidas como essenciais para o funcionamento do sistema. Para isto, realizou-se uma análise experimental com coleta de dados referentes à temperatura, umidade e vazão do fluxo de ar variando-se o material das colmeias.

Foi utilizado um equipamento comercial, com especificações na Tabela 1, para o teste das colmeias que consistiram em três formatos. As duas disposições escolhidas (alinhadas e cruzadas) para a bucha vegetal são apresentadas nas Figura 3a-b, sendo construídas a partir de tela metálica com dimensão total de 68 cm x 62 cm x 6 cm, como indicado na Figura 4.

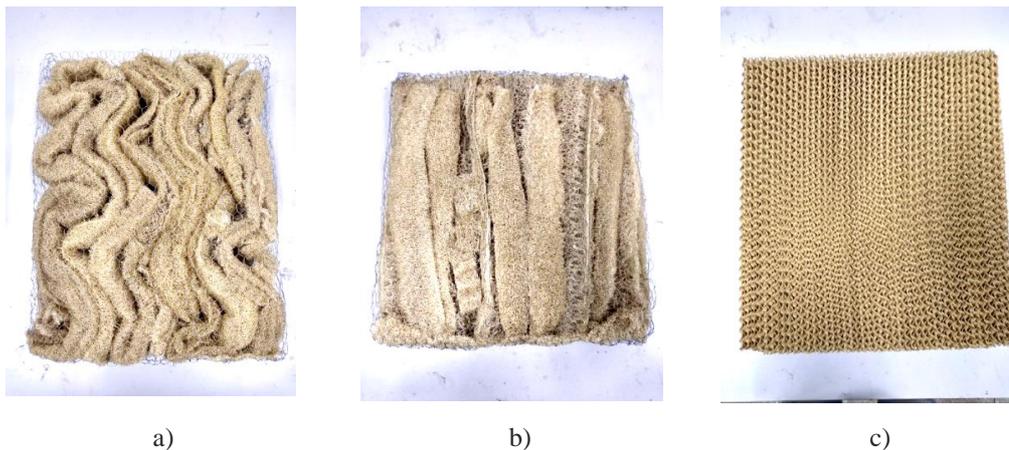
As buchas foram dispostas na estrutura de forma a preencher o espaço e garantir que o volume ocupado pelas novas colmeias fosse semelhante ao volume da placa comercial de celulose.

Tabela 1– Especificações do Climatizador comercial utilizado.

Marca	Ventisol®
Capacidade de armazenamento de água	45 litros
Potência do Ventilador	5000 W (220 V)
Modelo	CLI 45 PRO

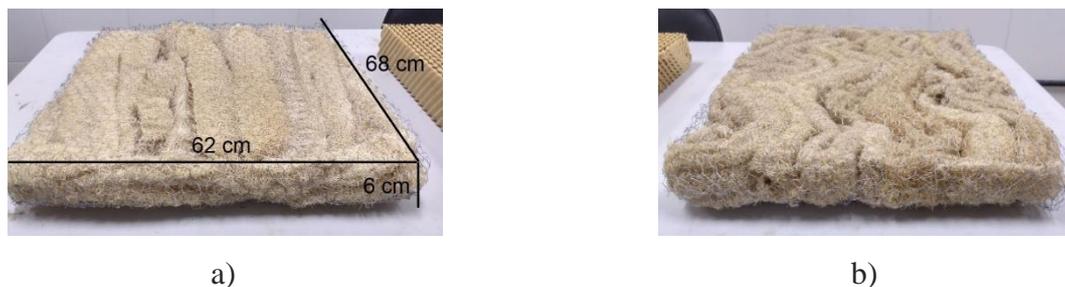
Fonte: Autor (2020).

Figura 3 – Painéis avaliados: a) Painel evaporativo de buchas cruzadas; b) Painel evaporativo de buchas alinhadas; c) Placa de celulose comercial.



Fonte: Autor (2020).

