AVALIAÇÃO DO EFEITO DE DIFERENTES TÉCNICAS DE RESFRIAMENTO PASSIVO NO CONFORTO TÉRMICO UTILIZANDO CÉLULAS DE TESTE EM PALMAS-TO

Murilo Marcolini (1); Ricardo Almeida (2); Eva Barreira (3)
(1) Mestre, Doutorando do Programa em Engenharia Civil da FEUP, murilomarcolini@gmail.com, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
(2) PhD, Professor Adjunto, ralmeida@estgv.ipv.pt, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
(3) PhD, Professora Auxiliar, barreira@fe.up.pt, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

RESUMO
Com os custos cada vez mais elevados da energia e a necessidade de reduzir a pegada ecológica das cidades, a procura de tecnologia que permitam reduzir os consumos energéticos para resfriamento é cada vez mais relevante, sobretudo em cidades como Palmas-TO, que apresenta temperaturas muito altas durante o ano todo. A implementação de técnicas que garantam o resfriamento passivo das edificações poderão contribuir para esses objetivos. O presente trabalho apresenta os resultados de uma campanha experimental, com a duração de cerca de 9 meses, durante a qual foi avaliado o efeito da ventilação natural e da pintura com tinta refletante, quando aplicadas individualmente e quando combinadas entre si. Para tal foram montadas duas células teste idênticas em Palmas-TO, tendo sido, em uma delas, implementadas as diferentes medidas de resfriamento passivo e tendo a outra permanecido inalterada, para ser possível a comparação dos resultados. Verificou-se que quando aplicadas individualmente, a ventilação natural cruzada foi a mais eficaz no período noturno e a pintura com tinta refletante apresentou melhor desempenho no período diurno. Quando combinadas a pintura com tinta refletante com a ventilação natural (cruzada, cruzada apenas durante a noite e por efeito chaminé), verificou-se uma melhoria do desempenho, garantindo-se maiores diminuições da temperatura face ao controle. Das três combinações, a que apresentou maior diferença média diária foi a pintura com tinta refletante com ventilação natural cruzada. No entanto, se avaliar a eficácia das técnicas considerando separadamente o período noturno e o diurno, verifica-se que a ventilação por efeito chaminé origina maiores diferenças no período diurno, sendo as diferenças no período noturno muito semelhantes nos três casos.

Palavras-chave: resfriamento passivo, célula de teste, monitoração higrotérmica.

ABSTRACT
The increasing costs of energy and the need to reduce the ecological footprint of cities, the search for technologies to reduce energy consumption for cooling is increasingly relevant, especially in cities like Palmas-TO, which has very high temperatures throughout the year. The implementation of techniques that guarantee the passive cooling of buildings can contribute to these objectives. This paper presents the results of an experimental campaign, lasting about 9 months, during which the effect of natural ventilation and reflective paint was evaluated, both when applied individually and when combined with each other. For this purpose, two identical test cells were set up in Palmas-TO. One was used to implement the different techniques of passive cooling and the other remained unchanged, in order to allow comparing the results. It was found that when applied individually, natural cross ventilation was the most effective at night and reflective paint showed better performance during daytime. When the reflective paint was combined with natural ventilation (crossed, crossed only at night and by chimney effect), there was an improvement in the performance, ensuring greater temperature decreases compared to the control cell. Considering the combined techniques, the one that showed the greatest daily average difference was the reflective paint with crossed natural ventilation. However, if the effectiveness of the techniques is evaluated considering the night-time and daytime periods separately, ventilation by chimney effect leads to greater differences during daytime.

Keyword: passive cooling, test cell, hygrothermal monitoring

1. INTRODUÇÃO

A cidade de Palmas-TO, localizada no centro do Brasil (Figura 1), possui como característica climática a elevada temperatura ao longo de todo o ano. A procura de técnicas passivas de resfriamento, que possam eventualmente ser associadas a técnicas ativas, garantirá uma redução dos consumos energéticos, que será mais significativa em climas secos e quentes.



