

Influência de materiais de cobertura no conforto térmico de protótipos de habitações de interesse social

The influence of roofing materials on the thermal comfort of social housing prototypes

Cézar Victor Alves de Lima¹ , Igor Souza Ogata^{2*} , Rui de Oliveira¹ , Mônica de Amorim Coura³ 

RESUMO

Considerando o contexto das mudanças climáticas, com variações de temperatura cada vez mais extremas, é necessário reavaliar os sistemas construtivos para equilibrar as demandas humanas, energéticas e ambientais, visando garantir a qualidade de vida dos usuários e reduzir os impactos ambientais. Nessa perspectiva, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de materiais de cobertura, especificamente telha de fibrocimento e cobertura com vegetação, em comparação com o material convencionalmente utilizado na construção civil brasileira, a telha cerâmica. Utilizando protótipos de habitações de interesse social e aplicando as estratégias bioclimáticas da zona 8, conforme a Norma Brasileira (NBR) 15.575/2013, foram realizadas medições horárias da temperatura do ar (TA), temperatura de globo preto (TG), umidade relativa (UR) e índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG) tanto no interior quanto no exterior dos protótipos ao longo de 72 horas consecutivas. Os ensaios revelaram que as coberturas com telhas de fibrocimento e com vegetação proporcionaram melhor conforto térmico em comparação às telhas cerâmicas, que não atenderam aos parâmetros da NBR 15.575/2013. Além disso, a cobertura com vegetação se destacou na capacidade de absorver e dissipar energia solar, proporcionando melhores condições térmicas internas. Em síntese, conclui-se que a seleção adequada de materiais de cobertura, considerando a radiação, condução e convecção, é essencial para desenvolver habitações energeticamente eficientes e confortáveis, promovendo melhor qualidade de vida e sustentabilidade.

Palavras-chave: conforto ambiental; estratégias bioclimáticas; técnicas de construção; índice de bulbo úmido e temperatura de globo.

ABSTRACT

Given the context of climate change and increasingly extreme temperature variations, it is essential to reassess construction systems to balance human, energy, and environmental demands, aiming to ensure users' quality of life and to reduce environmental impacts. From this perspective, this study aimed to evaluate the thermal performance of roofing materials, specifically fiber cement tiles and green roofs, compared to the ceramic tiles conventionally used in Brazilian construction. The methodology consisted of building social housing prototypes and applying bioclimatic strategies for zone 8, as outlined in NBR 15.575/2013 (Brazilian standard), measuring, every hour, air temperature (AT), black globe temperature (BGT), relative humidity (RH), and wet-bulb globe temperature index (WBGT), inside and outside of the prototypes over 72 consecutive hours. The tests revealed that fiber cement and green roof coverings provided better thermal comfort than ceramic tiles, which did not meet the NBR 15.575/2013 (Brazilian standard). Additionally, the green roof excelled in its ability to absorb and dissipate solar energy, providing better indoor thermal conditions. In summary, the appropriate selection of roofing materials, considering radiation, conduction, and convection, is essential for developing energy-efficient and comfortable housing, promoting better quality of life and sustainability.

Keywords: environmental comfort; bioclimatic strategies; construction techniques; wet-bulb globe temperature index.

INTRODUÇÃO

Diante do cenário de mudanças climáticas, em que há variações de temperatura cada vez mais severas (ESCANDÓN *et al.*, 2023), os sistemas construtivos devem ser repensados

para harmonizar as demandas humanas, energéticas e ambientais, buscando garantir qualidade de vida aos usuários e reduzir os impactos ambientais (TRIANA *et al.*, 2023). Nesse contexto, a eficiência térmica das edificações se torna

¹Universidade Estadual da Paraíba - Campina Grande (PB), Brasil.

²Universidade Estadual da Paraíba - Araruna (PB), Brasil.

³Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB), Brasil.

*Endereço para correspondência: Rua Coronel João Figueiredo, 78 - Bodocongó - CEP 58430-180 - Campina Grande (PB), Brasil. E-mail: igor.ogata@gmail.com

um fator essencial para minimizar impactos ambientais e proporcionar conforto aos moradores.

Um projeto arquitetônico que considere apenas a forma, dimensões e distribuição de cômodos não é suficiente para atender plenamente às necessidades dos habitantes, comprometendo sua satisfação com os espaços (BLUMENSCHIN; PEIXOTO; GUINANCIO, 2015). Conforme Gomes e Barreto (2021), todos os seres humanos apresentam respostas comportamentais e fisiológicas diante das variações térmicas do ambiente. Portanto, é fundamental que as edificações sejam projetadas para proporcionar conforto térmico, independentemente das condições climáticas extremas (VAKALIS *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a cobertura das edificações desempenha papel crucial no desempenho térmico, pois é uma das superfícies mais expostas à radiação solar direta, ao lado das paredes externas (KOLOKOTRONI *et al.*, 2018). No Brasil, os materiais mais utilizados para coberturas incluem telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento e telhas metálicas, cada qual com diferentes características térmicas e níveis de desempenho na modulação do calor (RIBEIRO, 2024). As telhas cerâmicas, por exemplo, são amplamente utilizadas por causa da sua durabilidade e estética, mas apresentam alta inércia térmica (RIBEIRO, 2024), enquanto as telhas de fibrocimento, embora mais acessíveis economicamente, têm menor capacidade de isolamento térmico, contribuindo para o superaquecimento interno (PEDOTE; FRANCO, 2012).

Como alternativa a essas coberturas convencionais, a cobertura verde surge como uma solução sustentável, contribuindo significativamente para o conforto térmico das edificações. Essa técnica consiste na aplicação de vegetação sobre o telhado e apresenta vantagens expressivas, como a redução dos efeitos da radiação solar, o resfriamento evaporativo e a melhora na umidade relativa no entorno, ajudando na regulação térmica dos ambientes internos (CHAGAS *et al.*, 2018). Além disso, as coberturas verdes minimizam a necessidade de climatização artificial e aumentam a eficiência energética das edificações.

Dado que os materiais de cobertura influenciam diretamente os fluxos térmicos nas edificações, sua escolha pode impactar significativamente o conforto interno.

Cândido, Dornelles e Lukiantchuki (2023) destacam que a envoltória das edificações, particularmente a cobertura, afeta as condições térmicas dos ambientes e a necessidade de climatização artificial. Dessa forma, torna-se essencial adotar estratégias construtivas que otimizem a eficiência térmica das coberturas.

