ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Influência da ventilação natural no conforto térmico de ocupantes em edificações com coberturas frias e verdes

Influence of natural ventilation on the thermal comfort of occupants in buildings with cool and green roofs

Taylana Piccinini Scolaro
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | taylana.p.s@posgrad.ufsc.br
Enedir Ghisi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | enedir.ghisi@ufsc.br

Resumo

A utilização de ventilação natural é comum em edificações residenciais brasileiras, seja por questões culturais ou pela inexistência de aparelhos de ar-condicionado. Este estudo tem como objetivo investigar a influência da configuração de ventilação natural no conforto térmico dos ocupantes em edificações com cobertura convencional, fria e verde. Três configurações foram avaliadas no clima de Florianópolis/SC: ventilação durante os períodos de ocupação, ventilação de manhã à noite e ventilação noturna nos ambientes de permanência prolongada. O percentual de horas de conforto térmico foi calculado por meio de variáveis obtidas a partir de simulação computacional no programa EnergyPlus. Os resultados mostraram que a configuração de ventilação que proporcionou o maior percentual de horas de conforto no ano variou conforme o ambiente analisado, principalmente devido ao período de ocupação. Independentemente da configuração de ventilação natural, a cobertura verde foi a que proporcionou o maior percentual de horas de conforto. Dessa forma, o estudo contribui com o entendimento da influência dos padrões de uso da ventilação natural em edificações com diferentes tipos de cobertura.

Palavras-chave: Conforto térmico. Edificação residencial. Cobertura verde. Cobertura fria. Simulação computacional.

Abstract

Natural ventilation is common in Brazilian residential buildings, either due to cultural factors or lack of air-conditioning systems. This study aims to investigate the influence of the natural ventilation configuration on the thermal comfort of occupants in buildings with conventional, cool and green roofs. Three configurations were evaluated in the climate of Florianópolis/SC: ventilation during occupied periods, from morning to night and night-time ventilation in the long-term rooms. The percentage of hours in thermal comfort was calculated using outputs from a computer simulation using the EnergyPlus programme. The results showed that the natural ventilation configuration that provided the highest percentage of hours in thermal

Como citar:
SCOLARO, T. P.; GHISI, E. Influência da ventilação natural no conforto térmico de ocupantes em edificações com coberturas frias e verdes. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

comfort during the year varied depending on the room analysed, mainly due to the period of occupation. Regardless of the natural ventilation configuration, the green roof provided the highest percentage of comfort hours. In this context, the study contributes to understanding the influence of natural ventilation patterns in buildings with different roof types.

Keywords: Thermal comfort. Residential building. Green roof. Cool roof. Computer simulation.

INTRODUÇÃO

Apesar da crescente demanda de energia em edificações e do aumento da posse de ar-condicionado, o uso de ventilação natural em residências é comum no Brasil, seja por razões culturais ou pela falta de aparelhos de ar-condicionado. Assim, a estratégia de adaptação mais frequente em dias quentes é a abertura de portas e janelas para permitir a ventilação [1]. A ventilação natural pode auxiliar os ocupantes a obter conforto térmico sem a necessidade de resfriamento mecânico. Entretanto, o conforto térmico em edificações naturalmente ventiladas também é influenciado pelas características da envoltória da edificação e pelo comportamento dos ocupantes com relação à abertura de portas e janelas [2].

A superfície das coberturas é caracterizada por maior fator de visão para a radiação solar incidente [3], desempenhando papel relevante no desempenho térmico de edificações [4] e, consequentemente, no conforto térmico dos ocupantes. Nesse sentido, soluções como as coberturas frias e verdes têm se mostrado promissoras [5–7]. As coberturas verdes são compostas por algumas ou várias camadas, conforme a necessidade ou função: vegetação, substrato, filtro, drenagem/ retenção, proteção anti-raiz e impermeabilização. O desempenho térmico das coberturas verdes é associado a processos físicos que ocorrem nas camadas de vegetação e substrato [8]. As coberturas frias são caracterizadas pela alta refletância solar, o que reduz a radiação solar absorvida pela superfície do telhado e pela alta emitância térmica, que auxilia na dissipação do calor absorvido [9]. Com relação aos ocupantes, fatores como gênero, idade e peso dos ocupantes, e tipo de ventilação da edificação podem afetar a percepção de conforto térmico [10], levando os ocupantes à interagirem com os sistemas de ventilação de maneiras distintas.

Estudos têm investigado a influência de diferentes coberturas, bem como de padrões de abertura de janelas das edificações no conforto térmico. Synnefa, Santamouris e Akbari [5] analisaram o impacto da refletância solar de coberturas frias em 27 cidades, constatando uma redução de 5 a 97% nas horas de desconforto para coberturas com refletância de 0,6 e de 9 a 100% para refletância de 0,85. Ao contrário, Guo et al. [11], observaram que o aumento da refletância diminuiu o conforto térmico, especialmente em dias frios, mesmo reduzindo o consumo de energia em dias quentes. A ventilação noturna, estudada em Xiamen, mostrou-se ineficaz devido às altas temperaturas noturnas.