Figura 1. Localização geográfica do Tocantins e Palmas no Brasil

O resfriamento passivo consiste numa forma sustentável de garantir uma melhoria do conforto térmico em edifícios, através do controle dos fluxos de energia por radiação, convecção ou condução (KAMAL, 2012), evitando o sobreaquecimento. Estas metodologias poderão estar relacionadas com a atuação ao nível do isolamento térmico, do sombreamento dos vãos envidraçados, controlando a radiação solar num equilíbrio entre o ganho de calor e a admissão de luz, das propriedades térmicas da superfície e infiltração de ar (ASIMAKOPOULOS 1996, MUMOVIC E SANTAMOURIS 2009).

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, que antes era utilizada 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 que apresentam clima quente e umido. 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 reflexivas, 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 reflexivas e radiativas de resfriamento passivo em coberturas melhorou a capacidade dos edifícios de dissipar calor, minimizando o feito 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, no Brasil, Peralta (2006) avaliou o desempenho térmico de telhas usando duas células teste, servindo uma delas como comparativo. A cidade tem como caracteristica um clima com verão quente e chuvoso e inverno seco e pouco frio. Para a análise foram utilizados dados climáticos fornecidos por uma estação meteorológica automática, nomeadamente, temperatura, umidade relativa, radiação solar, direção do vento e índice pluviométrico. No interior das células de teste foram instalados diversos equipamentos, entre eles um datalogger para conexão de termopares, que registraram a temperatura superficial da cobertura e das paredes, um sensor de radiação solar global, que mediu a radiação direta e difusa e um anemómetro, que aferiu a velocidade do ar no interior das células. Os registros foram realizados a cada 30 segundos, sendo utilizadas as médias de cada 30 minutos.

No Brasil há estudos recentes sobre uso de técnicas de resfriamento passivo como Eli *et al.* (2021), Veiga (2021) e Buonocore (2018) analisando o uso da ventilação natural e Schabbach *et al.* (2018) e Michels (2018) pesquisando o uso de cobertura com pintura refletante.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo principal avaliar a eficácia, em regiões com climas secos e quentes, de algumas técnicas de resfriamento passivo como a ventilação natural cruzada e por efeito chaminé e a pintura dos elementos opacos com tinta refletante. Também se pretende estudar o feito da combinação daquelas duas técnicas, nomeadamente, pintura com tinta refletante associada a ventilação natural cruzada, pintura com tinta

refletante associada a ventilação natural cruzada apenas durante a noite e pintura com tinta refletante associada a ventilação natural por efeito chaminé.

3. MÉTODO

As técnicas de resfriamento passivo contribuem para garantir o conforto térmico dos utilizadores dos edifícios, reduzindo os consumos energéticos associados às técnicas ativas de resfriamento, indispensáveis em climas quentes e secos.

As diferentes técnicas e respetivas combinações foram implementadas em uma célula teste, localizada em Palmas, Tocantins, tendo-se medido as condições higrotérmicas no seu interior ao longo do tempo, por meio de sensores de temperatura. Os resultados obtidos foram comparados com as condições de uma outra célula, geometricamente idêntica e localizada na proximidade, que serviu de controle, permitindo quantificar a eficácia de cada um dos cenários através da avaliação das diferenças de temperatura. O clima exterior foi caracterizado através da Estação meteorológica de Palmas.

3.1. Células teste

Para a realização deste estudo, construíram-se duas células teste, com 2,4 x 2,4 x 2,4 m³ cada uma. Para materializar as paredes e o forro das células utilizaram-se painéis OSB, com 9,5 mm de espessura, tendo sido isoladas termicamente pelo interior com 20 mm de lã de vidro. Cobertura, de duas águas com direções norte-sul e inclinação de 10%, foi revestida com telhas termo acústicas (chapa metálica com núcleo em EPS de 30mm). A janela, com 0,6 x 0,6 m², são em caixilharia de alumínio com vidro simples, posicionadas a 1,5 m de altura de base, na fachada norte. A porta, em OSB com 0,8 x 2,10 m², estava localizada na fachada oeste. Na célula C1 foram implementadas as técnicas de resfriamento passivo em estudo, enquanto que a célula C2 permaneceu inalterada, servindo de controle (Figura 2).