A importância dessas escolhas é enfatizada em normativas técnicas, como a Norma Brasileira (NBR) 15.575/2013 (desempenho das edificações habitacionais) (ABNT, 2013), que estabelece requisitos mínimos de conforto térmico para edificações residenciais, e a NBR 15.220-3, que define estratégias bioclimáticas para diferentes zonas climáticas do país. Essas diretrizes fundamentam a adoção de soluções construtivas mais eficientes, incluindo coberturas que minimizem a absorção de calor e melhorem o desempenho térmico das habitações.

A necessidade de coberturas eficientes é ainda mais relevante em habitações de interesse social, pois essas edificações são ocupadas por populações de baixa renda, que frequentemente apresentam menos capacidade de adaptação ao desconforto térmico (LEITE; GIANNOTTI; GONÇALVES, 2022). Assim, é fundamental garantir condições térmicas adequadas nessas habitações, reduzindo a necessidade de sistemas artificiais de climatização e promovendo soluções construtivas mais sustentáveis (VAKALIS *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, este estudo propôs-se a avaliar o desempenho térmico de diferentes materiais de cobertura em protótipos de habitações de interesse social, analisando seu impacto na modulação térmica dos ambientes internos e sua contribuição para a criação de espaços mais confortáveis e eficientes.

METODOLOGIA

A pesquisa foi estruturada em seis etapas, começando com uma revisão bibliográfica, que orientou a seleção dos materiais de cobertura e estratégias bioclimáticas para promover conforto térmico em habitações de interesse social. Com base nessa análise, as coberturas foram confeccionadas de acordo com as diretrizes bioclimáticas e instaladas nos protótipos, simulando as condições reais de habitações populares.

Posteriormente, os ensaios de conforto térmico foram conduzidos, incluindo medições contínuas das variáveis ambientais, como temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa e o índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG). Após a coleta dos dados, uma análise comparativa foi realizada para avaliar a eficácia dos materiais em conformidade com as diretrizes da NBR 15.575/2013, ressaltando suas implicações práticas para construções de interesse social.

Seleção de materiais

A seleção dos materiais para a presente pesquisa foi baseada em estudos de Tabarelli *et al.* (2019), Michels, Güths e Silva (2020), Assunção (2023) e Funes *et al.* (2023), que evidenciaram bons resultados no uso de telhas de fibrocimento e coberturas vegetais. Esses materiais foram escolhidos por apresentarem características fundamentais, como alta capacidade de isolamento térmico, eficiente absorção de calor, durabilidade e viabilidade econômica (PEDOTE; FRANCO, 2012; ZIGLIOLI, 2017).

Adicionalmente, para fins comparativos, foi incluída a telha cerâmica, amplamente utilizada na construção civil brasileira (RIBEIRO, 2024). A escolha desse material convencional permitiu contrastar sua eficiência térmica com as alternativas mais sustentáveis e inovadoras, oferecendo uma análise abrangente sobre as diferentes soluções construtivas aplicáveis às habitações de interesse social.

Confecção dos protótipos e aplicação das estratégias bioclimáticas

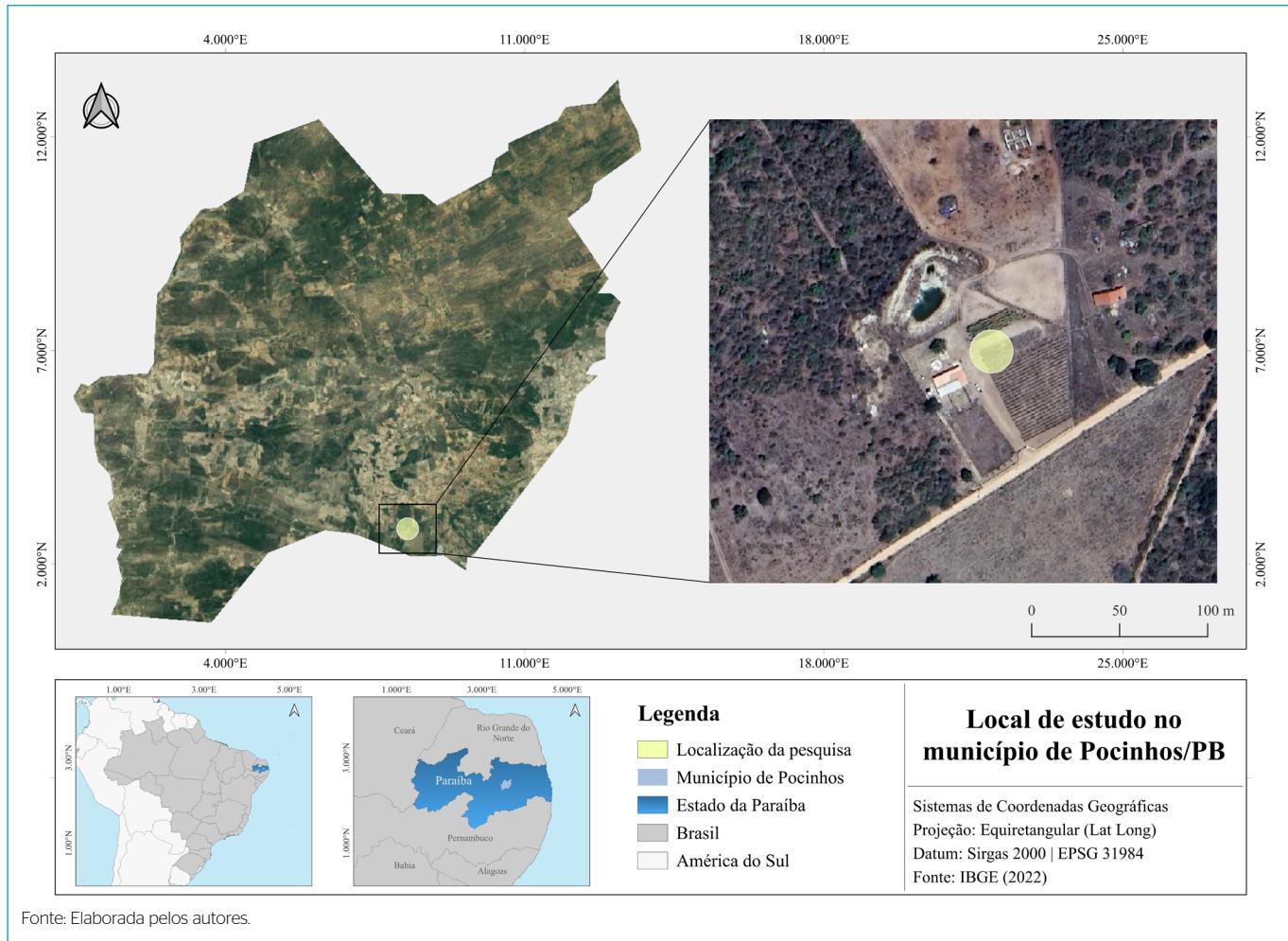
A pesquisa foi realizada na zona rural do município de Pocinhos, estado da Paraíba, localizado na mesorregião do agreste paraibano. Essa região apresenta clima tropical chuvoso com verões secos (CPRM, 2005), tornando essencial o controle térmico das edificações para garantir o conforto dos moradores, especialmente em habitações de interesse social, onde o acesso a sistemas de climatização artificial é limitado. A Figura 1 apresenta a localização da pesquisa e inclui uma ampliação que destaca a área específica onde os protótipos foram construídos e os ensaios térmicos realizados.

