

XI-515 - INFLUÊNCIA DE MATERIAIS DE COBERTURA NO CONFORTO TÉRMICO DE PROTÓTIPOS DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Cézar Victor Alves de Lima ⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Igor Souza Ogata ⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutor em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Rui de Oliveira ⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). PhD em Engenharia Civil pela Leeds Metropolitan University (LEEDS).

Mônica de Amorim Coura ⁽⁴⁾

Licenciada em Química pela Fundação Universidade Regional do Nordeste (FURNE). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Endereço ⁽¹⁾: Rua Pacífico Licarião da Trindade, 67 – Bodocongó – Campina Grande - PB - CEP: 58430-485 - Brasil – Tel.: (83) 98601-8767 - e-mail: cezar.lima@aluno.uepb.edu.br

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 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, IBUTG.

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 garantia da qualidade de vida aos usuários e redução dos impactos ambientais (Triana *et al.*, 2023).

Nesse sentido, um projeto de edificações, levando em conta apenas a forma, dimensões e definição de cômodos, não é o suficiente para que seus habitantes tenham suas necessidades supridas e, conseqüentemente, sua plena satisfação com os espaços (Blumenschein; Peixoto; Guinancio, 2015), tendo em vista que, conforme Gomes e Barreto (2021) todos os seres humanos apresentam respostas comportamentais e fisiológicas diante



das variações térmicas do ambiente. Sendo assim, é evidente que as edificações precisam estar preparadas para proporcionar conforto térmico, mesmo diante de variações de temperaturas extremas (Vakalis *et al.*, 2021).

Considerando que os maiores ganhos térmicos das edificações ocorrem principalmente pela cobertura e paredes externas (Kolokotroni *et al.*, 2018), que são as superfícies mais expostas à radiação solar direta, os materiais utilizados nessas etapas construtivas devem ser bons isolantes térmicos, ou seja, devem diminuir o fluxo de calor, impedindo que o ambiente interno e, conseqüentemente, os usuários, sejam influenciados pelas variações nas cargas térmicas de radiação, que alteram as condições climáticas no interior das edificações (Freitas *et al.*, 2023).

Essa preocupação com o conforto térmico é especialmente importante em habitações de interesse social, pois estas abrigam uma população vulnerável, devido ao cenário de limitação socioeconômica em que estas estão inseridas (Leite; Giannotti; Gonçalves, 2022). Logo, esse tipo de habitação deve garantir condições térmicas favoráveis, pois a população residente tem baixa capacidade de adaptação aos efeitos negativos à saúde e à produtividade relacionados ao desconforto térmico (Vakalis *et al.*, 2021).

Tendo em vista que as habitações de interesse social devem oferecer condições de habitabilidade efetivas, proporcionando aos seus moradores um ambiente digno, capaz de protegê-los das oscilações climáticas, suprir as necessidades básicas e propiciar uma boa qualidade de vida, esta pesquisa se propôs a avaliar o desempenho do conforto térmico em protótipos de habitações de interesse social, proporcionado pelo uso de diferentes materiais de cobertura.

OBJETIVOS

O objetivo central deste estudo foi realizar uma avaliação detalhada do desempenho térmico de materiais de cobertura empregados em protótipos de habitações de interesse social. Para esta avaliação comparativa, foram utilizadas telhas de fibrocimento, telhas cerâmicas e cobertura com vegetação, com o intuito de analisar sua eficácia no isolamento térmico e sua influência na temperatura do ar, umidade, radiação emitida e sensação térmica no interior das habitações. Complementarmente, a pesquisa ainda teve como objetivos específicos:

- Definir estratégias construtivas para cobertura em habitações de interesse social, harmonizando-as com as características da zona bioclimática 8;
- Testar o potencial de conforto térmico de materiais para cobertura em protótipos de habitações de interesse social;
- Realizar ensaios de conforto térmico em protótipos de habitações de interesse social;
- Avaliar e comparar o conforto térmico promovido pelos diferentes materiais de cobertura testados.