Figura 2 – Células teste: (A e B) Esquema com localização dos elementos construtivos e equipamentos; (C) In loco.

3.2. Procedimento de ensaio e equipamentos utilizados

Para este estudo foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Quatro sensores de temperatura e umidade relativa (dois em cada célula), posicionados no centro da células, a um metro de altura do pavimento. O equipamento possui uma precisão de ±0,35 °C para temperatura e ±2,5% para a umidade relativa (ONSET, 2009). Foram gravados registros a cada 10 minutos.
- Dois Globos Negros, com diâmetro de 15 cm (esta dimensão foi considerada na obtenção da temperatura radiante média). O tempo de resposta do equipamento varia entre 20 e 30 min e a temperatura em operação está compreendida entre -10 ºC a 50 ºC, com uma precisão de ± 0,5 ºC (INSTRUTHERM, 2006). O equipamento foi instalado no centro do pavimento, durante um dia, tendo sido realizadas quatro aferições, com intervalo de duas horas, para cada célula. A obtenção

da temperatura radiante média (Trdmed) foi obtida a partir das medições das temperaturas de globo, aplicando-se a Equação 1 (INSTRUTHERM, 2006).

$$T_{rdmed} = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g * \sigma} * (T_g - T_a)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:
T_{rdmed} é a temperatura radiante média [K];
T_g é a temperatura do globo [K];
T_a é a temperatura do ar [K];
h_{cg} é o coeficiente de transferência de calor por convecção ao nível do globo [W/m².K];
ε_g é a emissividade do globo negro;
σ é a constante de Stefan-Boltzan [5,67x10^{-8} W/m².K^4]

O clima exterior foi caracterizado através da estação meteorológica automática (EMA) de Palmas-TO (Latitude: -10.190744º e Longitude: -48.301811º), administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. A estação coleta dados a cada minuto, fornecendo temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade do vento e radiação solar (BRASIL, 2011).

3.3. Técnicas implementadas

Na campanha 1 implementou-se o sistema de ventilação natural cruzada. Para tal foram realizadas duas aberturas na célula C1, com 20 cm x 20 cm cada uma, localizando-se uma delas na parte inferior da fachada leste e a outra na perpenticular na parte superior da fachada oeste. A abertura à menor cota foi realizada na fachada leste porque estar orientada aos ventos dominantes (Figura 3A). Na campanha 2 foi aplicada uma pintura com tinta refletante[1] de cor branca nas faces exteriores das 4 paredes e na cobertura. A aplicação foi efetuada com 3 demãos, de acordo com as instruções do fabricante (Figura 3B).

A campanha 3 consistiu na junção das duas técnicas anteriores, com a ventilação cruzada a ocorrer durante as 24 horas de cada dia. A campanha 4 foi semelhante à 3, embora a ventilação natural cruzada apenas tivesse ocorrido no período noturno. Realizou-se uma 5ª campanha, em que associada à pintura refletante ocorreu ventilação natural durante as 24 horas do dia por efeito chaminé, no qual foi realizado três aberturas de 20 cm x 20 cm cada, duas localizadas na parte inferior da celula, perpendiculares, fachadas oeste e leste e a terceira no forro da celula em sua parte central (Figura 3B). Durante todos os ensaios a porta e a janela da celulas permaneceram fechadas, fazendo com que o efeito da ventilação natural ocorre-se apenas pelas aberturas realizadas.



A) B) C)

Figura 3 – Técnicas implementadas: (A) Ventilação natural cruzada; (B) Pintura com tinta refletante nas paredes e cobertura; (C) Ventilação natural chaminé.