De acordo com a NBR 15.575/2013, Pocinhos está inserida na zona bioclimática 8, o que demanda a adoção de estratégias bioclimáticas específicas. Entre elas, destacam-se a correta orientação solar e o ajuste da inclinação das coberturas, elementos fundamentais para otimizar o desempenho térmico das edificações. A quantidade de radiação solar recebida pela cobertura varia conforme sua declividade e exposição ao sol, o que impacta diretamente as condições térmicas internas da edificação. Essas diretrizes são corroboradas por estudos como o de Funes *et al.* (2023), que ressalta a importância de tais fatores na redução do ganho de calor proveniente da radiação solar.

Com base nessas diretrizes, os protótipos de habitações de interesse social foram confeccionados de acordo com o projeto padrão do Programa Minha Casa, Minha Vida (CEF, 2006) e as recomendações da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). Os modelos foram construídos em escala reduzida de 1:46, resultando na altura de 0,52 m e na área construída de 0,8 m². Considerando a proporção real, os protótipos representam uma habitação de 39,07 m², dimensão condizente com o padrão aplicado em moradias populares no Brasil (CEF, 2006).

A Figura 2a apresenta a planta baixa dos protótipos, na qual é possível observar a setorização dos ambientes internos. A distribuição interna segue o modelo padronizado pelo Programa Minha Casa, Minha Vida, sendo composta de sala de estar, dois dormitórios, cozinha e banheiro. Esse layout foi mantido para garantir que as análises térmicas refletissem as características típicas de habitações de interesse social, proporcionando um estudo mais próximo da realidade construtiva nacional.

Os protótipos foram construídos com diferentes materiais de vedação, incluindo tijolos cerâmicos, tijolos de adobe e *wood frame*, permitindo avaliar o impacto térmico de cada material. Todos os modelos foram posicionados com a fachada voltada para o norte, garantindo maior exposição à radiação solar nas paredes laterais, e alinhados com a direção predominante dos ventos, favorecendo a ventilação cruzada. A localização foi selecionada para proporcionar incidência solar direta e evitar sombreamento, simulando as condições reais de habitações em regiões de clima quente.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 1 - Local de realização da pesquisa

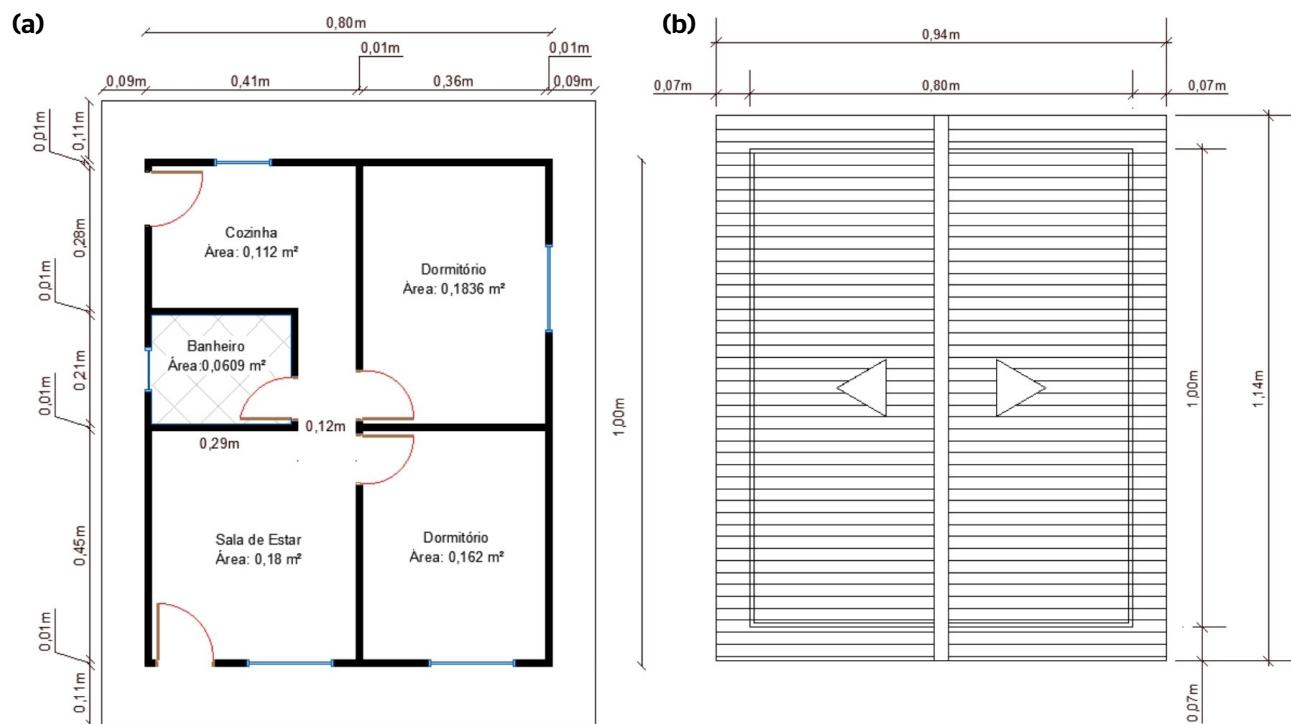
A cobertura dos protótipos foi confeccionada utilizando três diferentes materiais: telha de fibrocimento, telha cerâmica e vegetação. A Figura 2b apresenta a disposição da cobertura, incluindo suas dimensões e projeção. A área total da cobertura é de 1,07 m², considerando um beiral de 0,07 m para proteção contra intempéries. Além disso, a inclinação foi padronizada em 40%, conforme a configuração original estabelecida no projeto padrão do Programa Minha Casa, Minha Vida.