Gagliano et al. [6] examinaram coberturas convencionais, frias e verdes, com e sem isolamento, utilizando o Índice de Desconforto Térmico (ITD). Coberturas verdes sem isolamento apresentaram melhor desempenho, com temperaturas operativas entre

25°C e 26,5°C e ITD próximo a 10°C.h. A adição de uma camada de isolamento reduziu a temperatura operativa nos cenários com cobertura convencional e fria.

Em um estudo de Gagliano et al. [12] durante um mês de verão, diferentes coberturas foram avaliadas quanto ao conforto térmico utilizando temperatura operativa como métrica. Todos os cenários, exceto a cobertura convencional sem isolamento, alcançaram conforto térmico adaptativo. O isolamento uniformizou o perfil térmico diário, e a ventilação noturna reduziu as temperaturas mínimas, p o que pode causar certo desconforto por frio.

O conforto térmico dos ocupantes de uma residência unifamiliar foi avaliado por Sorgato, Melo e Lamberts [2], considerando quatro combinações de envoltória da edificação e três cenários de controle de ventilação natural (manhã à noite, noturna e automatizada). A ventilação de manhã à noite resultou nas menores horas de conforto térmico, enquanto a ventilação automatizada apresentou os melhores resultados.

A literatura mostra que a cobertura verde pode melhorar o conforto térmico dos usuários em comparação com coberturas convencionais e frias. No entanto, essa conclusão não deve ser extrapolada para qualquer edificação e condição climática. No caso das coberturas frias, o aumento do conforto térmico em dias quentes pode ou não compensar o desconforto causado em dias frios. A ventilação natural, seja durante o dia ou à noite, pode reduzir as horas de conforto térmico. Assim, em ambientes naturalmente ventilados sem aparelhos de ar-condicionado, é importante investigar como diferentes padrões de abertura de janelas impactam o conforto térmico dos ocupantes de edificações com diferentes tipologias de cobertura.

Este trabalho tem por objetivo investigar a influência da configuração de ventilação natural no conforto térmico dos ocupantes de um apartamento localizado no último pavimento de uma edificação residencial com cobertura convencional, fria e verde, em Florianópolis/SC.

MÉTODO

A influência da configuração da ventilação natural no conforto térmico dos ocupantes em uma edificação com diferentes tipos de cobertura foi avaliada por meio de simulações computacionais realizadas no programa EnergyPlus 22.1.

ARQUIVO CLIMÁTICO

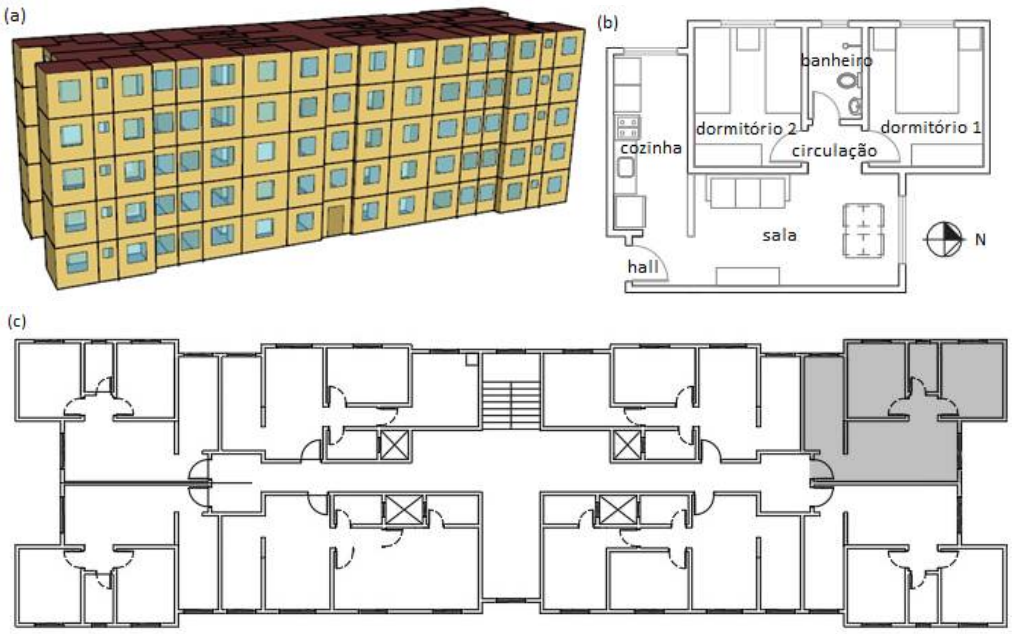
O arquivo climático TMY de 2007-2021 de Florianópolis/SC [13] foi utilizado nas simulações. Segundo a classificação de Köppen [14], a cidade apresenta clima Cfa (subtropical úmido, sem estação seca e com verão quente).

MODELO DE EDIFICAÇÃO

Uma edificação multifamiliar representativa de habitações sociais brasileiras [15] foi utilizada. As análises foram realizadas em um apartamento do último andar do edifício, onde a influência da cobertura é mais perceptível [16,17]. A Figura 1 mostra uma vista em perspectiva do edifício e a planta baixa do edifício e do apartamento usado no

estudo. O edifício foi simulado em um campo aberto, ou seja, sem considerar o sombreamento de outros elementos urbanos.

