

# AValiação DA EFICÁCIA DE TÉCNICAS DE RESFRIAMENTO PASSIVO EM EDIFÍCIOS LOCALIZADOS EM CLIMAS QUENTES

## Evaluation of the effectiveness of passive cooling techniques in buildings located in hot climates

Murilo de Pádua Marcolini<sup>1</sup>, Ricardo Almeida<sup>2</sup>, Eva Barreira<sup>3</sup>



### PALAVRAS CHAVE:

Monitorização  
higrotérmica;  
Resfriamento passivo;  
Célula de teste;  
Ventilação natural;  
Tinta reflectante;

### KEYWORDS:

*Hygrothermal monitoring;*  
*Passive cooling;*  
*Test cell;*  
*Natural ventilation;*  
*Reflective paint.*

**RESUMO:** O município de Palmas-TO, localizado na região norte do Brasil, apresenta uma realidade climática com temperaturas altas durante todo o ano. Assim, é fundamental a busca por soluções tecnológicas que possam garantir o conforto higrotérmico nas residências, associado a reduções dos custos com energia necessária para o resfriamento da habitação. Nesta ótica, a constante inovação que o mercado mundial apresenta em produtos e técnicas voltadas para o resfriamento passivo de edificações justifica a realização de um estudo que avalie as condições higrotérmicas diante da implementação desses. O presente estudo apresenta os resultados de uma campanha experimental, com a duração de cerca de 5 meses, durante a qual foi avaliado o efeito da aplicação de diferentes técnicas de resfriamento passivo como: brise soleil, manta reflectante, ventilação natural cruzada e pintura com tinta reflectante. Para tal foram montadas duas células teste idênticas em Palmas-TO, tendo sido, em uma delas, implementadas as diferentes medidas de resfriamento passivo e a outra permanecido inalterada, para ser possível a comparação dos resultados. Verificou-se que a pintura com tinta reflectante apresentou maior redução de temperatura na média diária, obtendo seu melhor desempenho no período diurno e a ventilação natural cruzada foi a mais eficaz no período noturno. O brise soleil obteve uma redução de temperatura insignificante enquanto a manta reflectante mostrou-se nada eficaz nas condições de ensaio.

**ABSTRACT:** The city of Palmas-TO, located in the northern region of Brazil, has a climatic reality with high temperatures throughout the year. Thus, it is essential to search for technological solutions that can guarantee better hygrothermal comfort in dwellings, associated with reductions in the cost of energy needed to cool it down. In this perspective, the constant innovation that the world market presents in products and techniques aimed at the passive cooling of buildings justifies to carry out a study to assess the hygrothermal conditions in dwelling after implementing those products / techniques. This study presents the results of an experimental campaign, lasting about 5 months, during which the effect of different passive cooling techniques was evaluated, such as: brise soleil, low-emissivity insolation, natural cross ventilation, and painting with reflective paint. For this purpose, two identical test cells in Palmas-TO were used. On one cell the different passive cooling measures were implemented and the other remained unchanged, in order to be able to compare the results. The painting with reflective paint showed the highest reduction in temperature in the daily average, obtaining its best performance during daytime. However, natural cross ventilation was the most effective technique during nighttime. The brise soleil achieved an insignificant temperature reduction while the low-emissivity insolation proved to be ineffective in these test conditions.

\* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail: [murilomarcolini@gmail.com](mailto:murilomarcolini@gmail.com) ( M. P. Marcolini )

Engenheiro Civil, mestre, doutorando em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

<sup>2</sup> e-mail: [ralmeida@estgv.ipv.pt](mailto:ralmeida@estgv.ipv.pt) ( R. Almeida )

Engenheiro Civil, Phd, Professor adjunto do Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.

<sup>3</sup> e-mail: [barreira@fe.up.pt](mailto:barreira@fe.up.pt) ( E. Barreira )

Engenheira Civil, Phd, Professora auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Publicado em 27 de dezembro de 2022

## 1. INTRODUÇÃO

A cidade de Palmas-TO, localizada no Estado do Tocantins no centro do Brasil, apresenta uma realidade climática com temperaturas altas durante todo o ano. A busca por soluções tecnológicas que possam garantir um desempenho adequado e melhorar o conforto higrotérmico dos utilizadores, associadas a uma redução dos custos com a energia para resfriamento, se mostra fundamental principalmente para locais com este tipo de clima.

A temperatura externa e a radiação solar contribuem para o aquecimento interno de edifícios. Cabe aos arquitetos e engenheiros aprofundar o conhecimento quanto às propriedades e ao desempenho de novos materiais e soluções construtivas, subsidiando assim a busca por soluções voltadas à redução das temperaturas internas da construção. A transferência de calor nos edifícios resulta: da condução, que ocorre nos materiais sólidos por vibração das moléculas que os constituem e depende da condutibilidade térmica do material e da sua dimensão; da convecção, que depende do movimento de um fluido, geralmente o ar; e por fim, da radiação, em que a transferência de calor ocorre através de ondas eletromagnéticas (Givoni, 1998).

Assim, a escolha de técnicas e materiais na construção civil dizem muito sobre a sua capacidade de economizar energia. O resfriamento passivo vem ao encontro deste objetivo, ao possibilitar a diminuição da necessidade energética para o alcance do conforto térmico almejado.

Nas técnicas passivas de resfriamento, são utilizados revestimentos, sombreamentos, vegetação, água e características arquitetônicas, que possibilitam um ambiente interno com temperatura mais amena que o externo sem a utilização de qualquer tipo de energia. Para a avaliação da eficácia destas técnicas, é imprescindível a monitorização das condições climáticas interiores das edificações.

Diante dessa realidade, faz-se necessário encontrar soluções que possam garantir o conforto térmico nas residências, relacionado com as reduções dos custos com energia elétrica destinada a esse resfriamento e também com a crescente preocupação com a sustentabilidade.

## 2. OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo avaliar a eficácia da aplicação de algumas técnicas de resfriamento passivo como: brise soleil, manta reflectante de baixa emissividade, ventilação natural cruzada e pintura com tinta reflectante, em regiões com climas secos e quentes, por meio de medições efetuadas em células testes, montadas na cidade de Palmas-TO.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é definido como a satisfação do ser humano com o ambiente térmico, sendo avaliado subjetivamente. Esta avaliação resultará da sensação térmica que um indivíduo possuirá no seu corpo como um todo (ASHRAE, 2017). A termorregulação permite que o corpo mantenha uma gama de temperaturas, que garanta o adequado funcionamento dos órgãos. Este mecanismo é o responsável por manter o equilíbrio térmico do corpo quando sujeito a novos ambientes, equilibrando o calor produzido pelo corpo, o calor transferido para o ambiente e o calor armazenado pelo corpo.

A sensação de conforto térmico depende de parâmetros físicos (ambientais e individuais) e psicossociais (relacionados à natureza sociocultural e às características psicológicas) (Fanger et al. 1970). Os parâmetros ambientais incluem: a temperatura do ar que circula em redor do corpo humano e, por meio

de convecção, é balanceada com o ambiente (ISO, 1998); a temperatura média radiante, obtida pelo termômetro de globo negro, mede as trocas de calor por radiação entre o ambiente e o corpo humano (ASHRAE, 2017); à umidade absoluta do ar, que influencia às perdas de calor por evaporação do corpo humano para o ambiente, sobretudo quando as temperaturas e os níveis de atividades são mais elevados (ISO, 1998); e a velocidade do ar que traduz o fluxo de ar que interfere na troca de calor por convecção e evaporação entre o corpo humano e o ambiente (ISO, 2005).

Os parâmetros individuais são determinados pela atividade metabólica desenvolvida pelo indivíduo e pelo seu vestuário. A atividade metabólica depende do nível de atividade física e da superfície corporal de um indivíduo, representando a transformação de energia química em calor interno e em potencial de trabalho mecânico (ASHRAE, 2017). As normas ASHRAE 55 (2017) e a ISO 7730 (2005) apresentam tabelas com taxas de metabolismo associadas às diferentes atividades físicas, resultando os valores aí apresentados de ensaios experimentais correspondentes a médias, uma vez que existem variações em função da idade, do peso e do sexo. O vestuário condiciona as trocas de calor entre o ser humano e o ambiente, uma vez que corresponde a uma resistência térmica. Assim, quanto maior a resistência térmica, menores serão as trocas de calor e menor será também a sensibilidade do organismo à velocidade do ar e às variações de temperatura. Valores da resistência térmica de peças de vestuário típicas podem ser obtidos nas normas ASHRAE 55 (2017) e a ISO 7730 (2005).