As coberturas tradicionais, compostas de telhas cerâmicas e de fibrocimento, foram instaladas seguindo os métodos construtivos convencionais amplamente adotados no Brasil. Já a cobertura com vegetação foi implementada por meio de uma abordagem diferenciada, baseada no estudo de Chagas *et al.* (2018). Sua composição incluiu a aplicação de uma lona plástica preta sobre a superfície da cobertura para evitar

contato direto das raízes com o telhado. Sobre essa lona, foi adicionada uma camada de argila expandida, material escorlhido por seu baixo peso, excelente desempenho térmico e propriedades drenantes. Por fim, a camada superior foi composta de leivas de grama-esmeralda (*Zoysia japonica*), espécie selecionada por sua baixa necessidade de irrigação e alta resistência ao clima do nordeste brasileiro.

Ensaios de conforto térmico

Os ensaios de conforto térmico foram realizados ao longo de três dias consecutivos no verão, sendo cada dia dedicado a um tipo de cobertura. As medições horárias abrangem as variáveis de temperatura do ar (TA), temperatura de globo preto (TG), umidade relativa (UR) e o índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG), tanto no interior quanto no exterior dos protótipos. Essas grandezas



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 2 - (a) Planta baixa e (b) de cobertura dos protótipos de habitações de interesse social

térmicas foram selecionadas por representarem as principais formas de transferência de calor, além de fornecerem uma visão integrada da sensação térmica.

Segundo Callejas e Bianchi (2022), a TA é uma medida fundamental que influencia diretamente a transferência de calor por convecção, que ocorre quando o ar em contato com a superfície se aquece e se move, transferindo calor do corpo para o ambiente. A TG, por sua vez, é uma medida da radiação térmica e avalia a transferência de calor por radiação entre as superfícies da habitação e os ocupantes, considerando tanto a temperatura do ar quanto a radiação térmica proveniente das superfícies circundantes. Por sua vez, a UR também desempenha papel importante no conforto térmico, já que indica a quantidade de vapor-d'água presente no ar em relação à sua capacidade máxima de retenção a determinada temperatura. Altos níveis de UR reduzem a eficácia do resfriamento corporal por evaporação, impactando diretamente a sensação térmica dos ocupantes (CALLEJAS; BIANCHI, 2022).

Por fim, o IBUTG é um índice composto que integra a TA, a TG e a UR, oferecendo uma medida abrangente da sensação térmica e do estresse térmico em um ambiente. O IBUTG é amplamente utilizado para avaliar o conforto e estresse térmico, pois combina os efeitos da temperatura, radiação e umidade (Equações 1 e 2), proporcionando uma visão holística das condições térmicas internas e externas (CRUZ, 2021; CALLEJAS; BIANCHI, 2022).

$$\text{IBUTG}_{\text{int}} = 0,7 \text{ TBn} + 0,3 \text{ TG} \quad (1)$$

$$\text{IBUTG}_{\text{ext}} = 0,7 \text{ TBn} + 0,1 \text{ TBs} + 0,2 \text{ TG} \quad (2)$$

Em que:

IBUTG_{int} = o IBUTG sem carga solar direta;

IBUTG_{ext} = o IBUTG com carga solar direta;

TBn = a temperatura de bulbo úmido natural. Representa a temperatura que um ambiente alcança por causa da evaporação da água;

TG = a temperatura de globo. Representa a temperatura que um ambiente alcança em função da radiação térmica emitida; TBs = a temperatura de bulbo seco, que é a própria TA (BRITO, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cobertura de fibrocimento

A Figura 3 apresenta o perfil horário das grandezas medidas nos protótipos com cobertura de fibrocimento. Com base no IBUTG, foi possível observar que os ambientes internos dos protótipos apresentaram desempenho térmico superior ao do ambiente externo, proporcionando um conforto térmico mais estável ao longo do dia. Isso se deve à capacidade dos materiais de vedação, como o tijolo cerâmico, tijolo adobe e *wood frame*, de moderar os fluxos de calor, resfriando os ambientes nos horários mais quentes e mantendo o calor durante a noite e nas primeiras horas da manhã.

Vale destacar que o protótipo de tijolo cerâmico apresentou as maiores variações da TA e TG, com até 2°C de diferença em relação aos demais protótipos, especialmente nos horários mais quentes do dia. Essa variação pode ser atribuída à maior inércia térmica dos tijolos cerâmicos, que têm capacidade de retenção de calor superior (FUNES *et al.*, 2023), resultando em um ambiente mais quente nos picos de radiação solar. A diferença observada na TG é particularmente significativa, uma vez que esse parâmetro reflete diretamente a radiação térmica emitida pelas superfícies internas e externas da edificação.

Cobertura de telha cerâmica

A Figura 4 apresenta o comportamento das variáveis de TA, TG, UR e IBUTG para os protótipos com cobertura de telhas cerâmicas. Em relação à sensação térmica representada pelo IBUTG, verifica-se que os protótipos mantiveram um ambiente interno mais quente do que o ambiente externo durante os períodos mais quentes