METODOLOGIA UTILIZADA

SELEÇÃO DOS MATERIAIS

Com base em estudos prévios, dois materiais foram selecionados para realizar a cobertura nos protótipos de habitações de interesse social, sendo eles a telha de fibrocimento e a cobertura com vegetação. Esses materiais foram selecionados devido a capacidade de isolamento térmico, absorção de calor, durabilidade e custo (Pedote; Franco, 2012; Ziglioli, 2017). Por sua vez, para fins de comparação, a telha cerâmica também foi selecionada, dado que este é o principal material utilizado na cobertura de residências no Brasil (Ferraz, 2012).

CONFECÇÃO DOS PROTÓTIPOS E APLICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

A pesquisa foi conduzida na zona rural do município brasileiro de Pocinhos, estado da Paraíba (Figura 1), que, segundo a NBR 15.220-3/2005 se encontra na zona bioclimática 8. Portanto, protótipos de habitações de interesse social, desenvolvidos com base em projeto padrão do Programa Minha Casa Minha Vida (CEF; 2006) e as orientações da NBR 15.220-3, foram confeccionados numa escala de redução de 1:46 (Figura 2), com vedação de tijolos cerâmicos, tijolos de adobe e *wood frame*. Estes foram posicionados com a fachada voltada para o norte e com a direção dos ventos predominantemente transversal, em local plano, com incidência solar direta e sem sombreamento.

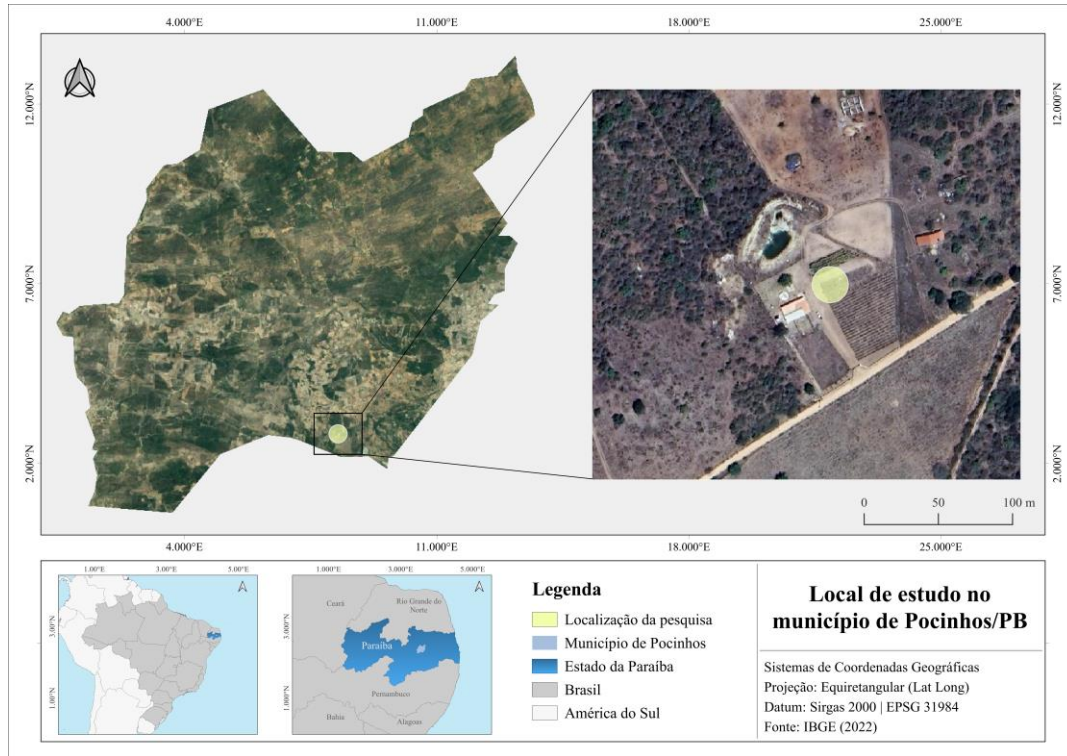


Figura 1: Local de realização da pesquisa.