3.4. Aferição relativa dos equipamentos e das células teste

Antes do início das campanhas experimentais foi efetuada uma aferição relativa dos quatro sensores de temperatura e umidade relativa. Para tal, foram colocados no interior de uma câmara climática, e sujeitos a um ciclo de 24 horas, com a temperatura a variar entre 10 °C e 35 °C e a umidade relativa entre 50% e 80%. Os resultados obtidos pelos quatro equipamentos foram semelhantes.

[1] A Tinta utilizada foi a Termocril "Tinta refletora de calor" da marca Maggicor.

Posteriormente, realizou-se uma avaliação do comportamento das células sem que nenhuma medida de resfriamento passivo tivesse sido implementada. Foram medidos valores da temperatura e umidade relativa do ar, temperatura radiante e infiltração de ar (Figuras 4 e 5). Verificou-se que as temperaturas interiores nas duas células eram muito próximas, sendo sempre superiores às exteriores, tanto no período diurno como no noturno (Figura 4A). Quanto à umidade relativa, as duas células também apresentaram registos muito próximos, com valores mais elevados durante o dia e mais baixos durante a noite (Figura 4B). Através destas medições comprovou-se que as duas células apresentavam condições higrotérmicas semelhantes.

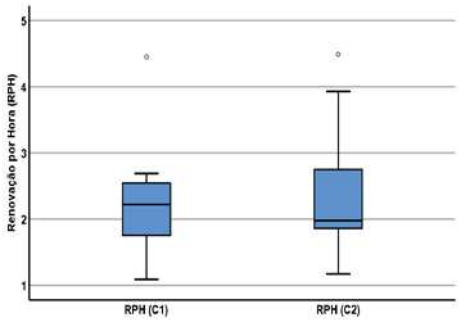
A Figura 4C mostra os valores das renovações por hora, obtidos utilizando a técnica do decaimento e o CO_2 como gás traçador, para as células C1 e C2, resultantes de 11 e 14 medições, respetivamente. Os resultados mostram alguma variabilidade, que, contudo, pode ser considerada aceitável. Em termos médios, obtiveram-se 2,29 h^{-1} para a célula C1 e 2,42 h^{-1} para a célula C2. Estes valores sugerem existência de infiltrações significativas nas células devido à falta de vedação das ligações paredes / forro.

	Tmédia	Tmáx	Tmín
Texterna	27,32	35,10	18,60
Tinterna (C1)	30,47	39,83	23,12
Tinterna (C2)	30,22	39,09	23,18

(A)

	Umédia	Umáx	Umín
Uexterna	60,96	92,00	26,00
Uinterna (C1)	59,85	76,47	36,96
Uinterna (C2)	60,08	77,23	36,52

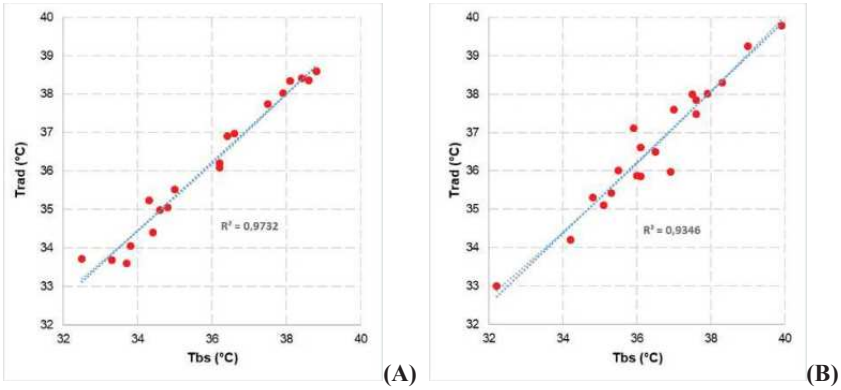
(B)



(C)

Figura 4 – Aferição do comportamento das células entre 15 de maio e 4 de junho de 2018: (A) Temperatura interior e exterior (°C); (B) Umidade relativa interior e exterior (%); (C) Renovações por hora (h^{-1}) resultantes das infiltrações pelas ligações paredes / forro.