Figura 1: Modelo de edifício multifamiliar: (a) perspectiva do edifício, (b) planta baixa do apartamento usado na simulação e (c) planta baixa da edificação com o apartamento analisado hachurado.



Nota: adaptado de Triana et al. [15].

Os parâmetros de entrada utilizados para a envoltória, com exceção da cobertura, são os descritos em [15]. As cargas internas devido à presença de pessoas, aos equipamentos e à iluminação foram modeladas conforme a NBR 15575-1 [18].

Três tipos de cobertura foram avaliados: convencional de fibrocimento, fria de fibrocimento e verde extensiva. As coberturas convencional e fria foram modeladas conforme os dados termofísicos da Tabela 1 e apresentam absortância solar de 0,68 e 0,42, respectivamente. Os parâmetros usados para modelar a cobertura verde são apresentados nas Tabela 2 e 3.

Em todos os tipos de cobertura foi avaliada a adição de uma camada de isolamento térmico (4 cm de poliestireno expandido). Considerou-se densidade de 15 kg/m³, condutividade térmica de 0,04 W/m.K e calor específico de 1.420 J/kg.K [19]. No total, seis tipologias de coberturas foram avaliadas:

- Cobertura convencional sem isolamento (CC00);
- Cobertura convencional com isolamento (CC04);
- Cobertura fria sem isolamento (CF00);
- Cobertura fria com isolamento (CF04);
- Cobertura verde sem isolamento (CV00);
- Cobertura verde com isolamento (CV04).

Tabela 1: Propriedades termofísicas das coberturas convencional e fria

Camada	Espessura (mm)	Densidade (kg/m³)	Condutividade térmica (W/m.K)	Calor específico (J/kg,K)	Densidade (kg/m³)
Fibrocimento	6,0	1.800	0,65	840	0,009
Isolamento térmico	0 e 40	15	0,04	1.420	1,0
Câmara de ar	> 50	-	-	-	0,21

Tabela 2: Propriedades termofísicas das camadas de vegetação e substrato da cobertura verde

Camada	Parâmetro	Valor
Vegetação	Altura da vegetação (m)	0,10
	Índice de área foliar (IAF)	3,00
	Refletância das folhas*	0,19
	Emissividade das folhas*	0,97
	Resistência estomática mínima (s/m)	120
Substrato	Espessura (m)	0,10
	Condutividade do solo seco (W/m.K)	0,20
	Densidade do solo seco (kg/m³)	1.020,00
	Calor específico do solo seco (J/kg.K)	1.093,00
	Conteúdo volumétrico saturado de umidade*	0,26
	Conteúdo volumétrico residual de umidade*	0,01
	Conteúdo volumétrico inicial de umidade*	0,15

* Parâmetros adimensionais.

Fonte: baseado em [17,20,21].

Tabela 3: Propriedades termofísicas das camadas de filtro, drenagem, isolamento térmico, anti-raíz e impermeabilização da cobertura verde

Camada	Espessura (mm)	Densidade (kg/m³)	Condutividade térmica (W/m.K)	Calor específico (J/kg.K)
Filtro	1,0	910	0,22	1.800
Drenagem	10	1.000	0,60	4.190
Anti-raiz	0,4	920	0,33	2.200
Isolamento térmico	0 e 40	15	0,04	1.420
Impermeabilização	5,0	1.100	0,23	1.000

Fonte: baseado em [12,22,23].

CONFIGURAÇÕES DE VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural foi modelada por meio da classe de objetos *Air Flow Network* e as variáveis de saída foram as temperaturas nos ambientes de permanência prolongada (sala e dormitórios) e as temperaturas do ar externo. Três diferentes configurações de ventilação natural foram avaliadas: ventilação durante os períodos de ocupação (conforme NBR 15575-1 [18]), ventilação de manhã à noite e ventilação noturna nos ambientes de permanência prolongada (com base em [2]). De acordo com os autores, apesar de simplificadas, estas configurações são comuns em residências brasileiras. Os horários de abertura das janelas em cada configuração são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Horário de abertura das janelas das diferentes configurações de ventilação natural

Configuração de ventilação natural	Horário de abertura das janelas
(a) Durante os períodos de ocupação	Sala: 16:00 - 22:00 Dormitórios: 00:00 - 08:00 e 22:00 - 24:00
(b) De manhã à noite	Sala e dormitórios: 6:00 - 24:00
(c) Noturna	Sala e dormitórios: 18:00 - 24:00

Fonte: os autores.