Figura 4 – Dimensões das estruturas: a) buchas alinhadas e b) buchas cruzadas.



Fonte: Autor (2020).

A Figura 5a apresenta a parte interna do climatizador vista pela lateral, observa-se que há uma linha de alimentação de água e uma colmeia de pequenas dimensões. Para garantir que o ar passasse somente pelas colmeias utilizadas, as laterais foram vedadas e, para evitar

alterações na vazão de água no sistema e respingos no ventilador, a colmeia lateral foi mantida juntamente com o sistema de alimentação desta. A vedação final é observada na Figura 5b. Para a fixação das estruturas na parte traseira do climatizador, foi utilizada uma fita metálica e mantida a estrutura de plástico do próprio equipamento. A montagem pode ser observada na Figura 5c.

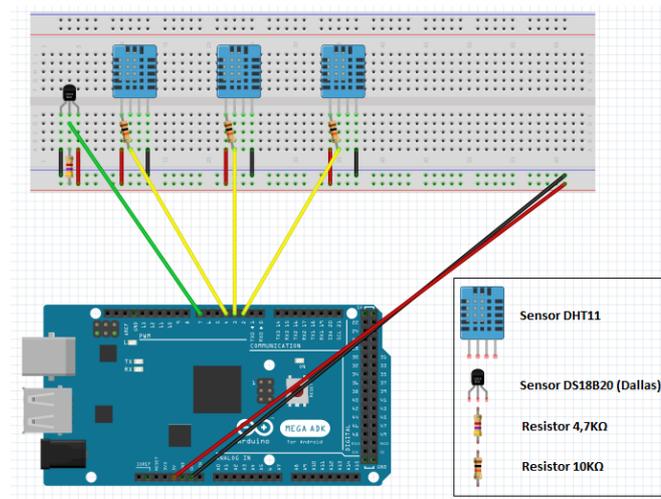
Figura 5 – Vistas: a) lateral interna do sistema; b) lateral com vedação; c) Suporte para colmeia.



Fonte: Autor (2020).

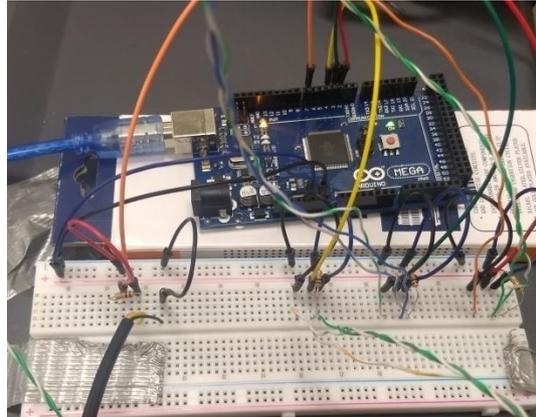
A coleta de dados foi feita por meio de: uma placa de microcontrolador Arduino® Mega; sensores DHT11 para medição de umidade e temperatura, com especificações conforme Tabela 2; sensor blindado DS18B20 para medição de temperatura no reservatório de água, com especificações conforme Tabela 3; e anemômetro de hélice para medição de velocidade, com especificações conforme Tabela 4. O circuito utilizado na obtenção dos dados está representado na Figura 6 e com a montagem experimental apresentada na Figura 7.

Figura 6 – Esquema do circuito utilizado para obtenção dos dados.



Fonte: Autor (2020).

Figura 7 - Circuito real utilizado para obtenção dos dados.



Fonte: Autor (2020).

Tabela 2 – Especificações sensor DHT11.

<b>Faixa de umidade</b>	20 a 90% UR
<b>Faixa de temperatura</b>	0° a 50°C
<b>Precisão de umidade</b>	± 5,0% UR
<b>Precisão de temperatura</b>	± 2.0 °C
<b>Tempo de resposta</b>	< 5s

Fonte: Autor (2020).

Tabela 3 – Especificações sensor DS18B20.