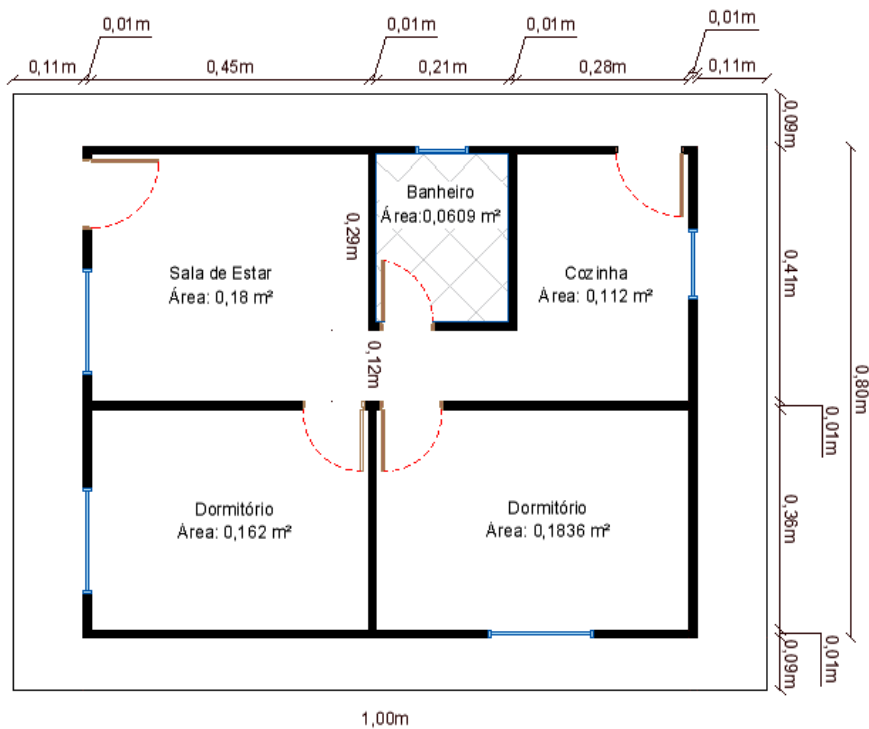


Figura 2: Planta baixa dos protótipos de habitações de interesse social.



Por sua vez, as coberturas foram confeccionadas em telhas de fibrocimento, telhas cerâmicas e cobertura com vegetação, instaladas em cada tipo de vedação, nas dimensões apresentadas na Figura 3. As coberturas em telha de fibrocimento e cerâmicas seguiram métodos construtivos convencionais, enquanto a cobertura com vegetação foi instalada sobre a telha de fibrocimento, com uma camada inferior de lona plástica preta, seguida de uma camada intermediária de argila expandida, coberta por uma camada superior de grama esmeralda (*Zoysia Japônica*).