Nos parâmetros psicossociais, são tidos em consideração outros aspectos de carácter mais subjetivo, mas que, ainda assim, podem condicionar a sensação e a percepção térmica de um indivíduo. Estes parâmetros foram introduzidos pela primeira vez por De Dear et al. (1997) e levam em consideração atributos individuais dos usuários, que adotam comportamentos que permitem o ajuste ao ambiente térmico onde se inserem, de forma a evitarem o desconforto. Estas adaptações dividem-se em três categorias: adaptação física; adaptação fisiológica; e adaptação psicológica. A primeira engloba alterações a nível pessoal, como mudança no vestuário, na posição relativamente a um espaço, etc., ou a nível ambiental, como abertura de janelas e portas, alteração da temperatura de sistemas mecânicos de climatização, etc. A adaptação fisiológica está relacionada com a capacidade do organismo se ajustar às condições térmicas. A adaptação psicológica depende das diferentes percepções dos indivíduos e variam em função de idade, do género, da cultura, da expectativa relativamente a um lugar, etc.

### 3.2. TÉCNICAS DE RESFRIAMENTO PASSIVO

As técnicas de resfriamento passivas dividem-se em três categorias principais: (1) a ventilação natural, (2) o resfriamento evaporativo e (3) o resfriamento com utilização do solo. Estas técnicas se apresentam como alternativas sustentáveis por reduzirem tanto a necessidade da utilização de eletricidade quanto a emissão de gases que contribuem ao efeito estufa e deverão ser implementadas de acordo com o tipo de edifício e o clima em que se encontra (Givoni, 1998).

A ventilação diurna de resfriamento é definida como uma técnica de conforto direto, produzida, por exemplo, pela abertura de uma janela em ambientes com temperatura externa do ar inferior à interna. Khambadkone e Jain (2017) realizaram uma investigação em três cidades indianas, indicando que a ventilação natural é a técnica mais eficaz para obtenção do conforto térmico nos locais estudados. A ventilação noturna produz resultados quando um edifício fica isolado termicamente durante o dia, de maneira que o ar quente externo seja impossibilitado de aquecer o interior do edifício. Essa técnica está dependente das condições climáticas, do microclima e das características que da construção. Artmann et al. (2018) analisaram por meio de células testes os efeitos da ventilação noturna em conjunto com a cobertura isolada, indicando uma redução significativa da temperatura interior.

O resfriamento por radiação ocorre quando a radiação emitida pelo sol é refletida, reduzindo assim os ganhos de calor no interior da construção. Romeo et al. (2013), utilizaram o sistema de

resfriamento por radiação em um estudo, revestindo os telhados com tons claros a fim de resultarem em coberturas frias. De acordo com a análise dos autores, 20 °C foram diminuídos na superfície revestida e 2,3 °C na temperatura interna do edifício em comparação à temperatura obtida sem qualquer tratamento, causando economia no consumo de energia elétrica destinada ao resfriamento em 54%.

Imessad et al. (2014) estudaram a influência de algumas técnicas de resfriamento passivo na demanda de energia elétrica em residências na cidade de Souidania, com clima mediterrânico, através de campanhas de monitoramento e de simulação numérica. Uma de suas conclusões foi de que a combinação da ventilação natural com dispositivos de sombreamento horizontais garantiu o conforto térmico dos ocupantes e minimizou o consumo de energia elétrica para o resfriamento.

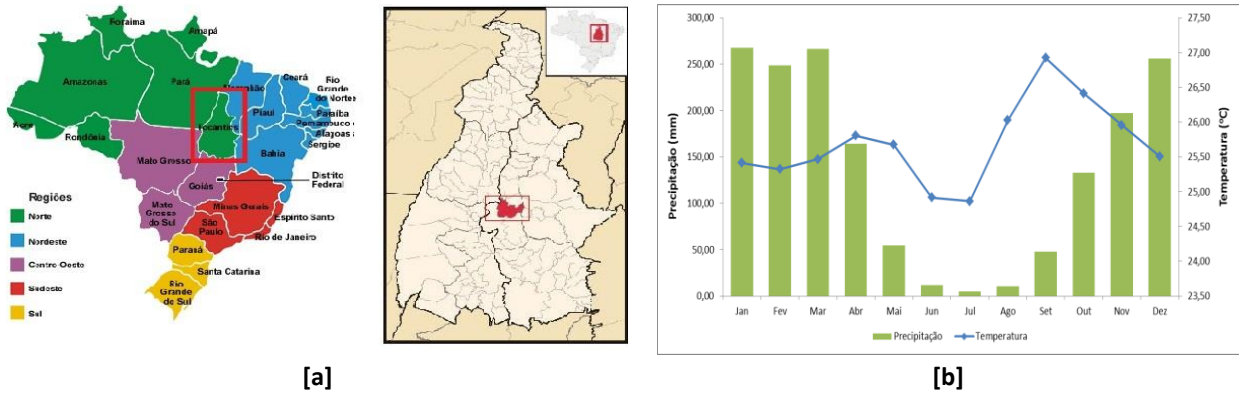
Al-Obaidi et al. (2014) avaliaram a eficácia de técnicas de resfriamento passivo para minimizar o sobreaquecimento em edifícios localizados no sudeste Asiático, com clima quente e úmido. O estudo focou-se em coberturas com dissipação de calor, já que estes elementos construtivos contribuem para, de acordo com os autores, 70% do ganho total de calor numa edificação. A análise incluiu técnicas refletivas, que retardam a transferência de calor para o interior do edifício, e técnicas radiativas, que permitem libertar o calor em excesso do interior do edifício. Com este estudo, os autores concluíram que a implementação de abordagens refletivas e radiativas de resfriamento passivo em coberturas melhorou a capacidade dos edifícios de dissipar calor, minimizando o efeito da radiação solar e dos ganhos internos. Contudo, os autores alertam para o fato da eficácia destas técnicas depender do tipo de edifício, dos padrões de ocupação e das condições climáticas, como temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento. Por isso, referem também que uma seleção inadequada de uma técnica de resfriamento passivo pode resultar na degradação da qualidade do ambiente interior por desconforto térmico.

Na cidade de São Carlos – SP, Brasil, Peralta (2006) avaliou o desempenho térmico de telhas usando duas células teste, servindo uma delas como comparativo. A cidade tem como característica um clima com verão quente e chuvoso e inverno seco e pouco frio. Foram instalados diversos equipamentos, que registraram a temperatura superficial da cobertura e das paredes, a radiação solar e a velocidade do ar no interior das células. Deste estudo concluiu-se que o tratamento superficial externo em coberturas é importante e que há necessidade de normas específicas quando observado o desempenho térmico de telhas. Outros estudos mais recentes foram também realizados no Brasil, nomeadamente, Eli et al. (2021), Veiga (2021) e Buonocore (2018), que analisaram o uso da ventilação natural e Schabbach et al. (2018) e Michels (2018), pesquisando sobre o uso de cobertura com pintura reflectante.

## **4. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO**

### **4.1. ÁREA DE ESTUDO**

Tocantins é o estado mais jovem do Brasil, com 34 anos. De acordo com estimativas do IBGE (2020), ocupa a quarta colocação em número de habitantes da região Norte, com 1.590.248 pessoas, o seu território apresenta uma área total de 277621 km<sup>2</sup>. Palmas é a capital e a maior cidade do estado do Tocantins. Possui as mais importantes taxas de crescimento demográfico do Brasil nos últimos dez anos, recebendo pessoas de praticamente todos os estados brasileiros (Figura 1a). As suas temperaturas médias mais amenas ocorrem nos meses de junho (24,9 °C) e julho (24,9 °C), sendo estes também os meses mais secos registando valores de precipitação de 11,49 mm e 5,22 mm, respectivamente (Figura 1b). A área escolhida para servir de base para o presente estudo localiza-se na Universidade Federal do Tocantins – UFT, no campus Palmas, junto ao prédio laboratorial do curso de Engenharia Civil.



**FIGURA 1:** Caracterização da área de estudo: [a] Localização geográfica do Tocantins e Palmas no Brasil; [b] Precipitação e temperatura média anual Tocantins.

**FONTE:** Adaptado de SEPLAN (2012).

## 4.2. CÉLULAS DE ESTUDO

Para a construção das duas células de teste, utilizaram-se painéis OSB de 9,5 mm de espessura (paredes e forro da cobertura). Na parte interna das células foi fixada lã de vidro de 20 mm de espessura. As dimensões das células são 2,4 x 2,4 x 2,4 m<sup>3</sup>. Na cobertura foram aplicadas telhas termo acústicas (chapa metálica com EPS de 30 mm). O modelo do telhado escolhido foi o de duas águas (direções norte-sul) com inclinação de 10% em cada água. As janelas presentes nas células são compostas por caixilharia de alumínio com vidro comum, com dimensões de 0,6 x 0,6 m<sup>2</sup>, posicionada a 1,5 m da base da célula, na fachada norte. As portas foram feitas de painéis OSB com dimensões de 0,8 x 2,1 m<sup>2</sup>, posicionadas nas fachadas oeste (Figura 2).