<b>Faixa de temperatura</b>	-55°C a 125°C
<b>Precisão</b>	± 0.5°C
<b>Resolução</b>	9 ou 12 bits
<b>Tempo de atualização</b>	<750ms

Fonte: Autor (2020).

Tabela 4 – Especificações termo-anemômetro digital.

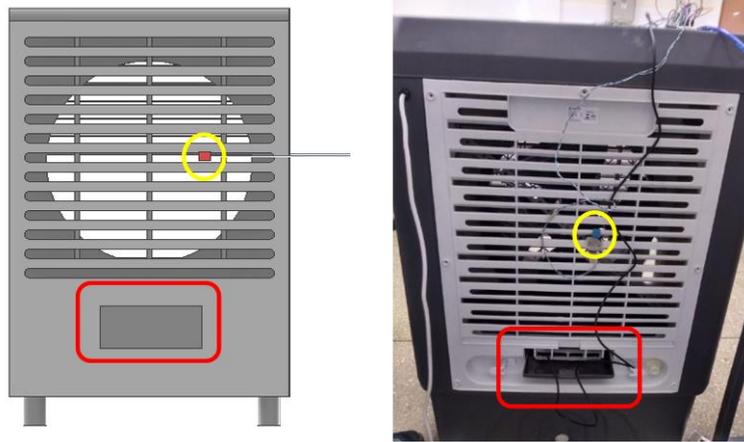
<b>Faixa de velocidade</b>	0 a 30m/s
<b>Precisão</b>	± 5%
<b>Resolução</b>	0,1

Fonte: Autor (2020).

Os conectores dos sensores foram soldados em fios de extensão de cobre para que fossem dispostos em pontos na entrada e saída do escoamento, conforme apresentado nas Figuras 8 e 9. O primeiro sensor foi fixado na parte anterior do climatizador para a obtenção dos dados referentes ao ar de entrada e é apresentado com uma marcação amarela na Figura 8.

O sensor DS18B20 blindado foi utilizado para a medição da temperatura da água no reservatório do climatizador (indicado pela marcação em vermelho na Figura 8).

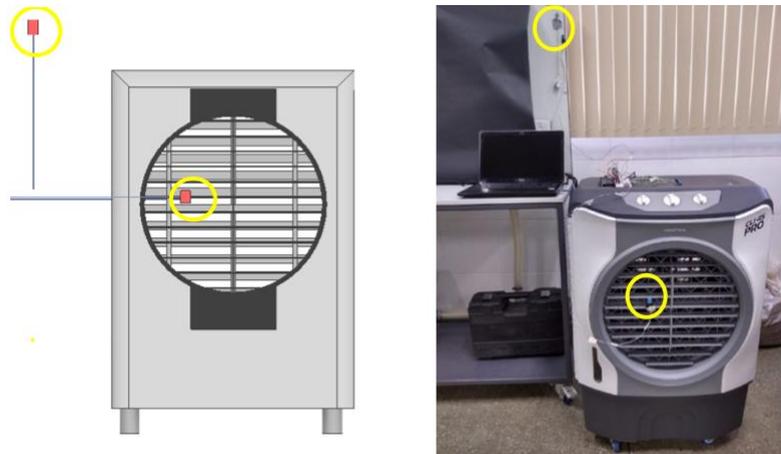
Figura 8 – Locais de fixação dos sensores de umidade e temperatura: vista traseira.



Fonte: Autor (2020).

O segundo sensor foi posicionado na saída do fluxo de ar do sistema e o terceiro sensor, por sua vez, foi disposto no ambiente a uma distância de 1 metro do climatizador – apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Locais de fixação dos sensores de umidade e temperatura: vista frontal.