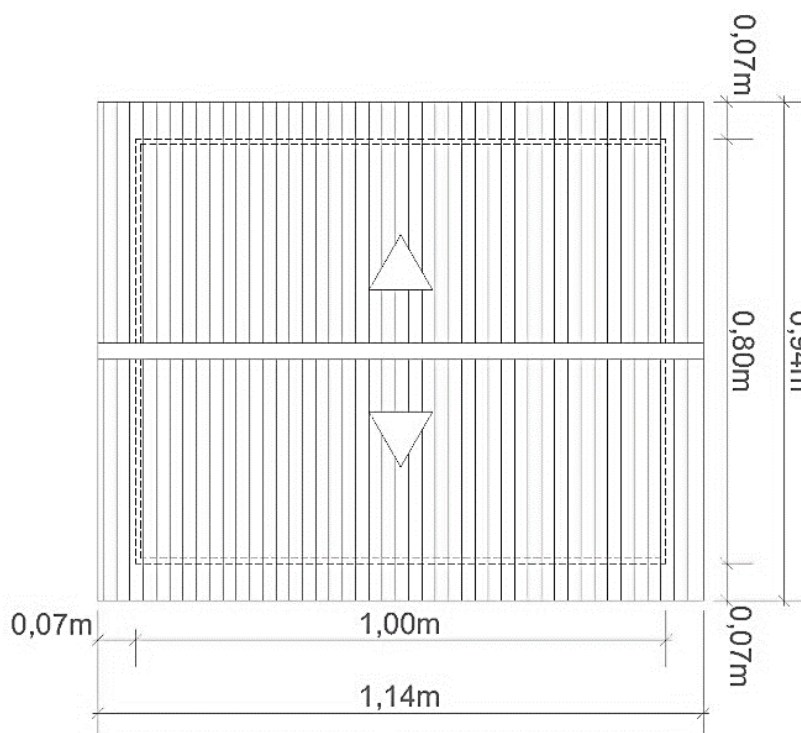


Figura 3: Planta de cobertura do protótipo de habitações de interesse social.

ENSAIOS DE CONFORTO TÉRMICO

Os ensaios foram realizados durante três dias consecutivos de verão – um para cada tipo de cobertura –, com medições horárias da temperatura do ar (TA), temperatura de globo preto (TG), umidade (UR) e índice de bulbo úmido e temperatura do globo (IBUTG), tanto dentro quanto fora dos protótipos. Essas grandezas térmicas foram selecionadas por representarem diferentes formas de transferência de calor e a sensação térmica dos ambientes.

Segundo Callejas e Bianchi (2022), a temperatura do ar (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. Por sua vez, a temperatura de globo preto (TG) é uma medida da radiação térmica, que avalia a transferência de calor por radiação entre as superfícies da habitação e os ocupantes. A temperatura de globo preto leva em consideração tanto a temperatura do ar quanto a radiação térmica das superfícies circundantes.

A umidade relativa do ar (UR) indica a quantidade de vapor d'água presente no ar em relação à quantidade máxima que o ar pode reter a uma determinada temperatura. Desse modo, a UR afeta a transferência de calor por evaporação, já que uma alta umidade reduz a capacidade do corpo de resfriar-se através da evaporação do suor (Callejas; Bianchi, 2022).

Por sua vez, o IBUTG é um índice composto que considera a temperatura do ar, a temperatura de globo e a umidade relativa para fornecer uma medida integrada da sensação térmica. O IBUTG é utilizado para avaliar o

estresse térmico e o conforto, combinando os efeitos da temperatura, radiação e umidade, através das Equações 1 e 2, proporcionando uma visão holística das condições térmicas de um ambiente interno e externo, respectivamente (Callejas; Bianchi, 2022; Cruz, 2021).

$$IBUTG_{int} = 0,7T_{bn} + 0,3 T_g \quad \text{equação (1)}$$

$$IBUTG_{ext} = 0,7T_{bn} + 0,2 T_g + 0,1 T_{bs} \quad \text{equação (2)}$$

Em que $IBUTG_{int}$ é o IBUTG sem carga solar direta, o $IBUTG_{ext}$ é o IBUTG com carga solar direta, a T_{bn} é a temperatura de bulbo úmido natural e representa a temperatura que um ambiente alcança devido a evaporação da água, a T_g é a temperatura de globo e representa a temperatura que um ambiente alcança devido a radiação térmica emitida e a T_{bs} é a temperatura de bulbo seco que é a própria TA (Brito, 2017).