A Figura 5 mostra os valores da temperatura radiante média e da temperatura do ar, aferidos em vinte medições em cada célula. Verifica-se que não existem diferenças relevantes entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média, comprovando-se não ser significativo o impacto da radiação emitida pelas superfícies interiores. Por outro lado, os valores da temperatura radiante média obtidos para as duas células são semelhantes, pelo que apresentam o mesmo desempenho.



(A) **(B)**

Figura 5 – Temperatura radiante média (Trad em ºC) e temperatura do ar (Tbs em ºC): (A) na célula C1; (B) na célula C2.

4. RESULTADOS

Os resultados da campanha 1 são indicados na Figura 6, que apresenta a variação de temperaturas na célula C1, com ventilação natural cruzada, e na célula C2, sem qualquer modificação. Esta campanha decorreu durante 20 dias, entre 8 e 28 de agosto de 2018, num período de temperaturas exteriores muito elevadas. O valor máximo da temperatura interior ocorreu na célula C2 e o mínimo na célula C1, onde havia sido implementada a ventilação natural cruzada. A Figura 6 mostra a variação da temperatura nas células C1 e C2, num dos dias do período em estudo, verificando-se que na célula C2 o valor é em média 0,64 °C mais alto do que na célula C1 com valor de RMS de 0,71 ºC, sendo esta média no período noturno de 0,79 ºC e no diurno 0,47 ºC. Sendo assim, comprova-se a eficácia desta técnica, chegando a atingir a diferença máxima entre as células de 2,01 ºC de resfriamento. As renovações por hora na célula C1 foram em média 6,96 h^{-1}, bastante

superiores aos valores obtidos sem a presença das aberturas, permitindo correlacionar a diminuição da temperatura com o aumento da vazão de ventilação.

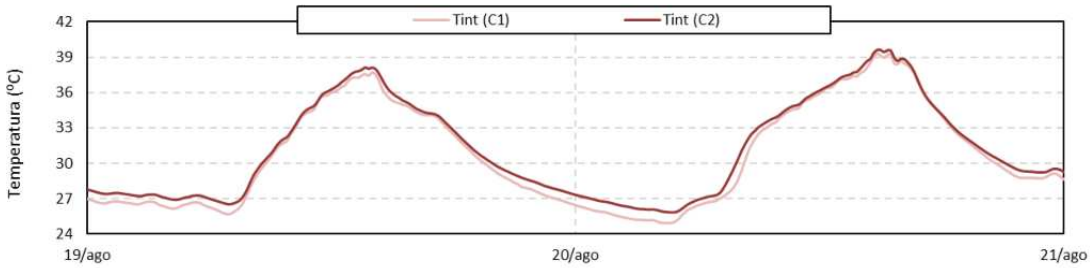


Figura 6 – Variação de temperatura num dos dias da campanha 1 (ventilação natural cruzada).

A Figura 7 apresenta os resultados de dois dias da campanha 2, em que a célula C1 foi pintada com uma tinta refletante e teve o pico de resfriamento com 3,83 ºC de diferença em relação à C2 com valor RMS de 1,30 ºC. Esta campanha decorreu durante 27 dias, entre 1 e 27 de outubro de 2018. Verifica-se que esta técnica foi eficaz, uma vez que permitiu uma redução média da temperatura interior da célula C1 face a C2 de 1,06 ºC. Comparando os resultados da campanha 2 com os da campanha 1, verifica-se que a ventilação natural cruzada teve mais impacto durante a noite e a pintura com tinta refletante durante o dia pois esta última apresentou 0,53 ºC de resfriamento diruno e 1,73 ºC noturno.