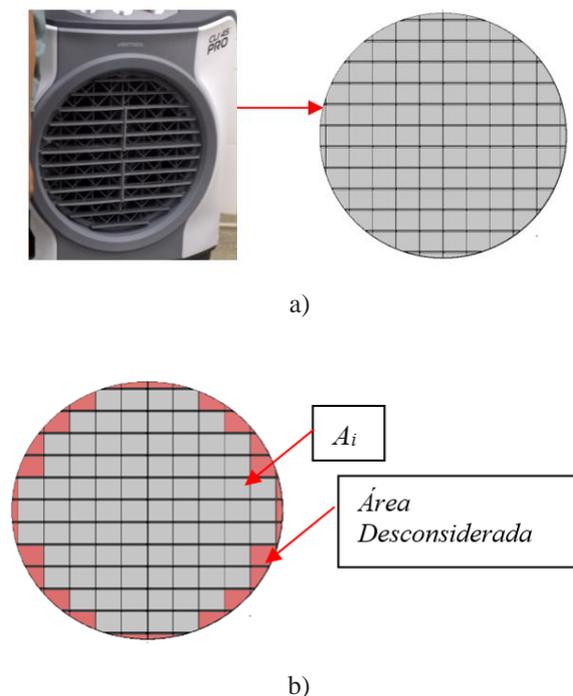
Fonte: Autor (2020).

Para cada matriz analisada, foram realizados 5 experimentos. O primeiro valor foi registrado com o sistema parado para indicar as condições ambientais e, após o sistema ser ligado, foram observados os dados a cada 15 minutos. Para garantir a confiabilidade dos

resultados, ao obter variações inferiores a 0,1 °C para a temperatura e 5% de umidade, o equipamento era considerado como em regime de operação e os últimos valores obtidos considerados para análise. Logo após, foi aguardado um curto período entre 15 e 20 minutos para que o painel evaporativo secasse e se iniciasse um novo experimento. Vazões constantes de água e potência no motor do ventilador foram utilizadas em todos os experimentos.

O método utilizado para a obtenção da vazão de ar proveniente do ventilador do sistema foi baseado segundo Pereira (2014). A saída de ar do climatizador foi subdividida em 82 elementos de área de dimensões 33mm x 40mm (Figura 10a), nas quais tiveram seus respectivos valores de velocidade medidos com o auxílio de um anemômetro. Por se tratar de uma saída de ar circular, algumas áreas posicionadas nas extremidades não foram consideradas devido a dificuldades de medição com o modelo de anemômetro utilizado (Figura 10b).

Figura 10 – Abordagem adotada para medição da vazão. a) Subdivisão de áreas e b) áreas desconsideradas.



Fonte: Autor (2020).

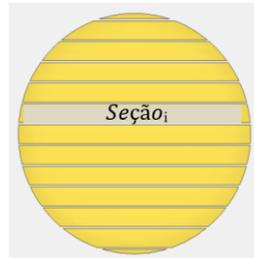
Após a medição de cada valor de velocidade, as vazões em cada divisão foram calculadas pela Equação (1). Sendo  $Q_i$  a vazão na subdivisão,  $V_i$  a velocidade medida na subdivisão e  $A_i$  a área na subdivisão.

$$Q_i = V_i \times A_i \quad (1)$$

As áreas foram organizadas em 11 seções de escoamento, de acordo com a Figura 11. A vazão média em cada uma dessas seções foi obtida por meio da Equação (2). O somatório das vazões das seções resultou na vazão total do sistema.

$$Q_{Seção} = \frac{\sum Q_i}{n_i} \quad (2)$$

Figura 11 – Vista frontal da saída de ar e seções para cálculo da vazão.