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

COBERTURA COM TELHAS DE FIBROCIMENTO

A Figura 4 apresenta o perfil horário das grandezas medidas para os protótipos utilizando a cobertura com telhas de fibrocimento. Diante da sensação térmica medida pelo IBUTG é possível verificar que todos os protótipos apresentaram conforto térmico interno melhor do que o externo, resfriando o ambiente nos períodos mais quentes e aquecendo nos períodos mais frios. Contudo, o protótipo de tijolo cerâmico obteve as maiores variações, destoando em até 2 °C dos demais protótipos para a TA e TG nos horários mais quentes do dia. Outro aspecto, importante é que a TG foi o parâmetro que mais se destacou em relação as variações que ocorreram entre o ambiente interno e externo.

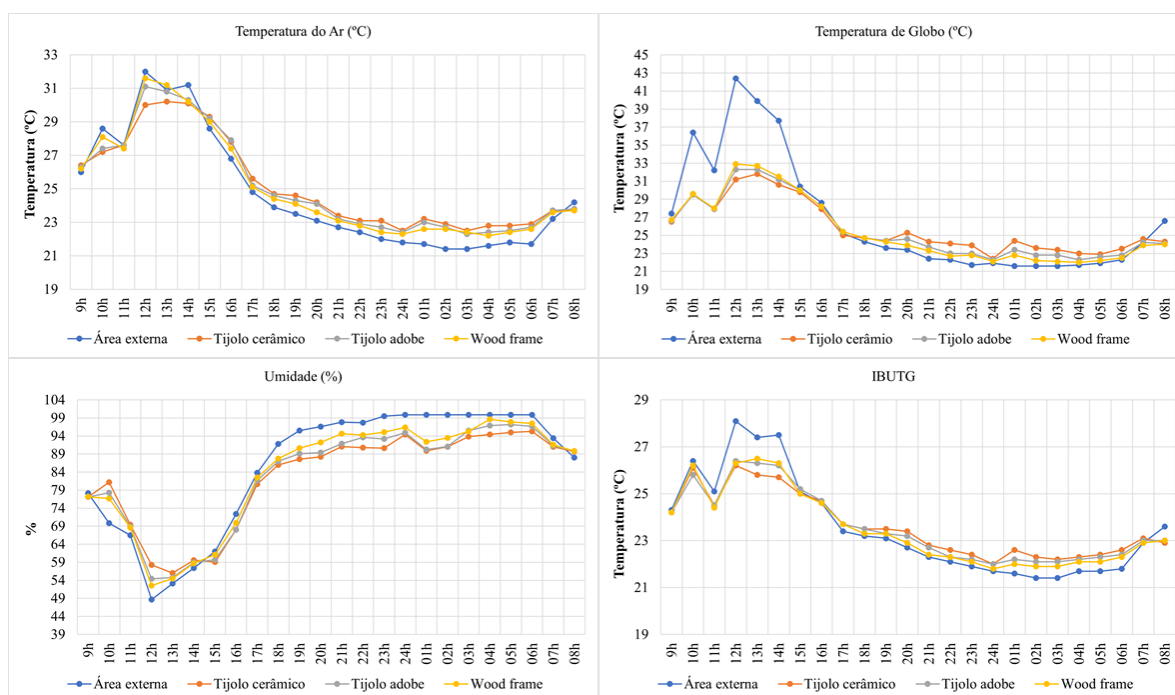


Figura 4: Perfil horário da TA, TG, UR e IBUTG no interior e exterior do protótipo para cobertura com telha de fibrocimento.



COBERTURA COM TELHAS CERÂMICAS

O perfil horário da TA, TG, UR e IBUTG na cobertura com telhas cerâmicas está apresentado na Figura 5. Com esse material a sensação térmica no interior dos protótipos esteve acima do ambiente exterior nos períodos mais quentes do dia, segundo as medidas de IBUTG, o que está em desacordo com a NBR 15.575/2013. Por outro lado, nos períodos mais frios do dia, os protótipos estiveram com uma sensação térmica em torno de 1 °C mais quente. Vale a pena ressaltar que não houve variações significativas entre os protótipos experimentados ao longo do dia.