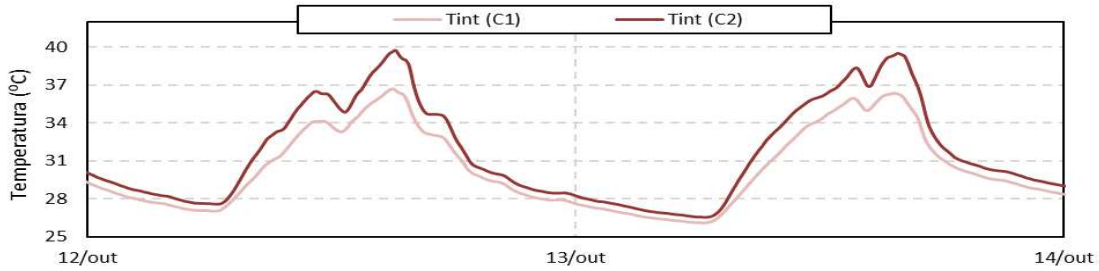


Figura 7 – Variação de temperatura num dos dias da campanha 2 (pintura com tinta refletante).

Os resultados da campanha 3 (pintura com tinta refletante e ventilação cruzada durante as 24 horas do dia) estão apresentados na Figura 8. As medições foram realizadas entre 19 de fevereiro e 02 de março de 2019. Observa-se que as temperaturas mais elevadas ocorreram sempre na célula sem as medidas de resfriamento passivo (célula C2) a célula com medidas de resfriamento (célula C1) chegou a 5,06 ºC de resfriamento. Verifica-se ainda que a maior diferença de temperaturas entre as duas células ocorreu durante o dia, sendo em média superior a 2,5 ºC. Durante a noite, esta diferença não chega a 1,0 ºC, apresentando assim uma média geral de 1,65 ºC de resfriamento com valor RMS DE 1,95 ºC.

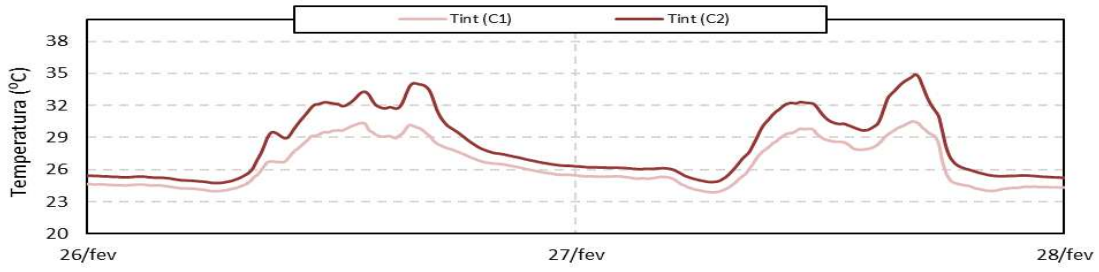


Figura 8 – Variação de temperatura em dois dias da campanha 3 (pintura com tinta refletante e ventilação natural cruzada).

Quando a ventilação natural cruzada implementada apenas no período noturno foi associada à pintura com tinta refletante, durante a campanha 4 que decorreu entre 06 e 20 de março de 2019, os resultados obtidos não diferiram de forma significativa dos da campanha 3, tendo média de 1,64 ºC e valor RMS de 1,98 ºC. Ainda assim, é possível constatar que houve um ligeiro aumento das diferenças de temperatura, sobretudo no período diurno, com média de 2,78 ºC, uma vez que, estando a ventilação desativada quando as temperaturas exteriores eram mais elevadas, evitou-se a entrada de ar mais quente, proveniente do exterior, para o interior da célula e foi possível obter até 5,03 ºC de resfriamento (Figura 9).

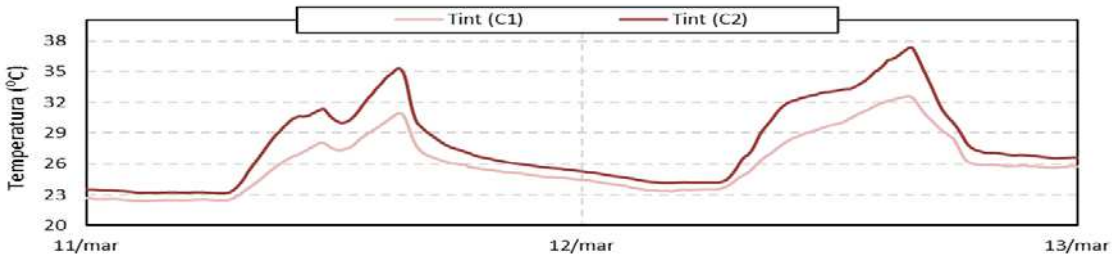


Figura 9 – Variação de temperatura em dois dias da campanha 4 (pintura com tinta refletante e ventilação natural cruzada apenas durante a noite).