As janelas dos ambientes de permanência prolongada operaram conforme a configuração de ventilação adotada independentemente da temperatura interna. A janela do banheiro permaneceu sempre aberta e as janelas dos demais ambientes de permanência transitória permaneceram sempre fechadas. As portas internas permaneceram abertas, com exceção da porta do banheiro, que permaneceu sempre fechada. A porta externa permaneceu sempre fechada. Em janelas e portas fechadas, foi considerada infiltração pelas frestas, conforme [18]. Assim, considerou-se coeficiente do fluxo de ar por frestas de 0,0024 kg/s.m para portas e 0,00063 kg/s.m para janelas, expoente do fluxo de ar por frestas de 0,59 para portas e 0,63 para janelas e coeficiente de descarga das aberturas de 0,60.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A influência da configuração de ventilação natural no conforto térmico dos ocupantes da edificação com cobertura convencional, fria e verde foi avaliada por meio da variável percentual de horas de conforto térmico nos ambientes de permanência prolongada durante os períodos ocupados. O conforto térmico foi avaliado considerando as condições da ASHRAE 55 [24]. As temperaturas do limite inferior e superior foram determinadas por meio das Equações 1 e 2, respectivamente. Quando a temperatura ultrapassa o limite superior, os usuários podem sentir desconforto por calor, e quando abaixo do limite inferior, pode haver desconforto por frio.

$$Li_{80\%aceitabilidade} = 0\ ,31 \times t_{me} + 14,3 \quad (1)$$

$$Ls_{80\%aceitabilidade} = 0,31 \times t_{me} + 21,3 \quad (2)$$

Onde: $Li_{80\%aceitabilidade}$ é a temperatura do limite inferior da zona de conforto (°C), $Ls_{80\%aceitabilidade}$ é a temperatura do limite superior da zona de conforto (°C) e t_{me} é a temperatura média externa (°C).

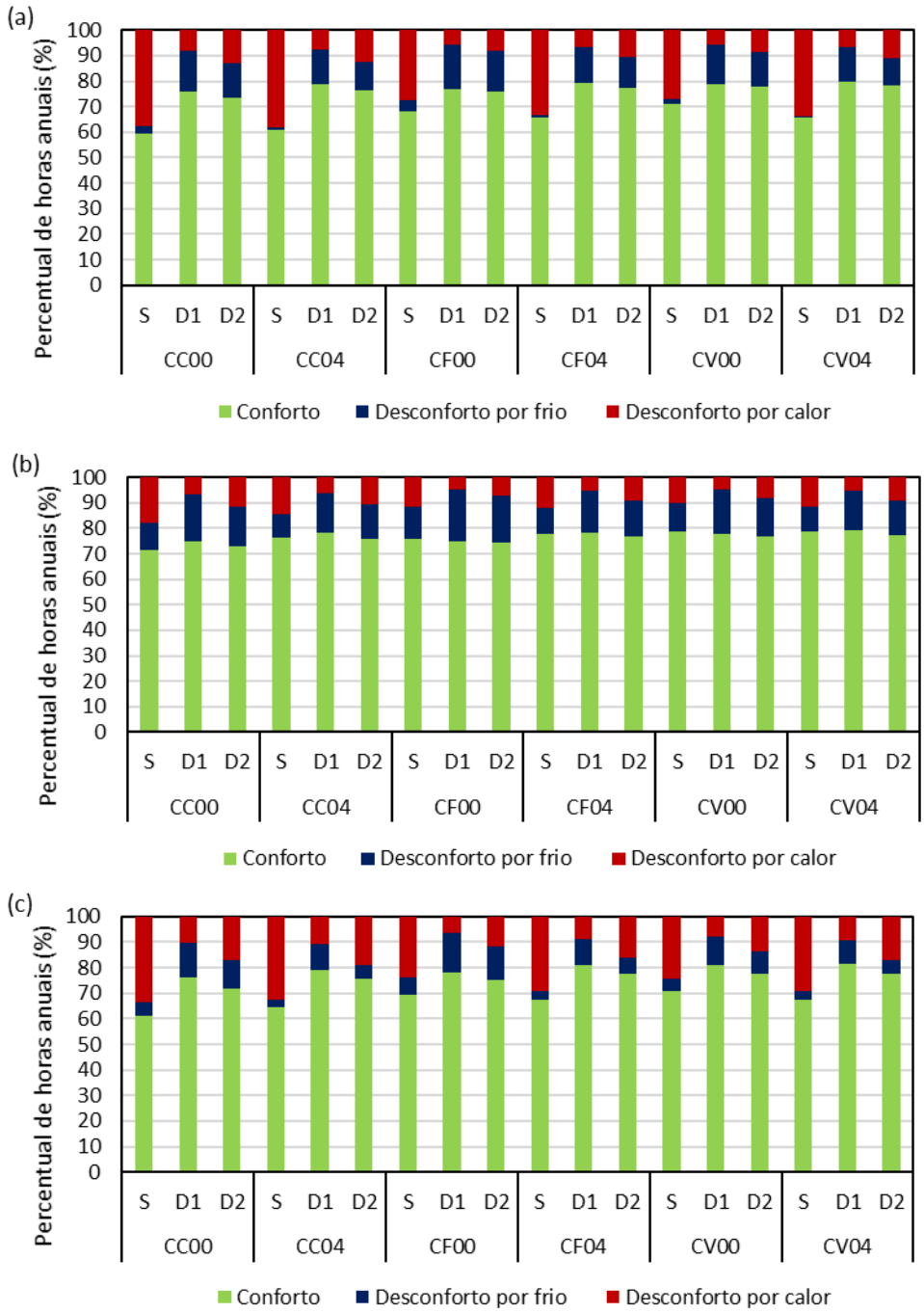
RESULTADOS

A Figura 2 apresenta o percentual de horas anuais de conforto e desconforto térmico nos ambientes de permanência prolongada, considerando diferentes configurações de ventilação natural.