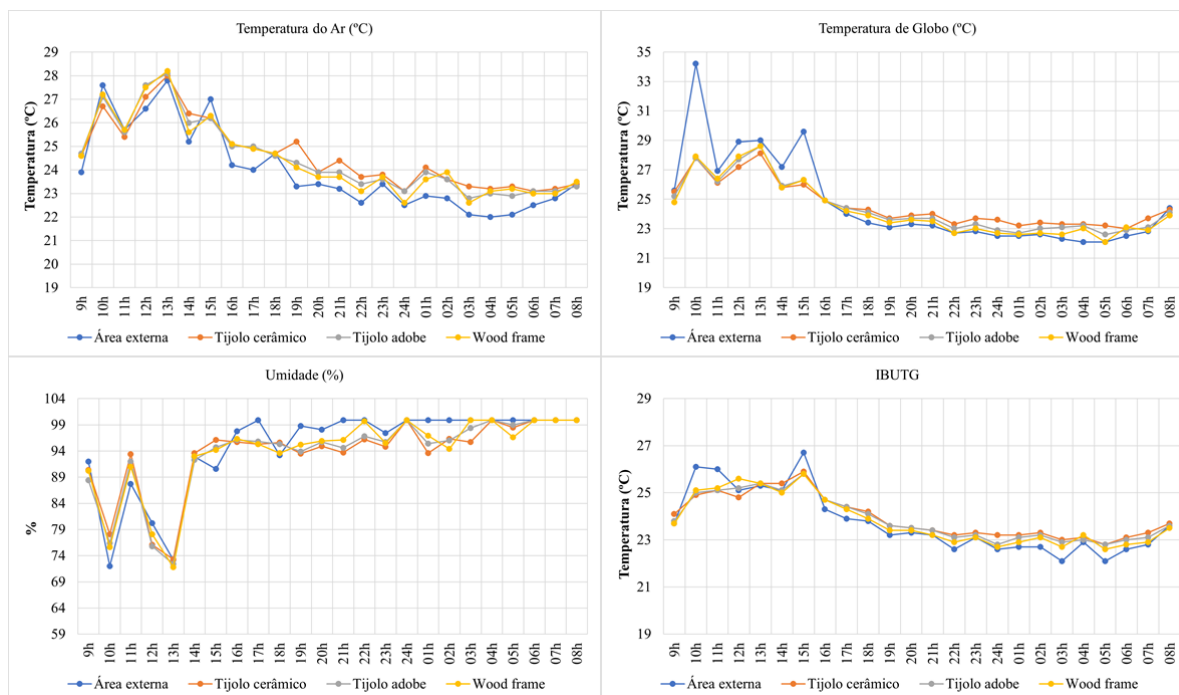


Figura 5: Perfil horário da TA, TG, UR e IBUTG no interior e exterior do protótipo para cobertura com telhas cerâmicas.

COBERTURA COM VEGETAÇÃO

Em relação a cobertura com vegetação o perfil horário para a TA, TG, UR e IBUTG foi apresentado na Figura 6. Esse tipo de cobertura apresentou a maior diferença em relação aos ambientes interno e externo para o IBUTG, no período mais quente do dia, alcançando intervalos acima de 2 °C. Contudo, no período mais frio do dia a sensação térmica não variou muito e também não houve variações significativas em relação aos protótipos com diferentes materiais de vedação. Vale a pena ressaltar que as maiores variações entre o ambiente interno e externo ocorreram na TG.