A associação da pintura com tinta refletante com a ventilação por efeito chaminé, na célula C1, ocorreu entre os dias 07 e 17 de abril de 2019. Essa técnica também apresentou bons resultados, uma vez que na célula C1 mediram-se temperaturas em média 1,84 ºC mais baixas do que na célula C2, sendo essas diferenças muito semelhantes às obtidas nas campanhas 3 e 4 para o período noturno (0,83 ºC) e ligeiramente superiores para o período diurno (3,10 ºC), apontando para uma maior eficácia da ventilação por efeito chaminé face à ventilação cruzada (Figura 10), o valor RMS foi de 2,11 ºC e a diferença máxima de temperatura entre as células chegou a 5,61 ºC de resfriamento na Célula C1.

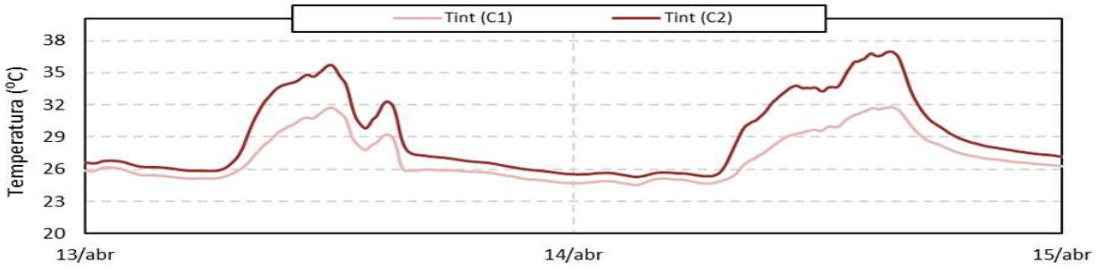


Figura 10 – Variação de temperatura em dois dias da campanha 5 (pintura com tinta refletante e ventilação por efeito chaminé).

A Figura 11 resume os resultados obtidos nas 5 campanhas experimentais realizadas. Quando aplicadas individualmente, a pintura com tinta refletante revelou-se mais eficaz do que a ventilação natural cruzada. Com efeito, a ventilação cruzada apresentou uma diferença de temperatura média de 0,64 °C entre a célula C1 (onde a técnica foi implantada) e a célula C2. Contudo, a sua eficácia é maior no período noturno, com o aumento da diferença média para 0,79 °C. A pintura com tinta refletante garante melhores resultados, uma vez que a variação média de temperatura entre as duas células (C1 face a C2) foi de 1,06 °C, aumentando para 1,54 ºC se só for considerado o período diurno.

Também é possível constatar que a combinação de técnicas originou maior diferença de temperatura face à célula de contole do que a implementação de cada uma delas de forma individual. Na campanha 3 (pintura com tinta refletante e ventilação cruzada) a maior variação de temperatura entre as células foi de 5,06 °C, tendo sido a diferença em média de 2,67 ºC no período diurno. Quando a ventilação natural cruzada ocorreu apenas durante a noite (campanha 4) o desempenho das técnicas de resfriamento passivo melhorou, uma vez que a diferença de temperatura entre a célula C1 e a célula C2 foi no máximo de 5,03 °C e em média durante o período diurno de 2,78 ºC. Este valor aumentou para 3,10 ºC quando a ventilação passou a ocorrer por efeito chaminé.