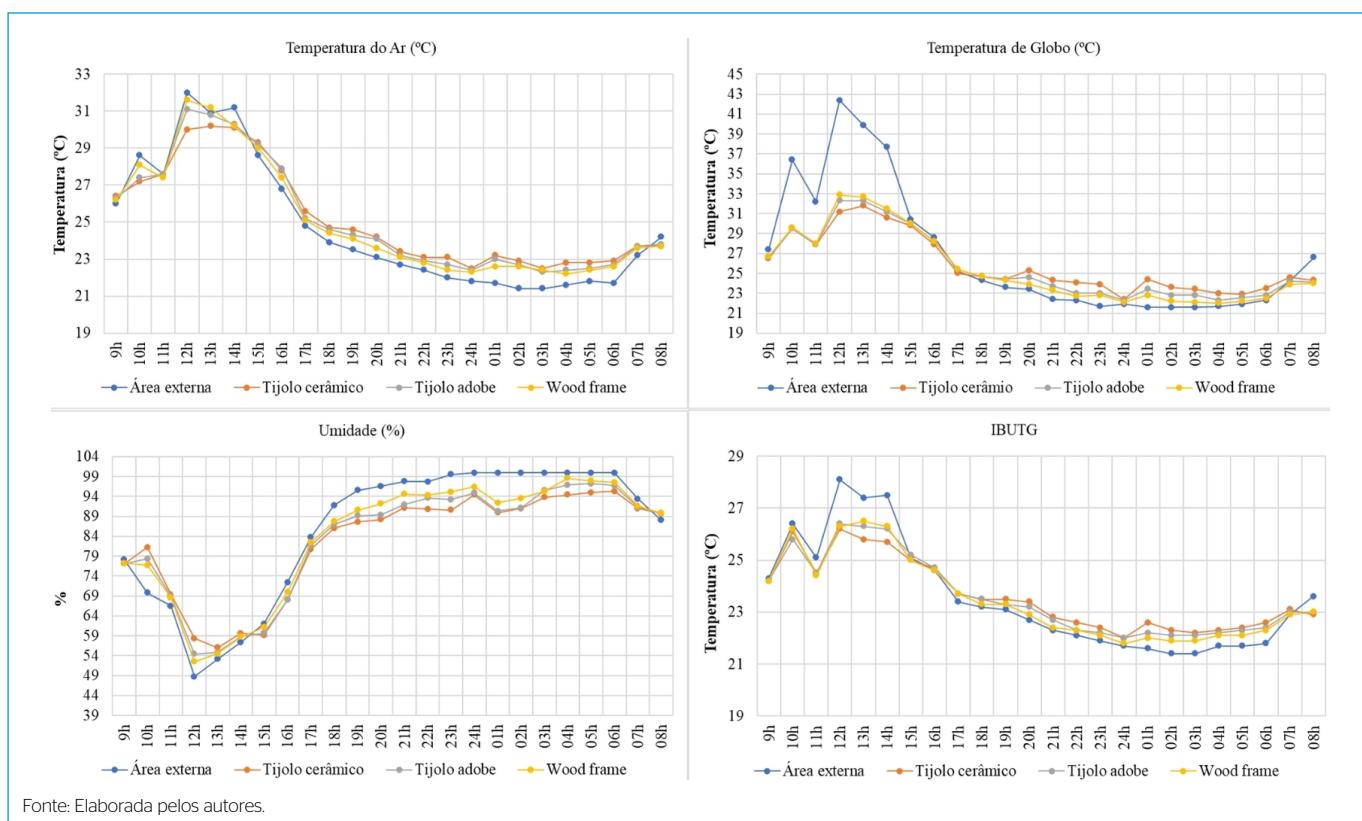
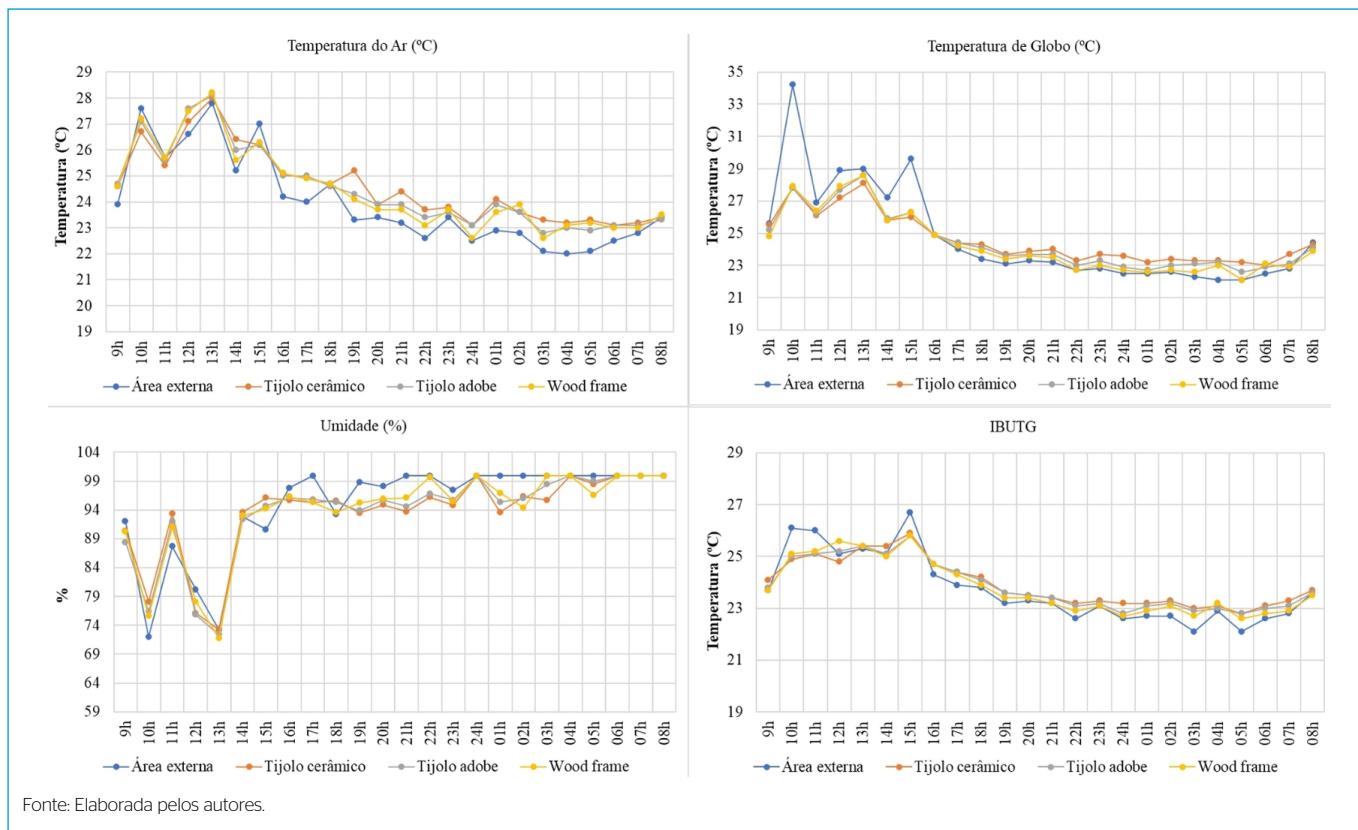


Figura 3 - Perfil horário da temperatura do ar, temperatura do globo, umidade relativa e índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG) no interior e no exterior do protótipo para cobertura com telha de fibrocimento



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4 - Perfil horário da temperatura do ar, temperatura do globo, umidade relativa e índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG) no interior e no exterior do protótipo para cobertura com telhas cerâmicas

do dia. Essa constatação vai contra as diretrizes da NBR 15.575/2013, que recomenda que os materiais de construção proporcionem um conforto térmico adequado, com temperaturas internas inferiores às externas nos horários de maior radiação solar.