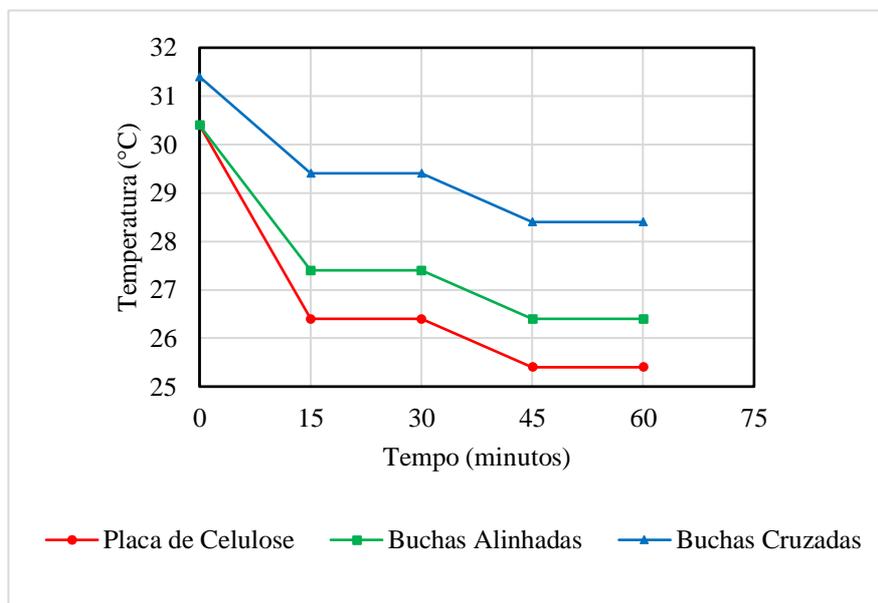


Fonte: Autor (2020).

### 3 RESULTADOS

A Figura 12 apresenta o comportamento das temperaturas na saída do climatizador para cada colmeia. A análise para cada material foi realizada em dados dos experimentos que apresentaram a maior similaridade nas condições iniciais.

Figura 12 – Gráfico da variação de temperatura do ar na saída para diferentes materiais.



Fonte: Autor (2020).

O gráfico apresenta o comportamento da temperatura do ar, para as três placas e por um período de 1 hora. A colmeia de celulose apresentou variação de temperatura entre a entrada e saída do climatizador em 5°C. As buchas cruzadas apresentaram a variação mais próxima da celulose e, ainda assim, com uma diferença de 1°C abaixo. A Tabela 5 indica as variações entre entrada e saída do ar no equipamento e para cada colmeia utilizada nos experimentos apresentados na Figura 12.

Tabela 5 - Variação total da temperatura do ar.

Material do Painel Evaporativo	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Variação total (°C)
Celulose	30,4	25,4	5
Buchas Alinhadas	30,4	26,4	4
Buchas Cruzadas	31,4	28,4	3

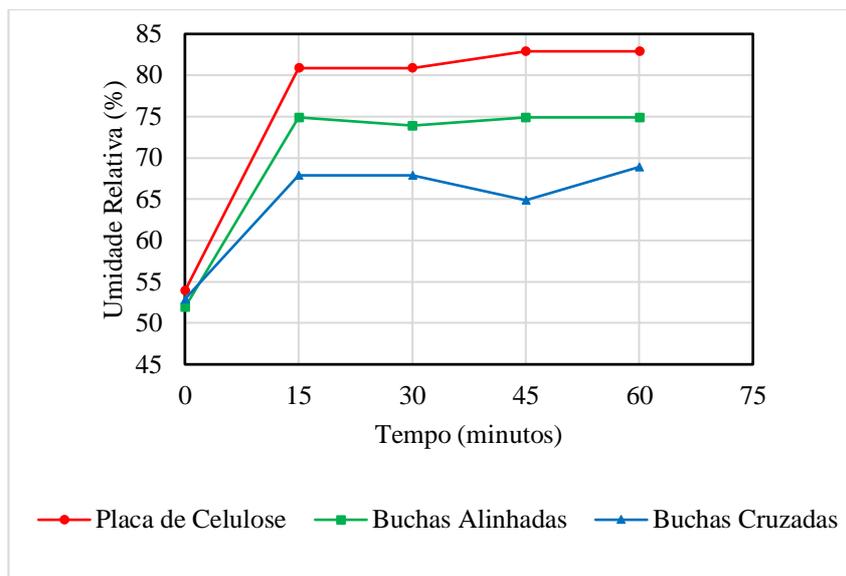
Fonte: Autor (2020).