**FIGURA 2:** Representação esquemática das células de Estudo.

**FONTE:** Autoria Própria.

## 5. PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 5.1. EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Nesta campanha foram utilizados os seguintes equipamentos (Figura 3) para efetuar medições no interior das células:

- Quatro sensores de temperatura e umidade relativa da marca HOBO (dois em cada célula), posicionados no centro das células, a um metro de altura do pavimento. O equipamento possui uma precisão de  $\pm 0,35$  °C para temperatura e  $\pm 2,5\%$  para a umidade relativa (ONSET, 2009). Foram gravados registros a cada 10 minutos (Figura 3a).
- Dois sensores para a medição da concentração de CO<sub>2</sub>, modelo C.A 1510, do grupo Chauvin Arnoux (Figura 3b), usados para a avaliação da ventilação através do método do gás traçador,

técnica do decaimento, de acordo com a norma ASTM E741-00 (2000). Foram realizados 2 ensaios em cada célula, em um dos dias da campanha experimental. A produção de CO<sub>2</sub> no interior das células foi conseguida com a presença de 3 pessoas, durante cerca de 20 minutos. Após esse período, todas as pessoas se retiraram da célula, registando-se o valor da concentração de CO<sub>2</sub> durante uma hora com porta e janela fechadas. Para o cálculo do RPH (renovação por hora) adaptou-se a Equação 1, considerando a concentração de CO<sub>2</sub> interior como a diferença entre o valor medido e o valor constante assumido para o exterior (ASTM E741-00).

$$V \frac{dc(t)}{dt} = -Qc(t) \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

- V** = volume efetivo do espaço (m<sup>3</sup>);
- c** = concentração em volume do gás traçador(m<sup>3</sup>);
- Q** = vazão de ar exterior (m<sup>3</sup>/s).

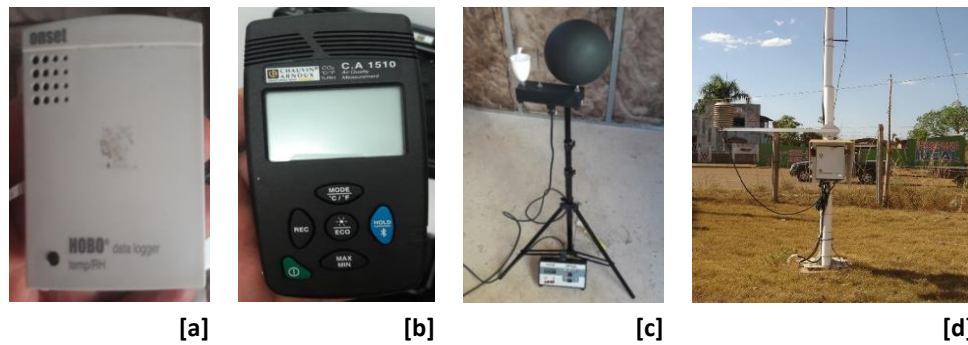
- Dois termômetros de Globos Negro, do modelo TGD-200 da Instrutherm (Figura 3c), com diâmetro de 15 cm cada, e o tempo de resposta variando de 20 a 30 min. A sua escala de variação de temperatura em operação vai de -10 a 50 °C, com uma precisão de ± 0,5 °C (INSTRUTHERM, 2006). Os equipamentos foram colocados no centro da célula, realizando-se um total de 20 medições em cada uma das células, em dias diferentes do período de ensaio. A obtenção da temperatura radiante média ( $Trd_{méd}$ ) foi obtida a partir das medições das temperaturas de globo, aplicando-se a Equação 2 (ISO, 1996).

$$Trd_{méd} = \sqrt[4]{\left[ T_g^4 + \frac{h_{cg}}{\epsilon_g * \sigma} * (T_g - T_a) \right]} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

- Trd<sub>méd</sub>** = temperatura radiante média (K);
- T<sub>g</sub>** = temperatura do globo (K);
- T<sub>a</sub>** = temperatura do ar (K);
- h<sub>cg</sub>** = coeficiente de transferência de calor por convecção ao nível do globo (w/m<sup>2</sup>.K);
- ε<sub>g</sub>** = emissividade do globo negro [0,95];
- σ** = constante de Stefan–Boltzmann [5,67x10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>].

Para caracterizar o clima externo utilizaram-se os dados de uma estação meteorológica automática, localizada em Palmas-TO (Latitude: -10.190744° e Longitude: -48.301811°) e administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Figura 3d). Esta estação meteorológica realiza coleta a cada minuto, fornecendo informação sobre temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade do vento e radiação solar. Os dados são validados através de um controle de qualidade e armazenados no banco de dados com a disponibilização de valores máximos, mínimos e instantâneos (Brasil, 2011).



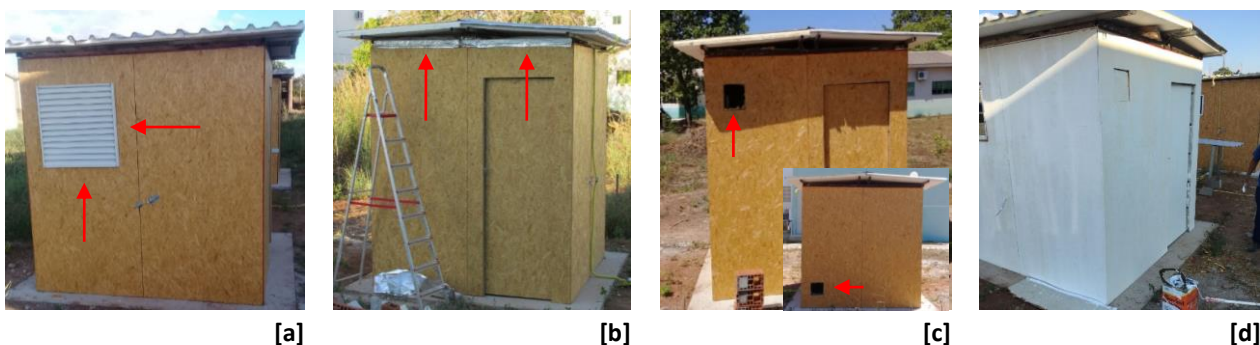
**FIGURA 3:** Equipamentos Utilizados: [a] Sensor de temperatura e umidade relativa; [b] Sensor para a medição da concentração de CO<sub>2</sub>; [c] Termômetro de Globo Negro; [d] Estação Meteorológica INMET.

**FONTE:** Autoria Própria.

## 5.2. TÉCNICAS IMPLEMENTADAS

No experimento realizado nas células de teste descritas anteriormente foram aplicadas isoladamente 4 técnicas de resfriamento passivo na célula C1. A célula C2 foi mantida sem alteração, para que servisse de controle na avaliação da eficácia de cada técnica em relação ao conforto higrotérmico.

Como primeira técnica implementada (campanha 1) se tem o sombreamento utilizando Brise Soleil em esquadria de alumínio tipo veneziana, pintada com tinta esmalte sintético branco com dimensões de 0,8 x 0,8 m<sup>2</sup> fixadas sobre a janela da célula C1 (Figura 4a). A segunda técnica implementada (campanha 2) consistiu na aplicação de uma Manta Reflectante de baixa emissividade entre a placa OSB do teto e a cobertura em telha termo acústica da célula C1 (Figura 4b). A terceira técnica (campanha 3) consistiu na implementação de um sistema de Ventilação Natural Cruzada. Na célula C1 realizaram-se duas aberturas perpendiculares de 20 x 20 cm<sup>2</sup>, uma na parte inferior da fachada leste e a outra na parte superior da fachada oeste (Figura 4c). A abertura à menor cota foi colocada na fachada leste porque é ela que está orientada aos ventos dominantes. Por último, foi pintada a envolvente da célula C1 com uma tinta reflectante<sup>1</sup> na cor branca. Na técnica de Pintura com Tinta Reflectante (campanha 4) foram pintadas as 4 faces exteriores das paredes da célula. A aplicação da pintura foi realizada de acordo com as indicações do fabricante, sendo aplicadas 3 demãos (Figura 4d). As medições ocorreram entre maio e setembro de 2018, de acordo com o cronograma apresentado no Quadro 1.



**FIGURA 4:** Campanhas implementadas: [a] Brise Soleil; [b] Manta Reflectante de baixa emissividade; [c] Ventilação Natural Cruzada; [d] Pintura com Tinta Reflectante.