Essa incapacidade das telhas cerâmicas de moderar a temperatura interna pode ser atribuída à sua maior inércia térmica, como sugerido por Givoni (1994), que afirma que materiais de maior massa tendem a reter calor durante o dia e liberá-lo gradualmente durante a noite, no entanto essa característica pode ser prejudicial em regiões de clima quente, onde é essencial que as coberturas dissipem o calor acumulado rapidamente, algo que as telhas cerâmicas não conseguem fazer de maneira eficaz. A liberação lenta do calor pela cerâmica resulta em uma sensação térmica interna superior à externa nos períodos de pico de calor.

Nos períodos mais frios do dia, os protótipos com telhas cerâmicas se mostraram 1°C mais quentes do que o ambiente externo, conforme indicado pelo IBUTG.

Esse comportamento é esperado, dado que a capacidade de armazenamento térmico da cerâmica favorece a retenção do calor acumulado durante o dia, liberando-o gradualmente ao longo da noite. Embora essa característica seja positiva em climas mais frios, sua eficácia em regiões de clima quente é limitada, já que o conforto térmico depende mais da dissipação rápida de calor.

Em relação às demais variáveis, a TG seguiu um padrão semelhante à TA, com diferenças mínimas entre os protótipos, o que sugere que a radiação térmica nas superfícies internas não variou significativamente entre os diferentes materiais de vedação (tijolo cerâmico, tijolo de adobe e wood frame). A TG, como variável crítica que mede o calor irradiado das superfícies, mostra que os materiais de vedação e a cobertura contribuíram para manter a temperatura estável à noite, embora tenham sido menos eficazes durante o dia.

A UR também se manteve estável entre os protótipos ao longo do dia, o que sugere que as características da

cobertura e da vedação tiveram pouco impacto na modulação da umidade interna. Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de a UR estar mais associada à ventilação e à entrada de ar externo do que à natureza dos materiais de cobertura ou vedação.

Cobertura com vegetação

A Figura 5 apresenta o comportamento das variáveis TA, TG, UR e IBUTG para os protótipos com cobertura com vegetação. Observou-se que, durante o período mais quente do dia, a cobertura com vegetação proporcionou a maior diferença de conforto térmico entre os ambientes interno e externo, conforme medido pelo IBUTG, com variações superiores a 2°C. Esse comportamento reflete a alta capacidade da vegetação de absorver e dissipar o calor, moderando os picos de temperatura interna e mantendo o ambiente mais confortável nos horários de maior radiação solar.

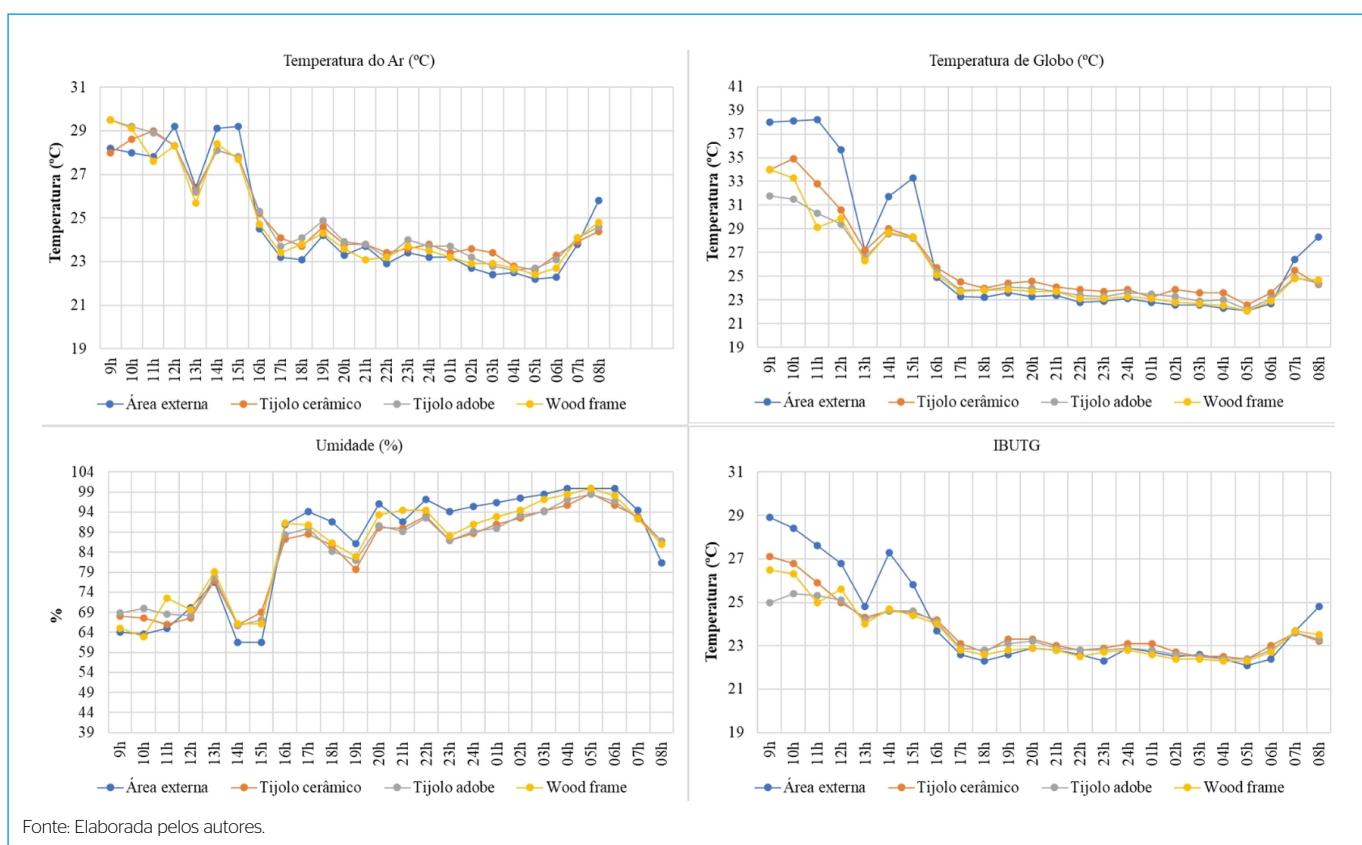
Em contraste, durante o período mais frio do dia, as variações térmicas entre os ambientes interno e externo

foram mínimas, indicando que a cobertura com vegetação foi eficiente em manter a estabilidade térmica dos protótipos. A ausência de grandes variações entre os diferentes materiais de vedação (tijolo cerâmico, tijolo adobe e *wood frame*) sugere que a cobertura exerceu papel predominante no controle térmico, minimizando o impacto das características dos materiais de vedação sobre o desempenho térmico geral.