A influência do tipo de cobertura sobre o percentual de horas de conforto térmico foi mais significativa na sala (ocupada durante a tarde e início da noite) em todas as configurações de ventilação natural. Nesse ambiente, o percentual de horas de conforto variou de 59% a 71% com a ventilação natural durante os períodos de ocupação, de 72% a 79% com ventilação natural de manhã à noite e de 61% a 71% considerando a ventilação natural somente à noite. Nos dormitórios (ocupados à

noite), o tipo de cobertura teve menor influência no percentual de horas de conforto térmico, independentemente da configuração de ventilação natural.

Figura 2: Percentual de horas anuais de conforto e desconforto térmico nos ambientes de permanência prolongada com ventilação natural (a) durante os períodos de ocupação, (b) de manhã à noite e (c) noturna.

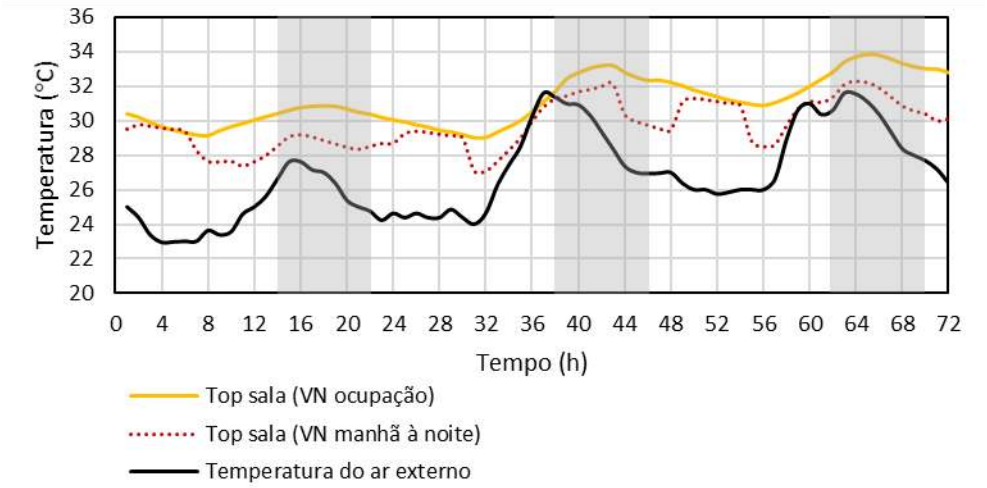


Nota: S: sala, D1: dormitório 1, D2: dormitório 2, CC00: cobertura convencional sem isolamento, CC04: cobertura convencional com isolamento, CF00: cobertura fria sem isolamento, CF04: cobertura fria com isolamento, CV00: cobertura verde sem isolamento, CV04: cobertura verde com isolamento. Fonte: os autores.

Comparando a ventilação de manhã à noite com a ventilação durante os períodos de ocupação, observou-se aumento do percentual de horas anuais de conforto na sala entre 11% e 25% (ou entre 7,5 e 15,2 pontos percentuais), dependendo do tipo de

cobertura. A Figura 3 mostra o perfil de temperatura operativa na sala durante três dias de verão para o cenário da cobertura convencional sem isolamento. Houve redução do desconforto por calor ao longo do ano uma vez que a temperatura operativa diminuiu com a consideração de ventilação também no período da manhã. O desconforto pelo frio aumentou, entretanto, o percentual de horas de desconforto por frio é significativamente menor do que por calor.

Figura 3: Temperatura operativa da sala em três dias de verão com ventilação natural durante o período de ocupação e de manhã à noite para o cenário da cobertura convencional sem isolamento

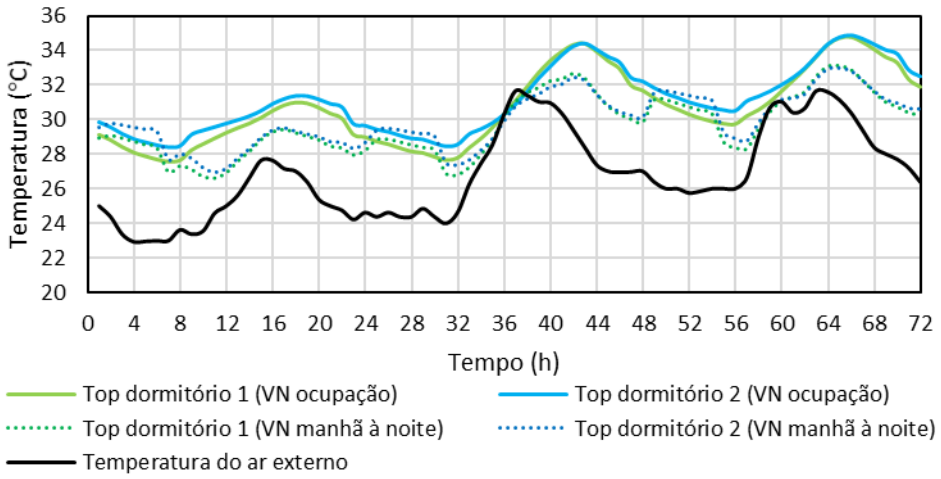


Nota: a hora 0 representa o horário 00:00 e os horários hachurados (14:00 - 22:00) representam o período de ocupação da sala. Top: temperatura operativa, VN: ventilação natural. Fonte: os autores.