As colmeias evaporativas de bucha vegetal, quando comparadas à placa de celulose comercial, produziram menores variações de temperaturas do ar – 20% (para a bucha alinhada) e 40% (para a bucha cruzada) abaixo da placa de celulose.

A mesma análise foi realizada para a umidade relativa entre entrada e saída (Figura 13 e Tabela 6). Os experimentos analisados consistem nos mesmos cujas temperaturas foram apresentadas anteriormente. Comportamento semelhante foi observado com a variação da umidade relativa do ar – 20,7% para bucha alinhada e 44,8% para bucha cruzada abaixo da placa comercial – indicando a relação direta de redução de temperatura do ar com a elevação da umidade relativa do mesmo.

Cabe destacar que a vazão de água no sistema foi mantida constante em todos os experimentos e, assim, a observação dos resultados indica que as novas placas apresentam uma transferência evaporativa de massa inferior à placa de celulose.

Figura 13- Gráfico da variação da umidade relativa do ar na saída para diferentes materiais.



Fonte: Autor (2020).

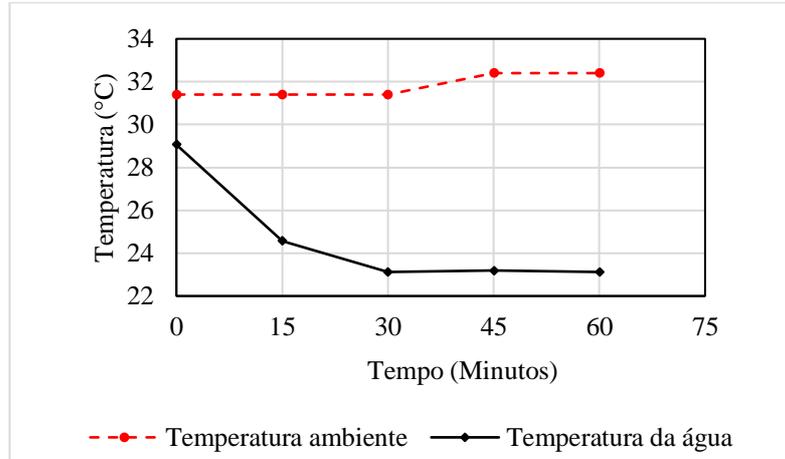
Tabela 6 - Variação da umidade relativa do ar no final do experimento.

Material do Painel Evaporativo	Umidade Relativa Entrada (%)	Umidade Relativa Saída (%)	Varição total (%)
Celulose	53,9	82,9	29
Buchas Alinhadas	51,9	74,9	23
Buchas Cruzadas	52,9	68,9	16

Fonte: Autor (2020).

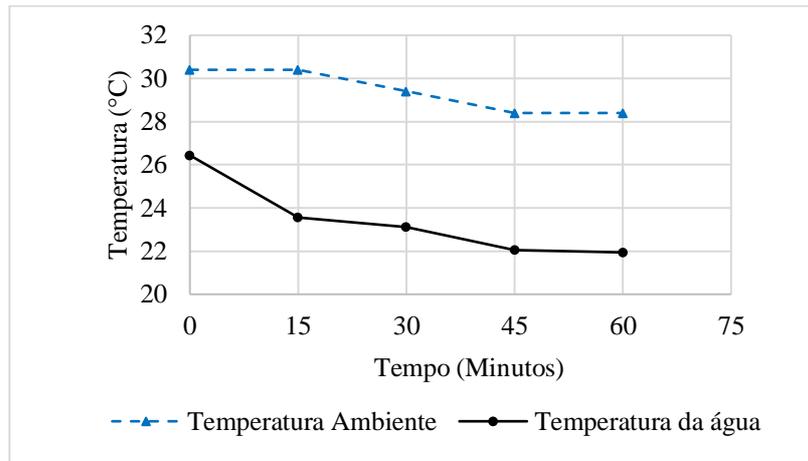
As Figuras 14, 15 e 16 apresentam o comportamento da temperatura ambiente para cada um dos experimentos, bem como a curva do comportamento da temperatura da água presente no reservatório do sistema de climatização.