**FONTE:** Autoria Própria.

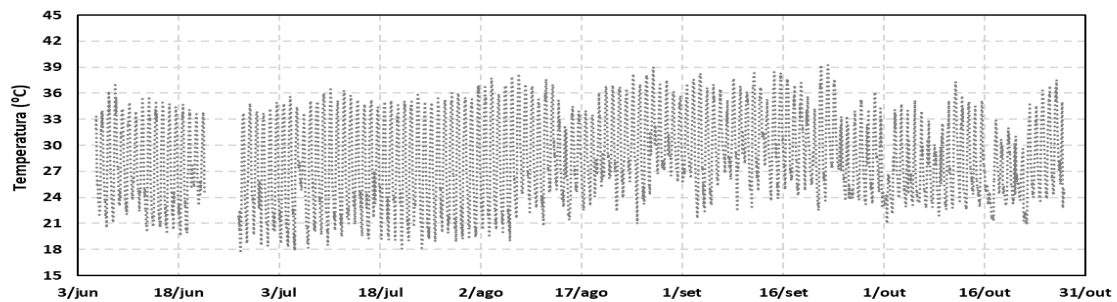
QUADRO 1: Cronograma das medições efetuadas				
	Campanhas			
	Brise Soleil	Manta Reflectante	Ventilação Natural Cruzada	Pintura com Tinta Reflectante
Período (2018)	05/06 à 21/06	15/07 à 07/08	08/08 à 21/08	03/09 à 29/09

**FONTE:** Autoria Própria.

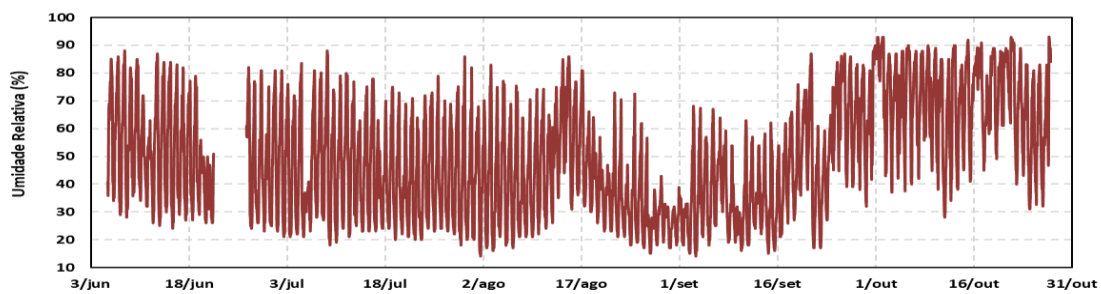
<sup>1</sup> A Tinta utilizada foi a Termocril “Tinta refletora de calor” da marca Maggicor.

### 5.3. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA EXTERIOR

A Figura 5 mostra a variação da temperatura e umidade relativa do ambiente exterior durante a campanha experimental. Em média, a temperatura exterior foi de 28,36 °C, com um máximo de 39,5 °C e um mínimo de 17,1 °C (Figura 5a). A umidade relativa (Figura 5b) variou entre 13% e 94%, com um valor médio de 49,6%. A radiação atingiu um máximo de 990 W/m<sup>2</sup> (Figura 6b) e a velocidade do vento atingiu o valor máximo de 8,9 m/s, com um valor médio de 1,54 m/s (Figura 6c). Quanto à direção do vento, esta esteve por mais tempo na direção Lés-nordeste, seguida pelas direções Leste, Nordeste e Nor-nordeste, correspondendo estas orientações a 47,3% do período de medição (Figura 6a).



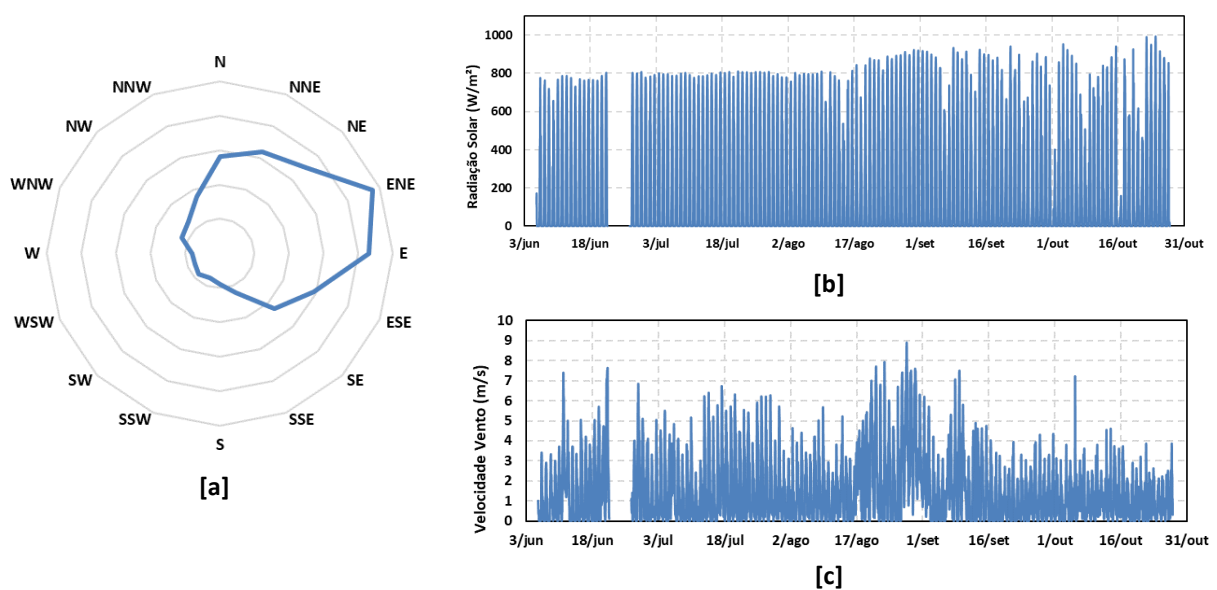
[a]



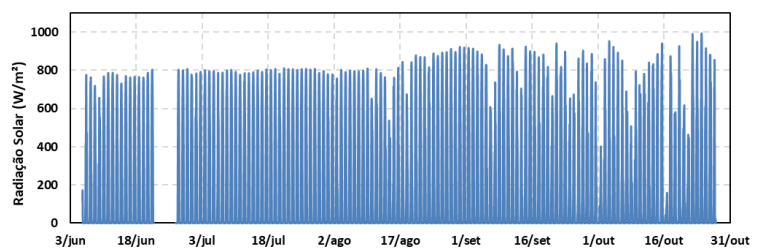
[b]

FIGURA 5: Caracterização do clima exterior: [a] Temperatura; [b] Umidade Relativa.

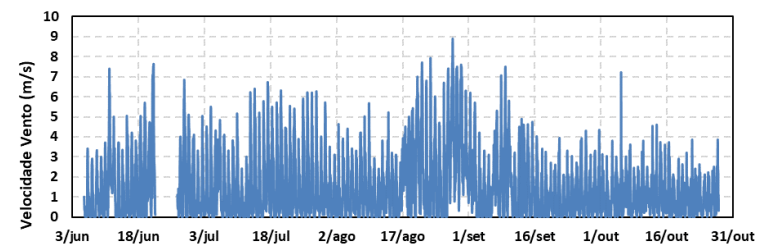
FONTE: Autoria Própria.



[a]



[b]



[c]

FIGURA 6: Caracterização do clima exterior: [a] Direção do Vento; [b] Radiação Solar; [c] Velocidade do Vento.

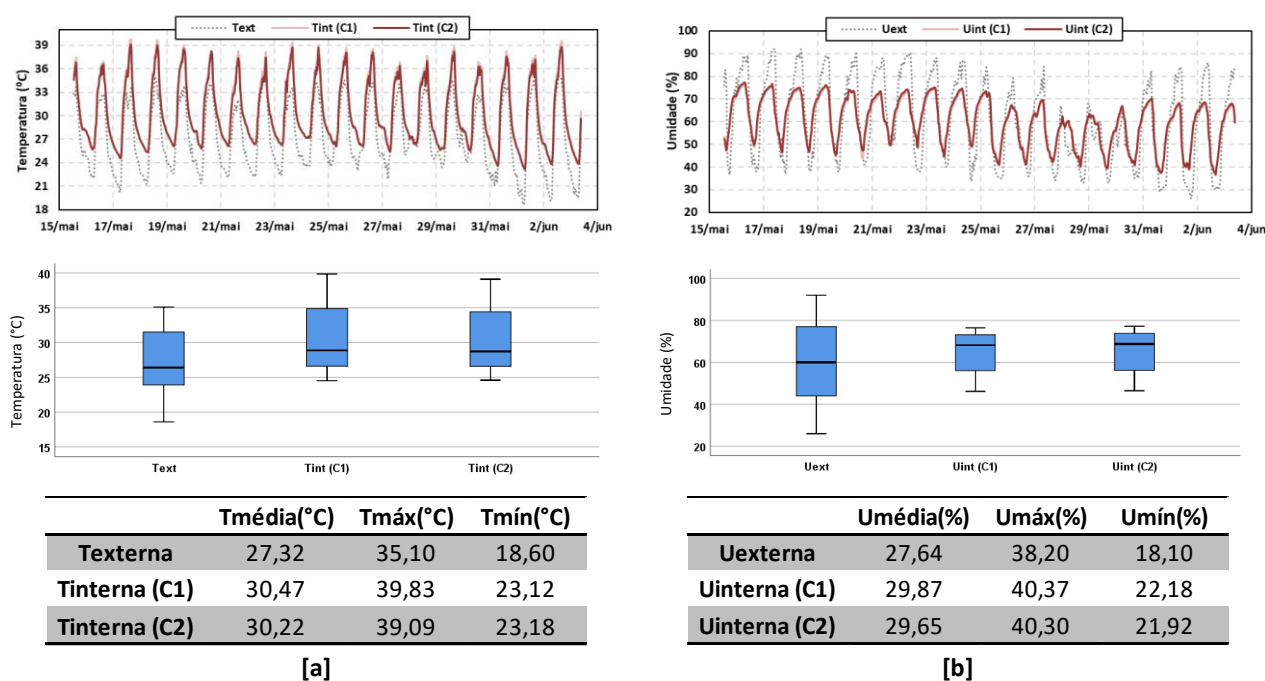
FONTE: Autoria Própria.