Com a alteração da ventilação natural durante o período de ocupação para de manhã à noite, também foi observada redução do desconforto por calor e aumento do desconforto por frio nos dormitórios com todos os tipos de cobertura.

Embora a ventilação de manhã à noite tenha diminuído o efeito do resfriamento noturno devido à ausência de ventilação durante a madrugada (00:00 - 06:00), a temperatura operativa nos dormitórios durante esse período foi apenas ligeiramente maior em comparação com a ventilação durante o período de ocupação. No entanto, a ventilação de manhã à noite resultou em temperaturas operativas mais baixas (aproximadamente 2°C) nos dormitórios ao longo do dia, incluindo o início do período de ocupação dos quartos (22:00 - 24:00), como pode ser observado na Figura 4 para o cenário da cobertura convencional sem isolamento. Nos dormitórios, o percentual de horas de desconforto por frio é semelhante ou maior do que o de desconforto por calor. Assim, o percentual anual de horas de conforto térmico apresentou reduções de apenas 3% (ou 2,0 pontos percentuais).

Figura 4: Temperatura operativa dos dormitórios em três dias de verão com ventilação natural durante o período de ocupação e de manhã à noite para o cenário da cobertura convencional sem isolamento

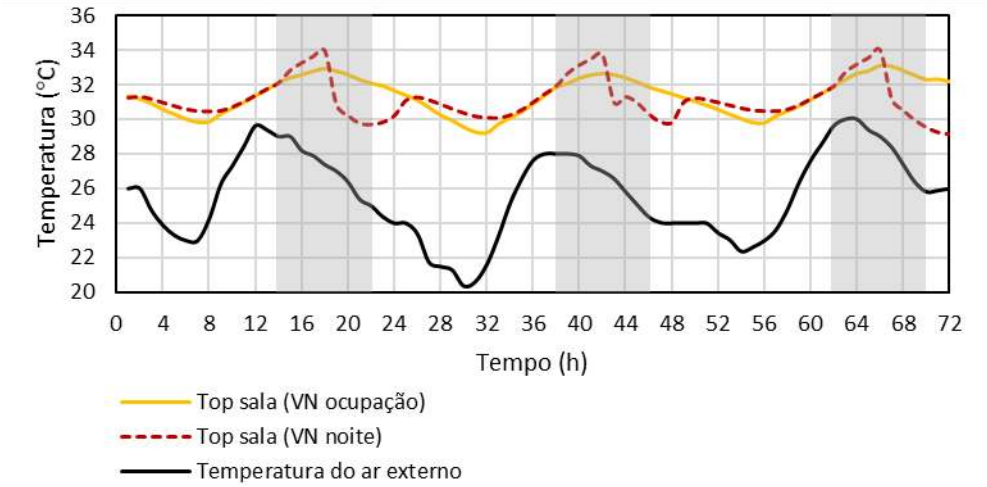


Nota: a hora 0 representa o horário 00:00 e os horários hachurados (14:00 - 22:00) representam o período de ocupação da sala. Top: temperatura operativa, VN: ventilação natural. Fonte: os autores.

A alteração da ventilação natural no período de ocupação para ventilação à noite pouco influenciou o percentual de horas de conforto, independentemente do tipo de cobertura. Na sala, houve redução do desconforto por calor e aumento do desconforto por frio devido às temperaturas mais baixas em parte do período ocupado (Figura 5). Anualmente, o percentual de horas de conforto térmico aumentou em no máximo 6% (ou 3,5 pontos percentuais). Nos dormitórios, tendência oposta foi observada: aumento do desconforto por calor e redução do desconforto por frio. A redução do período de ventilação durante a noite (de 22:00 - 08:00 para 18:00 - 24:00) em ambientes ocupados durante a noite diminuiu o resfriamento durante esse período, resultando em maior temperatura operativa (Figura 6). Anualmente, houve casos em que essa modificação na configuração da ventilação natural resultou em aumento do percentual de horas de conforto térmico, e em outros casos, em redução. No entanto, essas variações foram insignificantes (inferiores a 3% ou 1,7 pontos percentuais). Os autores destacam que os dias de verão mostrados nas Figuras 3 e 4 diferem dos dias nas Figuras 5 e 6 para melhor visualização dos perfis de temperatura, apesar de apresentarem tendências semelhantes.