As maiores variações entre o ambiente interno e o externo foram observadas na TG, o que destaca a influência da cobertura com vegetação na radiação térmica das superfícies. Esse resultado era esperado, já que a cobertura com vegetação é eficaz na redução da radiação solar direta, limitando o ganho de calor por radiação e contribuindo para um ambiente interno mais estável.

Análise e discussão dos resultados

A análise comparativa dos três tipos de cobertura revelou que a cobertura com vegetação apresentou o melhor



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 5 - Perfil horário da temperatura do ar, temperatura do globo, umidade relativa e índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG) no interior e no exterior do protótipo para cobertura com vegetação

desempenho térmico nos períodos mais quentes do dia, proporcionando uma sensação térmica interna consideravelmente mais confortável em relação ao ambiente externo. Esse comportamento deve-se à capacidade da vegetação de atuar como um regulador térmico natural, absorvendo e dissipando a radiação solar, além de promover resfriamento evaporativo. Estudos realizados por Chagas *et al.* (2018) e Nobre (2022) corroboram esses achados, demonstrando que coberturas com vegetação podem reduzir em até 4,58°C a temperatura interna no pico de insolação. Esse efeito não apenas melhora a sensação térmica, mas também contribui para a elevação da umidade relativa do ar, um fator crucial para o conforto em climas semiáridos.

A cobertura de fibrocimento apresentou desempenho intermediário, conseguindo moderar a sensação térmica interna melhor que a cerâmica, mas inferior à vegetação. Embora o fibrocimento seja um material amplamente utilizado em habitações de interesse social no Brasil por causa do seu baixo custo, sua baixa capacidade isolante pode resultar em maiores oscilações térmicas ao longo do dia. No entanto, conforme apontado por Pedote e Franco (2012), a utilização de forros térmicos ou coberturas duplas pode melhorar significativamente o desempenho térmico desse tipo de material, tornando-o uma alternativa viável quando aliada a soluções complementares.

Em contrapartida, a cobertura com telhas cerâmicas demonstrou o pior desempenho térmico, apresentando temperaturas internas superiores às do ambiente externo nos horários de pico de calor. Esse resultado sugere que a inércia térmica das telhas cerâmicas, ao armazenar calor durante o dia e liberá-lo gradualmente à noite, pode ser um fator prejudicial em regiões de alta radiação solar, como o semiárido brasileiro. Ribeiro (2024) destaca que esse tipo de material pode ser mais adequado para climas de amplitude térmica moderada, em que a dissipação noturna do calor contribui para o equilíbrio térmico.

A análise das variáveis relacionadas à TG reforçou o impacto da radiação térmica na sensação de conforto. Tanto a cobertura de fibrocimento quanto a de vegetação apresentaram desempenhos superiores à cerâmica, e a vegetação destacou-se por mitigar o ganho de calor.

Esse comportamento está alinhado com os estudos de Kolokotroni *et al.* (2018), que identificaram a radiação solar como o principal fator que afeta o conforto térmico em climas quentes. A vegetação, ao absorver e dissipar essa radiação, torna-se uma barreira eficiente contra a transferência de calor, reduzindo a necessidade de climatização artificial.

Além da radiação térmica, as demais formas de transferência de calor desempenharam papel relevante na regulação térmica das coberturas. A convecção, responsável pela troca de ar entre os ambientes interno e externo, mostrou-se mais eficiente nos protótipos com cobertura de vegetação, resultando em menor variação da temperatura interna. Já a condução térmica, analisada com base na UR, demonstrou que a cobertura de telha cerâmica teve o pior desempenho, atingindo valores próximos ao do ambiente externo durante todo o dia, o que reforça sua limitação como isolante térmico.

A relevância da escolha dos materiais de cobertura para o conforto térmico é evidenciada pelas diretrizes normativas, como a NBR 15.575/2013, que estabelece requisitos mínimos para edificações habitacionais, e a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), que define estratégias bioclimáticas para diferentes zonas climáticas. Além disso, normativas internacionais, como a ASHRAE 55:2023, da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), utilizadas na avaliação do conforto térmico em diversos estudos internacionais, reforçam a importância da adoção de soluções passivas para o condicionamento térmico, como coberturas vegetadas.

Em síntese, os resultados obtidos evidenciam que a cobertura com vegetação é a alternativa mais eficiente para garantir conforto térmico em habitações de interesse social em climas quentes, reduzindo a necessidade de climatização artificial e melhorando a qualidade de vida dos moradores. A cobertura de fibrocimento, embora tenha apresentado desempenho inferior, pode ser uma opção viável quando associada a medidas de isolamento térmico complementares. Já a cobertura de telhas cerâmicas, apesar de amplamente utilizada, se revelou menos eficaz para as condições climáticas analisadas, sugerindo que seu uso em regiões de alta radiação solar deve ser reavaliado.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos por meio das medições de conforto térmico em diferentes tipos de cobertura, conclui-se que as coberturas com telhas de fibrocimento e com vegetação proporcionaram um nível de conforto térmico superior em comparação à cobertura com telhas cerâmicas, que não atendeu aos padrões estabelecidos pela NBR 15.575/2013. A cobertura com vegetação demonstrou desempenho notavelmente melhor em moderar a temperatura interna, especialmente nos períodos mais quentes do dia, reforçando sua eficácia em climas de alta radiação solar.

Além do desempenho geral das coberturas, observou-se que a transferência de calor por radiação foi a principal responsável pelas variações de temperatura entre os ambientes internos e externos, um resultado coerente com a expectativa, dado que a radiação solar é a maior fonte de calor em edificações. Esse dado reforça a importância de selecionar-se materiais de cobertura que sejam capazes de refletir ou dissipar eficientemente

a radiação solar, garantindo, assim, um conforto térmico mais adequado.