#### 5.4. AFERIÇÃO RELATIVA DOS EQUIPAMENTOS E CÉLULAS

Antes de se iniciar a campanha experimental todos os equipamentos utilizados foram verificados, tendo-se aferido o seu desempenho relativo. Todos eles apresentaram resultados semelhantes, estando assim garantido o seu correto funcionamento.

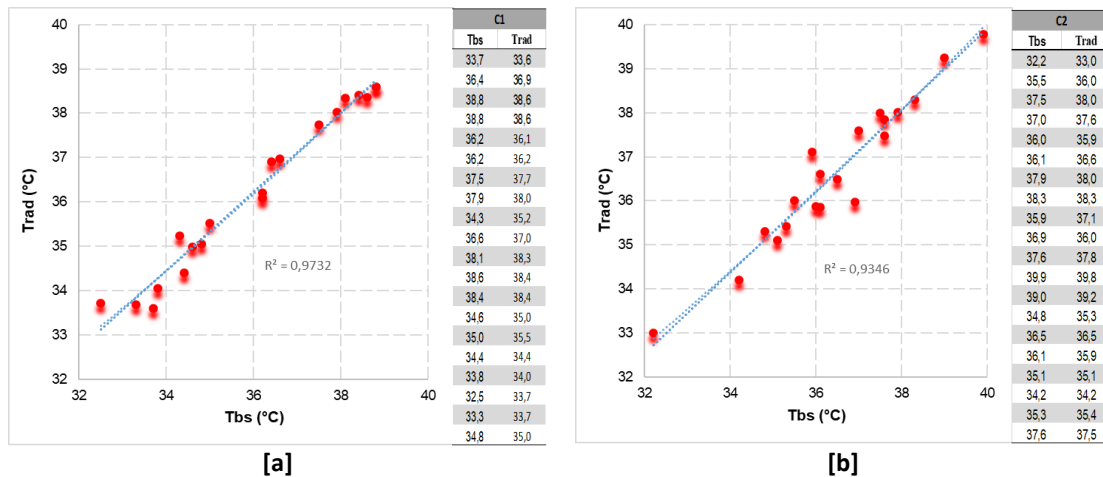
Após a aferição relativa dos equipamentos, fez-se uma avaliação do comportamento das duas células teste, tendo em conta a temperatura e umidade relativa do ar, a temperatura radiante e a infiltração de ar. Na Figura 7 apresentam-se os resultados das medições de temperatura e umidade relativa, efetuadas entre 15 de maio e 4 de junho de 2018, no interior das duas células de teste e no exterior. A temperatura interior das duas células apresentou resultados muito próximos, mostrando que as mesmas se encontram em condições semelhantes. Comparando as temperaturas interiores com as exteriores, observou-se que as primeiras apresentaram valores superiores no período diurno e noturno (Figura 7a). Quanto à umidade relativa, as duas células também apresentaram registros muito próximos, diferindo dos medidos no exterior. Como os valores no exterior são mais elevados durante o dia e mais baixos durante a noite, a média aproxima-se das médias encontradas dentro das células (Figura 7b).



**FIGURA 7:** Temperatura e umidade relativa entre 15 de maio e 4 de junho de 2018, no interior das duas células de teste e no exterior: [a] temperatura das células C1 e C2 e temperatura exterior; [b] umidade relativa das células C1 e C2 e umidade relativa exterior.

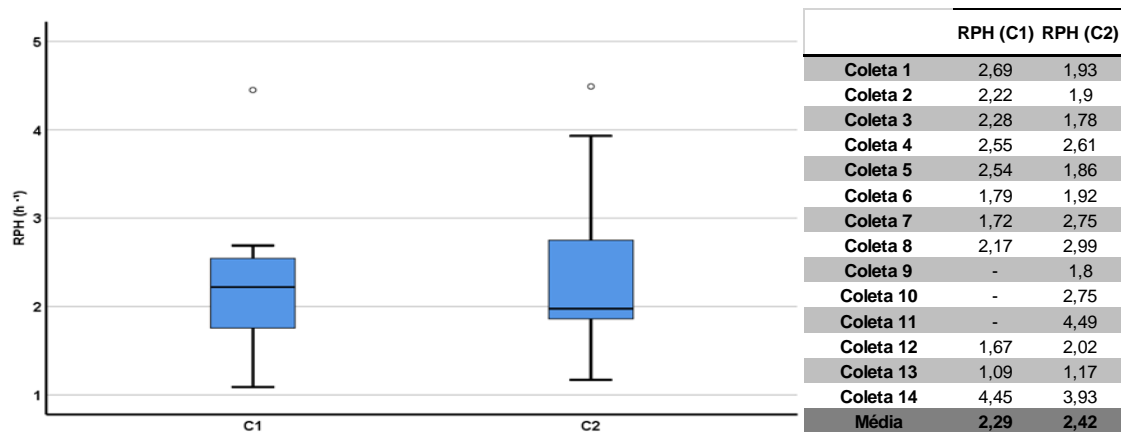
**FONTE:** Autoria Própria.

Para avaliar se existiam assimetrias na temperatura radiante no interior das células de teste e verificar se o seu comportamento diferia por não serem exatamente iguais as condições de exposição à radiação solar, foi realizado o ensaio descrito na secção 5.1. Na Figura 8 apresentam-se os valores obtidos para a temperatura radiante média, obtida através da equação 2, e para a temperatura de buldo seco. Verifica-se que, para cada uma das células, não existem diferenças relevantes entre os valores da temperatura de bulbo seco e da temperatura radiante média, comprovando não ser significativo o impacto da radiação emitida pelas diferentes superfícies interiores. Por outro lado, sendo as temperaturas aproximadas nas duas células, comprovou-se um desempenho idêntico em ambas.



**FIGURA 8:** Temperatura radiante média (Trad) e Temperatura bulbo seco (Tbs): [a] Célula C1; [b] Célula C2.  
**FONTE:** Autoria Própria.