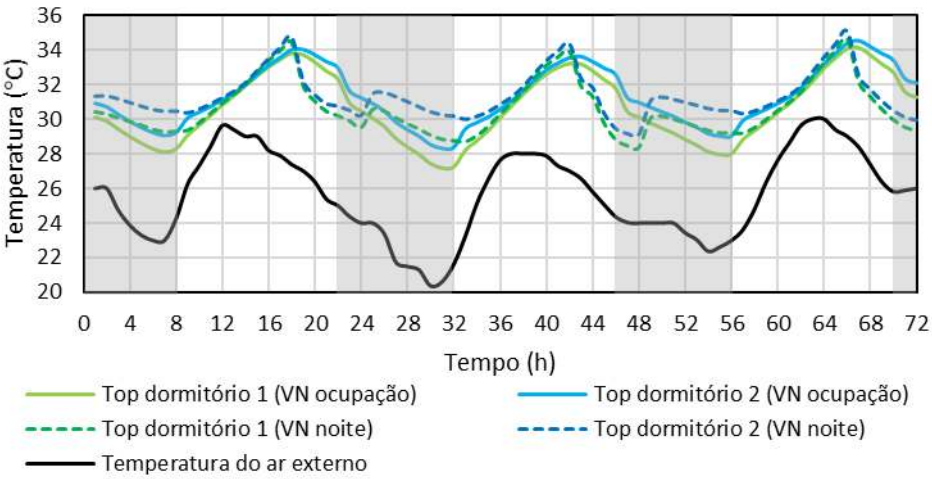
Observou-se que a configuração de ventilação natural influenciou o percentual de horas anuais de conforto térmico principalmente na sala. Este ambiente é ocupado durante a tarde e o início da noite, quando as temperaturas externas são mais altas e o desconforto térmico por calor é predominante. Nesse contexto, a ventilação de manhã à noite foi a opção que proporcionou o maior número de horas de conforto térmico anualmente. Nos dormitórios, as configurações de ventilação durante o período de ocupação e à noite foram as opções mais adequadas, embora as diferenças decorrentes da mudança na configuração tenham sido menos acentuadas.

Figura 5: Temperatura operativa da sala em três dias de verão com ventilação natural durante o período de ocupação e à noite para o cenário da cobertura convencional sem isolamento



Nota: a hora 0 representa o horário 00:00 e os horários hachurados (14:00 - 22:00) representam o período de ocupação da sala. Top: temperatura operativa, VN: ventilação natural. Fonte: os autores.

Figura 6: Temperatura operativa dos dormitórios em três dias de verão com ventilação natural durante o período de ocupação e à noite para o cenário da cobertura convencional sem isolamento



Nota: a hora 0 representa o horário 00:00 e os horários hachurados (14:00 - 22:00) representam o período de ocupação da sala. Top: temperatura operativa, VN: ventilação natural. Fonte: os autores.

Em relação ao tipo de cobertura, a cobertura verde apresentou o maior percentual de horas de conforto térmico ao longo do ano, independentemente da configuração de ventilação natural. Esse resultado corrobora com outros estudos que também reportaram melhor conforto térmico dos ocupantes em edificações com cobertura verde em comparação com coberturas convencionais e frias [6,7]. A cobertura fria apresentou desempenho intermediário, com percentuais de horas anuais de conforto ligeiramente abaixo da cobertura verde e acima da cobertura convencional, principalmente na sala. Em comparação com a cobertura convencional, a cobertura fria reduziu as horas de desconforto por calor, entretanto, aumentou as horas de desconforto por frio. Este comportamento está de acordo com o maior valor de refletância solar [5,11].

A influência da camada de isolamento térmico foi mais notável na cobertura convencional. Nessa cobertura, a inclusão do isolamento resultou em aumento do percentual de horas anuais de conforto térmico em todos os ambientes, independentemente da configuração de ventilação natural (entre 3% e 7%, ou entre 1,8 e 4,7 pontos percentuais). Na cobertura fria, o isolamento aumentou o percentual de horas anuais de conforto em todos os ambientes apenas na configuração de ventilação natural de manhã à noite, com um aumento de 2% a 5% (ou de 1,7 a 3,4 pontos percentuais). Em outras configurações de ventilação natural, a adição de isolamento térmico na cobertura fria reduziu o percentual de horas de conforto térmico na sala, onde o desconforto por calor é predominante. Quanto à cobertura verde, o isolamento térmico teve um efeito insignificante ou reduziu esse percentual, portanto, sua utilização não é recomendada neste tipo de cobertura. De forma similar, Gagliano et al. [6] reportaram que a adição de isolamento térmico pode melhorar o conforto térmico em edificações com cobertura convencional e fria, mas reduzir com a cobertura verde.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, foi possível concluir que:

- A configuração de ventilação natural que proporciona maior conforto térmico varia conforme o ambiente analisado, principalmente devido ao período de ocupação. Neste estudo, a ventilação de manhã à noite foi a opção mais adequada para a sala, ambiente é ocupado durante a tarde e o início da noite. Nos dormitórios (ambiente de ocupação noturna), as configurações de ventilação durante o período de ocupação e à noite mostraram-se mais apropriadas.

- A edificação com cobertura verde proporcionou maior percentual de horas anuais de conforto térmico. Com a cobertura verde, o percentual de horas anuais de conforto térmico variou entre 71% e 81% conforme o ambiente e a configuração da ventilação natural. Com a cobertura convencional essa variação foi entre 59% e 76% e com a cobertura fria, entre 68% e 78%.