Esses resultados apontaram para a relevância de considerar tanto os materiais de construção quanto as estratégias bioclimáticas no projeto de edificações confortáveis e sustentáveis. Uma gestão térmica eficaz não apenas melhora a qualidade de vida dos ocupantes, como também contribui para a eficiência energética, ao reduzir a necessidade de sistemas artificiais de climatização. Isso, por sua vez, resulta em menor consumo de energia e, consequentemente, menor impacto ambiental.

Diante disso, este estudo contribui para o avanço do conhecimento no campo do conforto ambiental em edificações, oferecendo informações valiosas para o desenvolvimento de práticas construtivas mais eficientes e adaptadas às condições climáticas locais. Recomenda-se que futuras pesquisas aprofundem ainda mais essas questões, explorando diferentes estratégias bioclimáticas e materiais construtivos, com o objetivo de promover ambientes habitáveis, saudáveis, energeticamente eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15.220-3. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15.575-1. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSUNÇÃO, C.F.M.S. *Comparação do desempenho térmico de coberturas verdes e tradicionais*. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2023.

BLUMENSCHIN, R.N.; PEIXOTO, E.; GUINANCIO, C. *Avaliação da qualidade da habitação de interesse social: projetos urbanísticos e arquitetônico e qualidade construtiva*. Brasília: UnB, 2015.

BRITO, F.B.R. *Estudo da temperatura de globo em relação à temperatura do ar durante atividades cognitivas em ambientes de ensino com alterações climáticas em áreas das regiões brasileiras*.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). *Projeto padrão - casas populares*. Vitória: Gidur, 2006.

CALLEJAS, I.J.A.; BIANCHI, E.C. Estimação do índice de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG) para ambientes a céu aberto por meio de redes neurais artificiais utilizando dados de estações meteorológicas. *Revista Brasileira de Climatologia*, Dourados, v. 30, n. 18, p. 524-548, 2022. <https://doi.org/10.55761/abclimav30i18.14713>

CÂNDIDO, C.D.; DORNELLES, K.A.; LUKIANTCHUKI, M.A. Impacto da absorbância no conforto térmico em três zonas bioclimáticas. *Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v.14, p. e023003, 2023. <https://doi.org/10.20396/parc.v14i00.8668202>

CHAGAS, G.R.S.; MACÊDO, A.S.; CAVALCANTI, A.B.; OGATA, I.S. Conforto térmico em protótipos residenciais de madeira utilizando telhado verde. In: CONGRESSO NACIONAL DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2018. *Anais...* João Pessoa: Conaced, 2018.

CRUZ, I.S. *Estudo de caso sobre conforto térmico e transferência de calor na edificação do bloco administrativo da UFERSA em Pau Dos Ferros-RN.* 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Pau dos Ferros, 2021.

ESCANDÓN, R.; FERRARI, S.; BLÁZQUEZ, T.; SUÁREZ, R. Assessment of vulnerability to overheating at a regional scale through parametric simulation models and cooling degree-days analysis: The case of southern Spanish social housing stock. *Journal of Building Engineering*, v. 73, 106709, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106709>

FUNES, G.; REIS JUNIOR, P.; ACIR FRETTO, M.; AURORA FEVERO REIS, M. Transferência de calor em materiais para cobertura. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, Goiânia, v. 19, n. 1, p. 141-153, 2023. <https://doi.org/10.5216/reec.v19i1.73281>

GIVONI, B. *Passive and low energy cooling of buildings*. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

GOMES, K.K.; BARRETO, R.L. *Desenvolvimento de ferramenta de análise de conforto térmico nas atividades laborais em campo a partir da relação entre o voto médio estimado e a temperatura média corporal.* 71f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.

KOLOKOTRONI, M.; SHITTU, E.; SANTOS, T.; RAMOWSKI, L.; MOLLARD, A.; ROWE, K.; WILSON, E.; BRITO FILHO, J.P.; NOVIETO, D. Cool roofs: High-tech low-cost solution for energy efficiency and thermal comfort in low-rise low-income houses in high solar radiation countries. *Energy & Buildings*, Hong Kong, v. 176, p. 58-70, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.005>

LEITE, C.C.; GIANNOTTI, M.; GONÇALVES, G. Social housing and accessibility in Brazil's unequal cities. *Habitat International*, Hong Kong, v. 127, 102628, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.habitint.2022.102628>

MICHELS, C.; GÜTHS, S.; SILVA, L.C. Thermal performance of a green tested benchtop cover. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 92254-92266, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-579>

NOBRE, M.A.F.M. *Um comparativo entre telhados verdes e telhados cerâmicos: análise do conforto térmico, retenção de águas pluviais*

e custos entre os protótipos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2022.

PEDOTE, L.; FRANCO, T.T. *Análise da eficiência térmica de diferentes tipos de coberturas para casas de emergência*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

RIBEIRO, E.L.S. *Análise técnica de telhas cerâmicas comercializadas no município de Patos-PB, fabricadas nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.* 48f. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2024.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea*. Diagnóstico do município de Pocinhos, estado da Paraíba. Recife: CPRM/Prodeem, 2005.

TABARELLI, G.; SANTOS, J.C.P.; OTTONI, T.P.; ZAT, T.; GARLET, L. Desempenho térmico de uma edificação multifamiliar localizada na zona bioclimática brasileira 2 utilizando cobertura de telhas de fibrocimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2019. *Anais...* 2019. p. 1795-1804.

TRIANA, M.A.; MACHADO, R.M.S.; KAMIMURA, A.M.; BRACHT, M.K.; MELO, A.P.; LAMBERTS, R. Energy efficiency strategies for Brazilian social housing considering a life cycle perspective: Optimisation between thermal autonomy, energy consumption and costs. *Energy & Buildings*, Hong Kong, v. 295, 113254, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113254>

VAKALIS, D.; PATINO, E.D.L.; OPHER, T.; TOUCHIE, M.F.; BURROWS, K.; MACLEAN, H.L.; SIEGEL, J.A. Quantifying thermal comfort and carbon savings from energy-retrofits in social housing. *Energy & Buildings*, Hong Kong, v. 241, 110950, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110950>

ZIGLIOLI, E. *Influência da utilização de telhados verdes na eficiência energética de residências unifamiliares a partir do método graus-dia no município de Foz do Iguaçu/PR*. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