Figura 14 – Temperatura ambiente e da água para a colmeia de celulose.



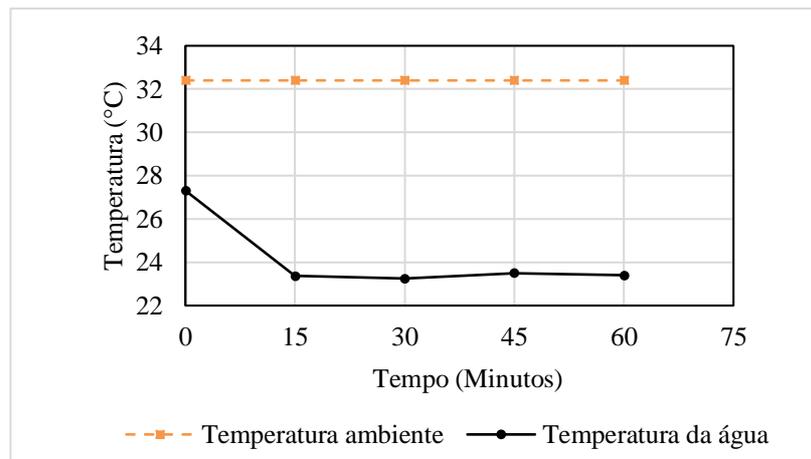
Fonte: Autor (2020).

Figura 15 – Temperatura ambiente e da água para a colmeia de bucha alinhada.



Fonte: Autor (2020).

Figura 16 – Temperatura ambiente e da água para a colmeia de bucha cruzada.

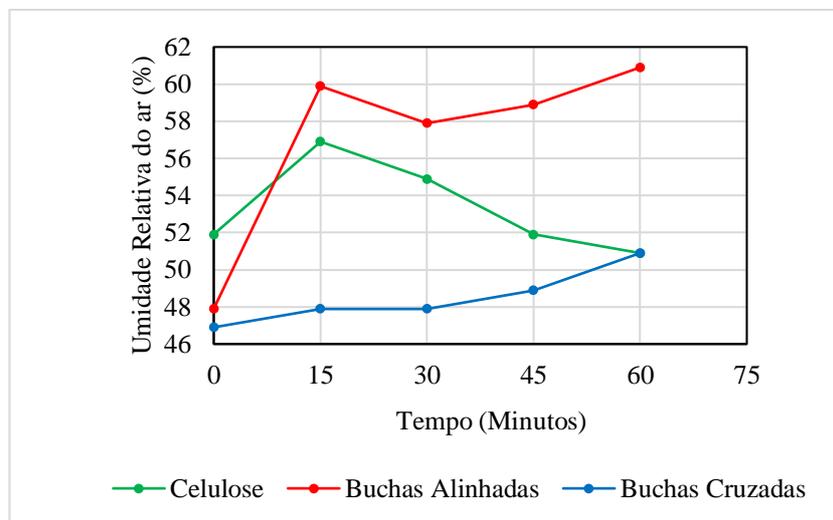


Fonte: Autor (2020).

A temperatura da água presente no reservatório do climatizador teve uma considerável redução durante o funcionamento do sistema, sendo de, aproximadamente, 6°C para a placa de celulose, 4,5°C para a colmeia de buchas alinhadas e de 3,9°C para a colmeia de buchas cruzadas. Essa variação influencia diretamente na redução da temperatura do ar na saída.

A mesma análise foi realizada para se observar as variações da umidade relativa do ar ambiente (Figura 17). Durante o experimento com a placa de celulose o ar ambiente sofreu uma variação da umidade relativa de 1% para menos. Para as buchas alinhadas e as buchas cruzadas houve, respectivamente, aumento de 13% e 4%.