- A utilização de isolamento térmico pode contribuir com a melhoria do conforto térmico em edificações com cobertura convencional. Entretanto, se utilizado na cobertura fria, pode reduzir o conforto em ambientes onde o desconforto por calor é mais representativo. Do ponto de vista do conforto térmico, não se recomenda a utilização de isolamento em coberturas verdes.

Este estudo contribuiu com o entendimento da influência dos padrões de uso da ventilação natural em edificações com diferentes tipos de cobertura. É importante mencionar que os resultados obtidos são válidos para a edificação e as condições climáticas adotadas nesta pesquisa. Dessa forma, as conclusões apresentadas não devem ser extrapoladas para outras tipologias construtivas e climas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] RAMOS, G et al. Adaptive behaviour and air conditioning use in Brazilian residential buildings. **Building Research & Information**, v.49, n. 5, p. 496-511, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/09613218.2020.1804314.

[2] SORGATO, M.J.; MELO, A.P.; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 1-13, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.059.

[3] PISELLI, C.; SAFFARI, M.; GRACIA, A.; PISELLO, A.L.; COTANA, F.; CABEZA, L.F. Optimization of roof solar reflectance under different climate conditions, occupancy, building configuration and energy systems. **Energy and Buildings**, v. 151, p. 81-97, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.045.

[4] TEIXEIRA, P.S. **Análise da eficiência termoenergética de sistemas de coberturas para o clima subtropical úmido de edificações residenciais em Foz do Iguaçu**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022.

[5] SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 11, p. 1167–1174, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.01.004.

[6] GAGLIANO, A.; DETOMMASO, M.; NOCERA, F.; EVOLA, G. A multi-criteria methodology for comparing the energy and environmental behavior of cool, green and traditional roofs. **Building and Environment**, v. 90, p. 71-81, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.043.

[7] CIRRINCIONE, L.; MARVUGLIA, A.; SCACCIANOCE, G. Assessing the effectiveness of green roofs in enhancing the energy and indoor comfort resilience of urban buildings to climate change: Methodology proposal and application. **Building and Environment**, v. 205, p. 108198, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108198.

[8] BEVILACQUA, P. The effectiveness of green roofs in reducing building energy consumptions across different climates. A summary of literature results. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 151, p. 111523, 2021. DOI: https://doi:10.1016/J.RSER.2021.111523.

[9] SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. Solar energy, v. 85, n. 12, p. 3085-3102, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023.

[10] RUPP, R.F.; KIM, J.; DEAR, R.; GHISI, E. Associations of occupant demographics, thermal history and obesity variables with their thermal comfort in air-conditioned and mixed-mode ventilation office buildings. **Building and Environment**, v. 135, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.049.

[11] GUO, R.; GAO, Y.; ZHUANG, C.; HEISELBERG, P.; LEVINSON, R.; ZHAO, X.; SHI, D. Optimization of cool roof and night ventilation in office buildings: A case study in Xiamen, China. **Renewable Energy**, v. 147, p. 2279-2294, 2020. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.032.

[12] GAGLIANO, A.; DETOMMASO, M.; NOCERA, F.; BERARDI, U. The adoption of green roofs for the retrofitting of existing buildings in the Mediterranean climate. International **Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 7, p. 116-129, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/2093761X.2016.1172279.

[13] CRAWLEY, D.; LAWRIE, L. **Repository of free climate data for building performance simulation**: Brazil, Region 3 - South America. 2021. Disponível em: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.htm . Acesso em: 24 de julho 2023.

[14] ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

[15] TRIANA, M.A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, p. 524-541, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041.

[16] PISELLO, A.L.; PISELLI, C.; COTANA, F. Influence of human behavior on cool roof effect for summer cooling. **Building and Environment**, v. 88, 116-128, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.025.

[17] CASCONE, S.; CATANIA, F.; GAGLIANO, G.; SCIUTO, G. A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings. **Building and Environment**, v. 136, p. 227-239, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.052.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15520-2**: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, Rio de Janeiro, 2003.

[20] ZIOGOU, I.; MICHOPOULOS, A.; VOULGARI, V.; ZACHARIADIS, T. Energy, environmental and economic assessment of electricity savings from the operation of green roofs in urban office buildings of a warm Mediterranean region. **Journal of Cleaner Production**, v. 168 p. 346-356, 2017. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.217.

[21] SHI, D.; GAO, Y.; GUO, R.; LEVINSON, R.; SUN, Z.; LI, B. Life cycle assessment of white roof and sedum-tray garden roof for office buildings in China. **Sustainable Cities and Society**, v. 46, p. 101390, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.12.018.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10456**: Materiais e produtos de construção - Propriedades higrotérmicas - Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto, Rio de Janeiro, 2022.

[23] KOROXENIDIS, E.; THEODOSIOU, T. Comparative environmental and economic evaluation of green roofs under Mediterranean climate conditions – Extensive green roofs a potentially preferable solution. **Journal of Cleaner Production,** v. 311, p. 127563, 2021. DOI: https://doi:10.1016/J.JCLEPRO.2021.127563.

[24] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta, 2020.