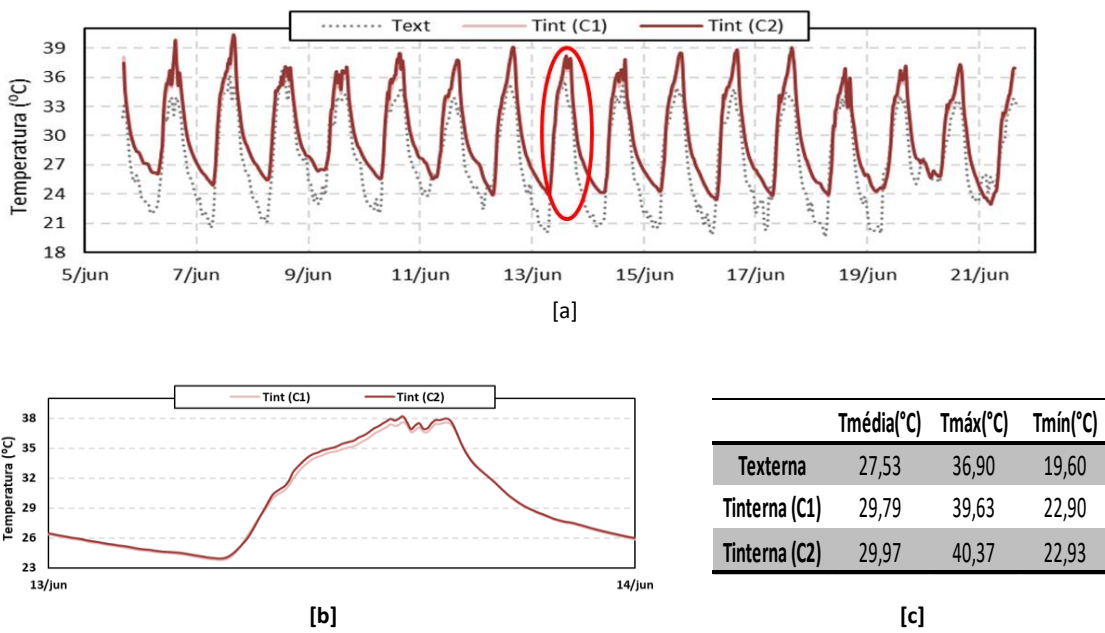
A Figura 9 mostra os valores das renovações por hora (RPH) nas células C1 e C2, resultantes da realização de 11 e 14 medições, respectivamente. Os resultados mostram alguma variabilidade, não só quando comparados os valores pontuais obtidos para as diferentes medições, mas também quando avaliados os valores médios para as duas células ( $2,29 \text{ h}^{-1}$  para C1 e  $2,42 \text{ h}^{-1}$  para C2). Contudo, a variabilidade obtida era esperada, uma vez que medições efetuadas por outros autores, utilizando a mesma técnica e o  $\text{CO}_2$  como gás traçador, apontam no mesmo sentido (Almeida et al, 2020). Pelos motivos apresentados, considerou-se a diferença ao nível das infiltrações que ocorrem nas duas células aceitável. Os valores muito elevados que foram obtidos neste ensaio sugerem a existência de infiltrações significativas nas células, provavelmente devido à falta de vedação das juntas de ligação entre as paredes e o forro.



**FIGURA 9:** Renovações por Hora (RPH) nas células C1 e C2.  
**FONTE:** Autoria Própria.

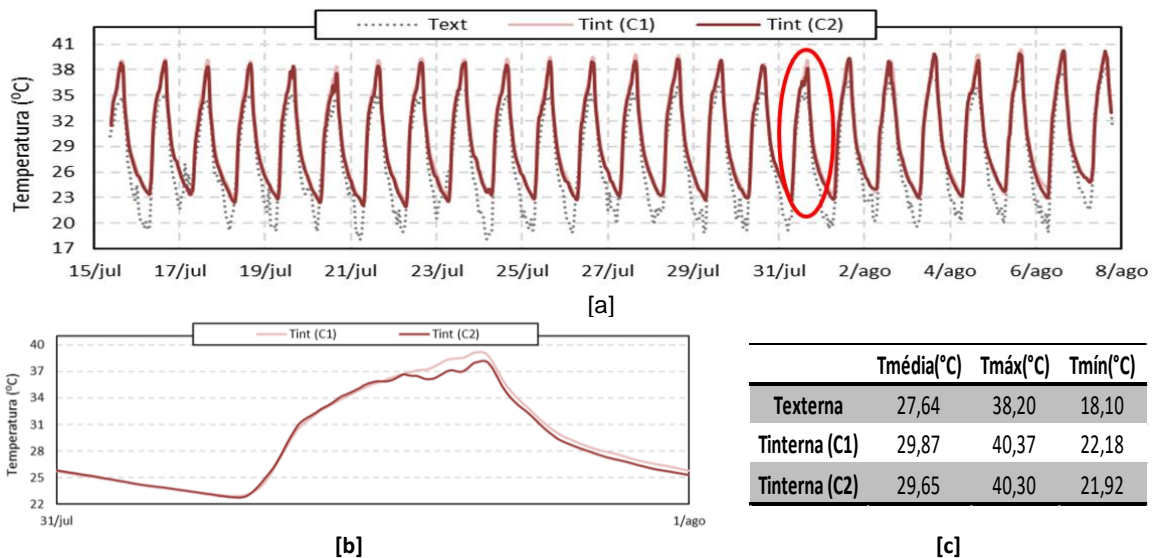
## 6. RESULTADOS

As temperaturas aferidas quando aplicado o Brise Soleil na célula C1 são apresentadas na Figura 10, tendo o valor mais elevado ocorrido na célula C2 de controle ( $40,37 \text{ }^\circ\text{C}$ ). A célula C2 apresentou uma média de temperatura superior em  $0,18 \text{ }^\circ\text{C}$ , em comparação a célula C1, e ambas as células apresentaram máxima, média e mínima superior à temperatura externa. Na célula C1 foi obtido um pequeno ganho no resfriamento, já que há uma diminuição das temperaturas máximas diárias. Este resultado não é muito expressivo devido à pequena área envidraçada. No entanto, com a utilização desta medida de melhoria em áreas envidraçadas maiores e em diferentes fachadas, acredita-se que o seu efeito seria potenciado.



**FIGURA 10:** Temperaturas obtidas na campanha Brise Soleil: [a] 3 semanas; [b] 1 dia e [c] dados estatísticos.  
**FONTE:** Autoria Própria.

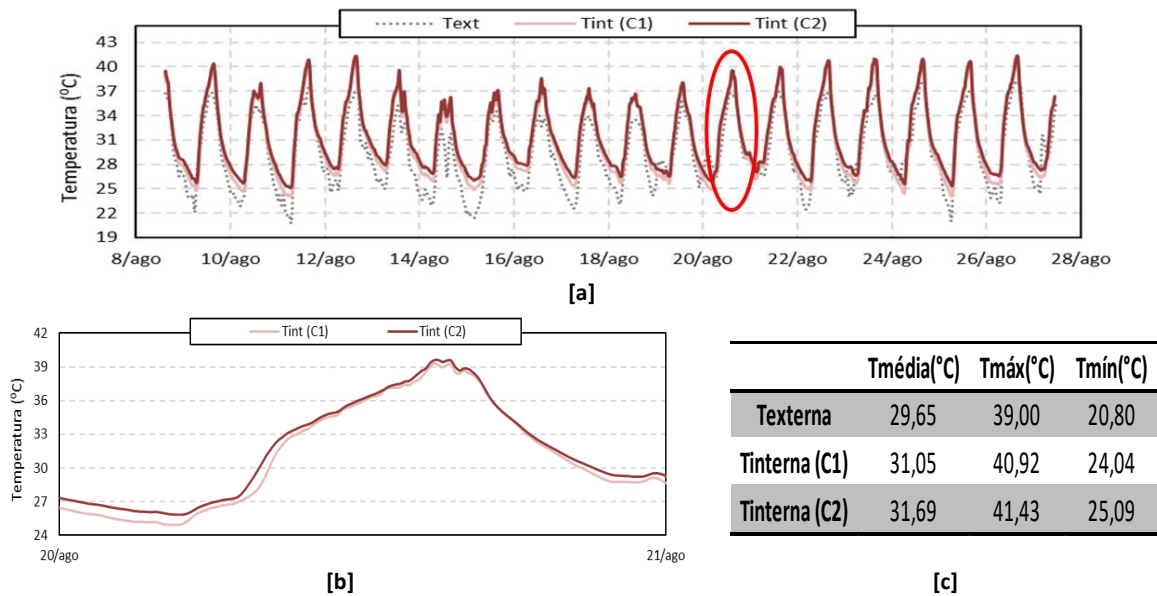
A Figura 11 mostra a variação da temperatura com aplicação da manta reflectante na célula C1. Comparando os resultados obtidos nas duas células, a célula C1 apresentou o valor máximo da temperatura medida no interior (40,37 °C), com uma média superior em 0,22 °C ao valor médio da temperatura na célula C2. Diante desses resultados fica demonstrado que essa técnica, da forma como foi implementada (manta sobre o forro, abaixo de um telhado metálico com EPS de baixa declividade, que resultou em menores frestas de ventilação na cobertura) foi ineficaz, não gerando resfriamento.



**FIGURA 11:** Temperaturas obtidas na campanha Manta Reflectante: A) 3 semanas; B) 1 dia e C) dados estatísticos.  
**FONTE:** Autoria Própria.