Figura 17–Variação da Umidade Relativa do Ar ambiente.



Fonte: Autor (2020).

Quanto à vazão medida nos experimentos, a Tabela 7 apresenta os valores obtidos, indicando pouca influência das placas na vazão total do climatizador, com redução de 7,3% da vazão nas buchas alinhadas e 5,1% nas buchas cruzadas quando comparadas com a celulose.

Tabela 7 - Vazão total do sistema para os diferentes materiais.

Q (m <sup>3</sup> /s)		
Celulose	Buchas Alinhadas	Buchas Cruzadas
0,318	0,295	0,302

Fonte: Autor (2020).

#### 4 CONCLUSÕES

Este trabalho construiu e aplicou duas colmeias de bucha vegetal para aplicação em resfriamento evaporativo, comparando valores de temperatura e umidade com uma placa de celulose comercial. As placas evaporativas de buchas testadas apresentaram temperaturas na saída do ar, aproximadamente, 20% maiores que a temperatura obtida pela placa comercial de celulose. A umidade, diretamente relacionada à redução de temperatura, apresentou valores igualmente menores quando se comparou os resultados das buchas com a celulose. Indica-se que maiores estudos são necessários para aumentar a taxa de transferência de massa entre a matriz de bucha vegetal e o fluxo de ar.

Verificaram-se variações de resultados desprezíveis entre as duas disposições de buchas utilizadas (alinhadas e cruzadas), sendo então recomendado que a disposição alinhada seja empregada em trabalhos futuros dado a maior facilidade de construção da placa evaporativa. A utilização da matéria-prima com baixo processamento mecânico permitiu a construção das colmeias de baixo custo e fácil adaptabilidade, fatores de interesse regional e econômico.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa – pela cooperação técnica na execução desta pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

CARVALHO, V. F.; JUNIOR, T. Y.; FERREIRA, L.; DAMASCENO, F. A.; SILVA, M. P. Zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo no sudeste brasileiro Mapping of potential use of evaporative cooling systems in Southeastern Brazil. n. 35, p. 358–366, 2009.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Arquitetura Escolar - o Projeto do Ambiente de Ensino. 1. ed. [S.l.]: Oficina de Textos, 2011. C

NAVARRO, R.; MEDEIROS, J.; MAIA, D. Determinação do Conteúdo de Celulose e Lignina em Fibras de Luffa Cilíndrica. In: Anais do 1o Congresso Brasileiro de Polímeros. [S.l.: s.n.], 1991. v. 02.

OLIVEIRA, R. S. Análise experimental e numérica da eficiência de resfriamento da painéis de fibras vegetais utilizados em sistemas de resfriamento evaporativo / Reginaldo Soares de Oliveira. - Recife: O Autor, 2011

PEREIRA, J. M. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO PAINEL DE PLÁSTICO PET PARA RESFRIAMENTO EVAPORATIVO / João Marcello Pereira. – Brasília, 2017

PEREIRA, R. C. **Ensaio de desempenho de ventiladores em uma bancada didática.** Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Mecânica. Vitória, 2014.

SÁNCHEZ, J.; SALMERÓN, J.; MOLINA, J.; SÁNCHEZ, F.; ÁLVAREZ, S. PHDC: Sistemas de enfriamiento evaporativo pasivos e híbridos para edificios - Software de prediseño. *Revista de La Construcción*, v. 11, n. 2, p. 73–91, 2012.

TEIXEIRA, D. B.; BRIONIZIO, J. D.; PEREIRA, L. J. R.; MAINIER, F. B. Síndrome dos edifícios doentes em recintos com ventilação e climatização artificiais: revisão de literatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE, 8., 2005, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: CREA-RJ, 2005.

YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, F. A.; OLIVEIRA, J. L.; MENDES, L. B.; SARAZ, J. A. O. Assessment of evaporative cooling efficiency in greenhouses equipped with wetted porous plates. *Dyna*. v. 84, n. 203, p. 118–125, 2017.