Campanhas	Técnicas	Tmédia			Trms	Tmáx
		Geral	Noturno	Diurno	Geral	Geral
1	Ventilação natural cruzada	-0,64	-0,79	-0,47	0,71	-2,01
2	Tinta refletante	-1,06	-0,53	-1,73	1,30	-3,83
3	Tinta refletante e ventilação natural cruzada	-1,65	-0,84	-2,67	1,95	-5,06
4	Tinta refletante e ventilação natural cruzada (noturno)	-1,64	-0,86	-2,78	1,98	-5,03
5	Tinta refletante e ventilação natural por efeito chaminé	-1,84	-0,83	-3,10	2,11	-5,61

Figura 11 – Diferenças de temperatura entre a Célula 01 e a Célula 02, em °C.

5. CONCLUSÕES

As técnicas de resfriamento passivo são essenciais para garantir o conforto térmico dos utilizadores dos edifícios sem aumentar de forma excessiva o consumo de energia para resfriamento. Para avaliar a eficácia de algumas técnicas de resfriamento passivo, realizou-se uma campanha experimental, onde se implementou em células de teste a ventilação natural cruzada e a ventilação por efeito chaminé, associadas ou não a uma pintura com tinta refletante dos elementos opacos da envolvente. A quantificação da eficácia das técnicas implementadas foi efetuada por comparação dos resultados obtidos na célula onde foram sendo aplicadas as medidas com os da célula de controlo, que permaneceu inalterada ao longo de toda a campanha.

Analisando as técnicas individualmente, a ventilação natural cruzada foi a mais eficaz no período noturno, baixando a temperatura face ao controle em 0,79 ºC, e a pintura com tinta refletante apresentou melhor desempenho no período diurno, garantindo uma diminuição da temperatura de 1,54 ºC. Relativamente às técnicas combinadas, os resultados indicam que as três últimas campanhas foram as mais eficazes, isto é, a combinação da pintura com tinta refletante com a ventilação natural (cruzada, cruzada apenas durante a noite e por efeito chaminé) garantiu maiores diminuições da temperatura face ao controle. Destas três, a que apresentou maior diferença média diária foi a ventilação natural cruzada. No entanto, se se avaliar a eficácia das técnicas considerando separadamente o período noturno e o diurno, verifica-se que a ventilação por efeito chaminé origina maiores diferenças face à célula de controle, sendo que as diferenças para o período noturno são muito semelhantes nos três casos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BRASIL, MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2011). 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.

ELI, L. G., KRELLING, A. F., OLINGER, M. S., LAMBERTS, A. P. Melo, R. (2021). Thermal performance of residential building with mixed-mode and passive cooling strategies: The Brazilian context. **Energy and Buildings,** Volume 244, 2021, ISSN 0378-7788

IMESSAD, K., DERRADJI, L., MESSAOUDENE, N. Ait, 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.005> Acesso em:16 de jan. de 2021.

INSTRUTHERM, (2016) **Manual de Instruções do Medidor de Stress Térmico Digitátil modelo TGD-200**. Dezembro, 2016. 6 p

KAMAL, M. A., (2012) **Na overview of passive cooling techniques in buildings: desing concepts and architectural interventions**. Acta Tech. Napoc.: Civil Eng. Archit., 55 (1) (2012).

MICHELS, C. **Avaliação experimental do desempenho térmico de coberturas**. Tese de Doutorado, Centro Tecnológico, UFSC, Florianópolis, 2018.

MUMOVIC, D., SANTAMOURIS M. (2009). **A Handbook of sustainable Building Desing and Engineering: An Integrated Approach to energy. Health and Operational Performance**, Earthscan (2009).

ONSET COMPUTER CORPORATION. (2009) **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, p. 128.

SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D. (1996). **Passive cooling of buildings**. James & James Ltd.: Londres. (1996).

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

VEIGA, R., K., S. **Metamodelo para estimar o desempenho térmico de edificações residenciais multifamiliares naturalmente ventiladas**. Dissertação de Mestrado, Centro Tecnológico, UFSC, Florianópolis, 2021.

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).