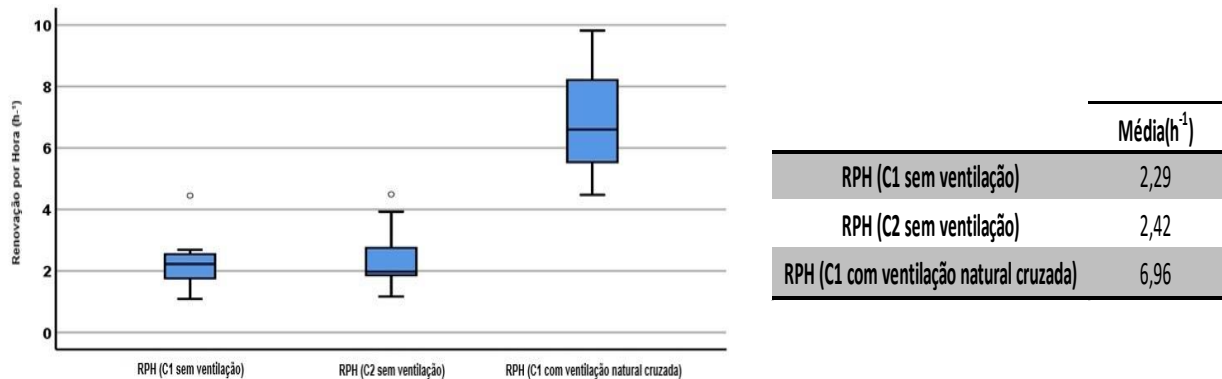
Com a implementação da ventilação natural cruzada na célula C1, ocorreu um ganho quanto ao resfriamento, uma vez que a célula C2 (de controle) apresentou uma média de temperatura superior em 0,64 °C à célula C1. O valor máximo de 41,43 °C foi obtido na célula C2 e o mínimo, de 24,04 °C, na célula C1 (Figura 12). Ambas as células apresentaram valores de temperatura máxima, média e mínima superiores ao exterior. As renovações por hora (RPH), obtidas através do decaimento do CO<sub>2</sub> no interior da célula, são em

média de  $6,96 \text{ h}^{-1}$  para a célula C1, onde se criaram as aberturas para a ventilação natural cruzada. Ao comparar com os valores médios obtidos para as células C1 e C2 sem a presença das aberturas (Figura 13), correspondentes a  $2,29 \text{ h}^{-1}$  e  $2,42 \text{ h}^{-1}$ , respectivamente, constata-se um aumento significativo na infiltração de ar, comprovando que as aberturas adotadas atenderam a finalidade de aumento da renovação do ar dentro da célula e de diminuição da temperatura interior.



**FIGURA 12:** Temperaturas obtidas na campanha Ventilação Natural Cruzada: [a] 3 semanas; [b] 1 dia e [c] dados estatísticos.

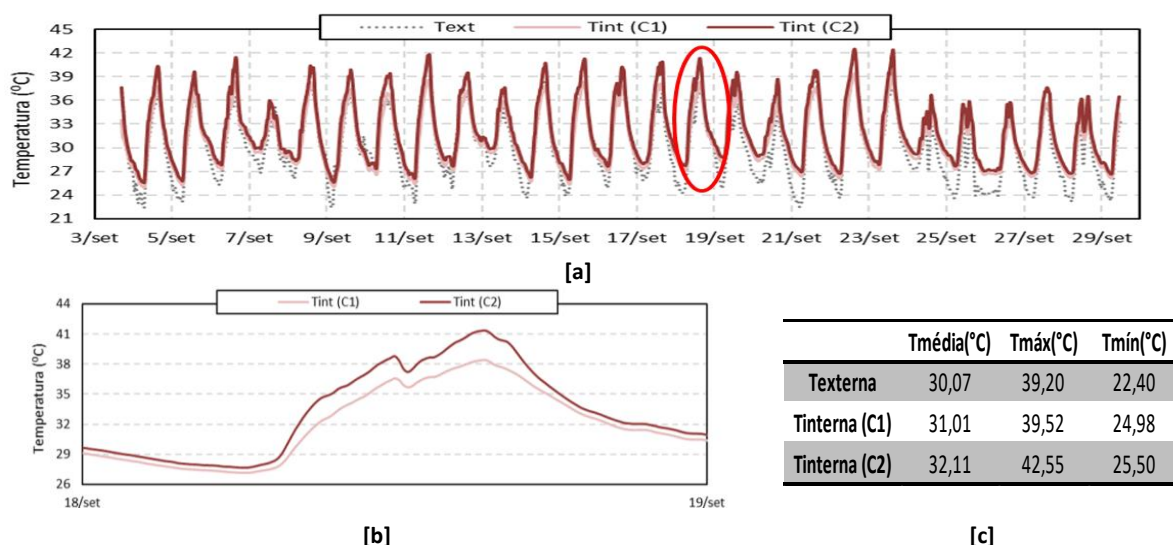
FONTE: Autoria Própria.



**FIGURA 13:** Impacto da Ventilação Natural Cruzada nas renovações por hora (RPH) das células.

FONTE: Autoria Própria.

A variação da temperatura nas células C1 e C2 após ter sido aplicada na célula C1 a Pintura com Tinta Reflectante é observada na Figura 14. A campanha comprovou a eficácia da técnica ao evidenciar que a célula C1 manteve, em média, uma temperatura inferior em  $1,10 \text{ }^\circ\text{C}$  em relação à célula C2. A temperatura mais elevada aferida ( $42,55 \text{ }^\circ\text{C}$ ) foi encontrada na célula C2, enquanto que a mais baixa foi medida na célula C1 ( $24,98 \text{ }^\circ\text{C}$ ). As temperaturas máximas, médias e mínimas das duas células mantêm-se, tal como nas campanhas anteriores, mais elevadas que as do ambiente externo.



**FIGURA 14:** Temperaturas obtidas na campanha Pintura com Tinta Reflectante: [a] 3 semanas; [b] 1 dia e [c] dados estatísticos.

**FONTE:** Autoria Própria.

## 7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Dos resultados obtidos com aplicação das quatro técnicas testadas, apresentados na Tabela 1, verifica-se que o Brise Soleil apresentou uma leve redução da temperatura no interior da célula C1 face à célula C2, com melhores resultados obtidos no período diurno, quando há radiação solar. Apesar da redução da temperatura, ela é inferior ao esperado, possivelmente devido à pequena área envidraçada nas células e sua localização em apenas uma fachada. Com a aplicação da Manta Reflectante, não se observou uma melhoria do desempenho, provavelmente devido à ventilação pouco eficaz do desvão na cobertura, resultante da baixa declividade do telhado. A Ventilação Natural Cruzada comprovou ser a técnica mais eficaz no período noturno, onde foi alcançada uma redução da temperatura média de aproximadamente 0,8 °C face à célula de controle. A Pintura com Tinta Reflectante foi a que se apresentou mais eficaz, sobretudo no período diurno, no qual reduziu aproximadamente 1,7 °C da temperatura média interior face à célula C1.

**TABELA 1:** Diferença da média de Temperatura da Célula 01 x Célula 02 em °C

	Média Diurna	Média Noturna	Média Geral
<b>Brise Soleil</b>	-0,230	-0,045	-0,174
<b>Manta Reflectante</b>	0,248	0,156	0,223
<b>Ventilação Natural Cruzada</b>	-0,637	-0,774	-0,637
<b>Pintura Tinta Reflectante</b>	-1,663	-0,541	-1,097

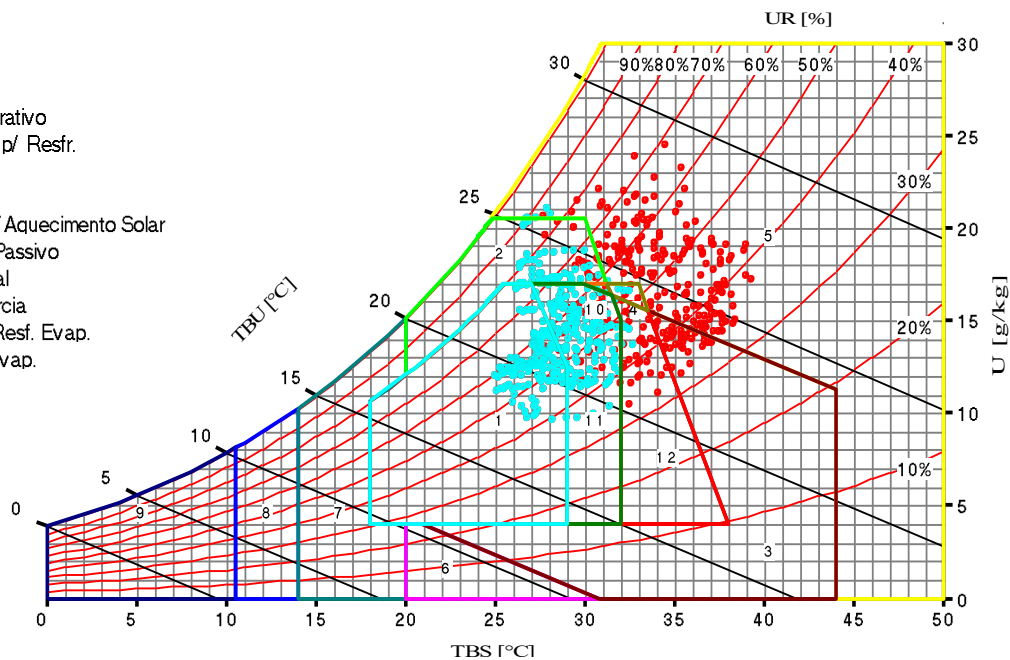
**FONTE:** Autoria Própria.

No que diz respeito à avaliação do conforto térmico nas células durante o período em que foram implementadas as medidas de resfriamento passivo, a Figura 15 apresenta o diagrama bioclimático de Giovanni com os valores da temperatura e umidade medidos durante a campanha Brise Soleil, no período diurno (pontos na cor vermelha) e período noturno (pontos na cor azul). Observa-se que as medições

efetuadas no período noturno se encontram, em sua maioria, distribuídas pela zona de conforto (81,2%), ao contrário do período diurno, em que apenas uma parte pequena se situa nesta zona (13,2%).

## ZONAS:

1. Conforto
2. Ventilacao
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/ Alta Inércia
11. Vent./ Alta Inércia/ Resf. Evap.
12. Alta Inércia/ Resf. Evap.



**FIGURA 15:** Diagrama bioclimático de Giovani para a campanha Brise Soleil. Os pontos azuis representam o período noturno e os vermelhos o período diurno.

**FONTE:** Autoria Própria.

Os resultados para as demais campanhas são apresentados na Tabela 2, que indica a percentagem de medições dentro da zona de conforto para o período diurno, noturno e para as 24 horas do dia (geral), para as técnicas Brise Soleil, Manta Reflectante, Ventilação Natural Cruzada e Pintura com Tinta Reflectante. As técnicas seguiram a mesma tendência verificada na análise efetuada com base na temperatura, notando-se que para o Brise Soleil a diferença obtida entre as duas células é praticamente nula. A Manta Reflectante aumentou o desconforto em todos os períodos analisados (diurno, noturno e geral). Já a Ventilação Natural Cruzada aumentou em aproximadamente 8% o conforto no período noturno e a Pintura com Tinta Reflectante foi a que apresentou melhores resultados, tanto no período noturno como no diurno, com um aumento do conforto em cerca de 9% no período noturno e 2% no período diurno. O aumento considerável do conforto no período noturno com esta última técnica resulta, por um lado, de no período noturno ainda se estarem a contabilizar algumas horas com sol, e por outro, de se partirem de condições mais satisfatórias no período diurno, o que condiciona o período noturno.

**TABELA 2:** Conforto térmico da Célula 01 x Célula 02 em %

	Diurno			Noturno			Geral		
	C1	C2	ΔC	C1	C2	ΔC	C1	C2	ΔC
<b>Brise Soleil</b>	13,2	13,2	0,0	81,2	80,3	0,9	46,6	46,1	0,5
<b>Manta Reflectante</b>	15,4	16,7	-1,3	92,0	94,6	-2,6	53,0	53,9	-0,9
<b>Ventilação Natural Cruzada</b>	6,5	5,7	0,8	64,2	56,5	7,7	34,6	30,2	4,4
<b>Pintura Tinta Reflectante</b>	4,2	2,1	2,1	39,9	30,8	9,1	22,0	16,8	5,2

**FONTE:** Autoria Própria.

## 8. CONCLUSÕES

As técnicas de resfriamento passivo implementadas na construção têm como finalidade evitar o desperdício de energia necessária para o resfriamento, contribuir com a sustentabilidade e garantir o conforto térmico nas edificações. Através da campanha experimental realizada, foi possível concluir que a eficácia da técnica Brise Soleil não foi muito evidente, provavelmente devido às características do vão realizado nas células de ensaio, pelo que será necessário avaliar o seu efeito com áreas de envidraçado maiores e com outras orientações. A Manta Reflectante, considerando o modelo do telhado proposto, não foi eficiente, aumentando a temperatura interior e o desconforto térmico. A Ventilação Natural Cruzada se mostrou uma excelente técnica principalmente para o período noturno, quando as temperaturas exteriores são mais baixas, e a Pintura com Tinta Reflectante foi a que apresentou os melhores resultados com relação à diminuição da temperatura interior no período diurno. Esta última técnica foi também a que garantiu um maior aumento na percentagem de tempo dentro da região de conforto térmico, em todos os períodos analisados.

Embora este trabalho tenha contribuído para o conhecimento sobre o tema, mais pesquisas deverão ser realizadas no futuro, nomeadamente, a avaliação da utilização conjunta de diferentes técnicas, sobretudo das que apresentaram melhores resultados (Ventilação Natural Cruzada e Pintura com Tinta Reflectante). Por outro lado, também se deverá estudar as eventuais vantagens ou limitações do fecho das aberturas de ventilação em determinados períodos do dia, quando a temperatura exterior é muito elevada.

## 9. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do PRODEC/FEUP – Programa Doutoral em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a UFT – Universidade Federal do Tocantins.

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base - UIDB/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. M. S. F.; BARREIRA, E.; MOREIRA, P. A. Discussion Regarding the Measurement of Ventilation Rates Using Tracer Gas and Decay Technique. **Infrastructures**, Vol. 5(10), Article number 5100085. 2020, 14 p.

AL-OBAIDI, K. M.; ISMAIL, M.; RAHMAN, A. M. A. (2014). Passive cooling techniques through reflective and radioactive roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review. **Frontiers of Architectural Research**. Vol. 3, Issue 3, Set. de 2014, p. 283-297.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, R. AND E. Air-Conditioning, Thermal environmental conditions for human occupancy. **ANSI/ASHRAE 55: 2017**. 2017: Atlanta.

ARTMANN, N.; MANZ, H.; HEISELBERG, P. Parameter study on performance of building cooling by night-time ventilation. **Renewable Energy** **33**, dez. de 2008. p. 2589-2598.

ASTM E741-00. **Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution**, American Society for Testing and Materials, 2000.

BRASIL. MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET. **Nota Técnica nº 001/2011**. 2011. 11 p.

BUONOCORE, C. O. **Análise das condições de conforto térmico no clima quente e úmido de São Luís (MA): estudos de campo em salas de aula naturalmente ventiladas e climatizadas**. Dissertação de Mestrado, Centro Tecnológico, UFSC, Florianópolis, 2018.

- DE DEAR, R.; BRAGER, G., COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. Final report, ASHRAE RP-884, 1997.
- ELI, L. G.; KRELLING, A. F.; OLINGER, M. S.; LAMBERTS, A. P.; MELO, R. Thermal performance of residential building with mixed-mode and passive cooling strategies: The Brazilian context. **Energy and Buildings**, Volume 244, 2021, ISSN 0378-7788
- FANGER, P.O. **Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering**. 1970, Denmark: McGraw-Hill. 244 p.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. 1998. 464 p.
- IMESSAD, K.; DERRADJI, L.; MESSAOUDENE, N. A.; MOKHTARI, F.; CHENAK, A.; KHARCHI, R. Impact of passive cooling techniques on energy demand for residential buildings in a Mediterranean climate. **Renewable Energy**, Volume 71, p. 589-597, 2014.
- INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 09 jun 2020.
- INSTRUTHERM. **Manual de Instruções do Medidor de Stress Térmico Digitál modelo TGD-200**. Dez. de 2016. 6 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities, **ISO 7726**. Genebra, 1996, 39 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. **ISO 7726:1998**. 1998, EN ISO: Geneve.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Ergonomics of the thermal environment analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria **ISO 7730: 2005**. 2005, EN ISO: Geneve. 60 p.
- KHAMBADKONE, N.; JAIN, R. A bioclimatic analysis tool for investigation of the potential of passive cooling and heating strategies in a composite Indian climate. **Building and Environment** **123**, out. de 2017, p. 469-493, 2017.
- MICHELS, C. **Avaliação experimental do desempenho térmico de coberturas**. Tese de Doutorado, Centro Tecnológico, UFSC, Florianópolis, 2018.
- ONSET COMPUTER CORPORATION. **A Manual – U12011: Hobo U12 Temp/RH Data Logger**. Doc 13127. 2009. 02 p.
- PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento e normalização específica**. Dissertação Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos – São Paulo. 2006. 128 p.
- ROMEO, C.; ZINZI, M. Impact of a cool roof application on the energy and comfort performance in an existing non-residential building. A Sicilian case study. **Energy and Buildings** **67**, p. 647-657, 2013.
- SCHABBACH, L. M.; MARINOSKI, D. L.; GÜTHS, S.; BERNARDIN, A. M.; FREDEL, M. C. (2018). Pigmented glazed ceramic roof tiles in Brazil: Thermal and optical properties related to solar reflectance index. **Solar Energy**, Volume 159, 2018, p. 113-124, ISSN 0038-092X.
- SEPLAN. Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. (2012). **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Palmas: SEPLAN, 2012. 79 p. Tocantins, Brasil.
- VEIGA, R. K. S. **Metamodelo para estimar o desempenho térmico de edificações residenciais multifamiliares naturalmente ventiladas**. Dissertação de Mestrado, Centro Tecnológico, UFSC, Florianópolis, 2021.