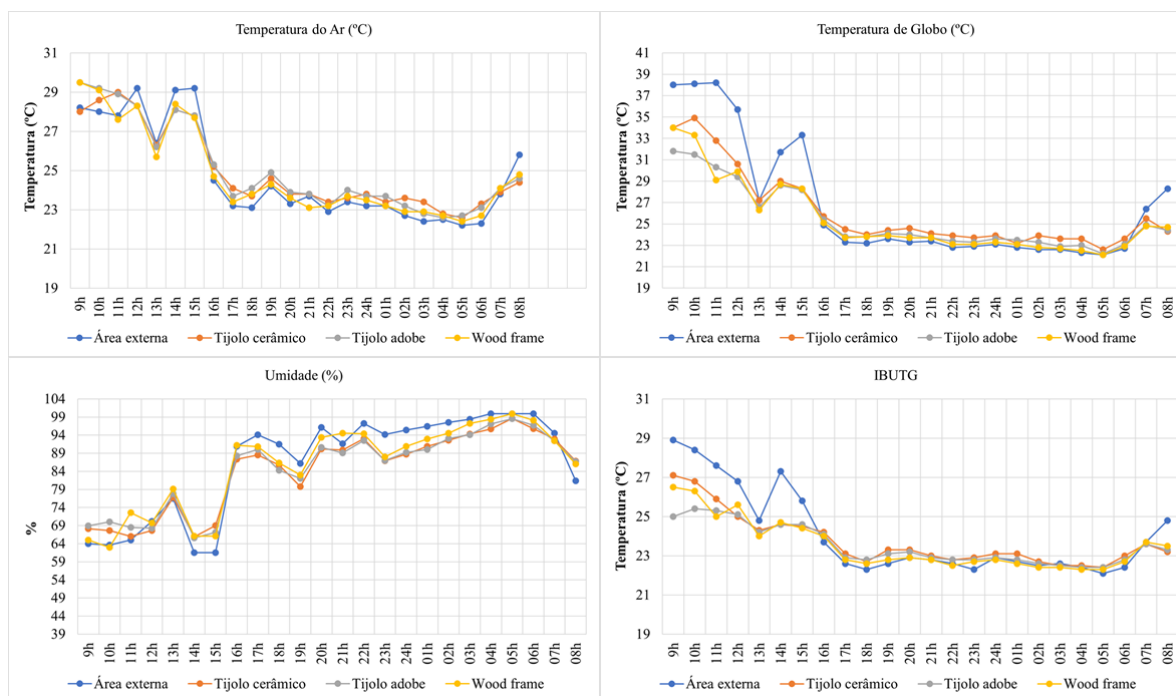


Figura 6: Perfil horário da TA, TG, UR e IBUTG no interior e exterior do protótipo para cobertura com vegetação.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise comparativa dos três tipos de cobertura revelou que, a cobertura com vegetação foi a que obteve melhor sensação térmica no período mais quente, no interior do protótipo. Por outro lado, a cobertura com telha cerâmica não atendeu aos parâmetros da NBR 15.575/2013, obtendo temperaturas mais altas no interior dos protótipos do que no ambiente externo. Esses resultados sugerem que as coberturas com telhas de fibrocimento e com vegetação são mais apropriadas para alcançar conforto térmico em habitações de interesse social do que as coberturas com telhas cerâmicas, que são mais utilizadas nesse tipo de construção.

Adicionalmente, é notável a influência da TG no conforto térmico obtido com as coberturas com telhas de fibrocimento e com vegetação. Esse resultado já era esperado, dado que a TG mede a transferência de calor pela radiação e a radiação solar é o aspecto que mais exerce influência no conforto térmico de uma residência (Kolokotroni *et al.*, 2018). E, neste caso a cobertura com vegetação foi a que mais se destacou positivamente, devido a capacidade das plantas de absorver e dissipar a energia solar.

Contudo, as demais formas de transferência de calor também apresentaram seu papel no conforto térmico, a exemplo da convecção, que desempenha um papel significativo, especialmente na troca de ar entre o ambiente externo e interno. Em relação a essa forma de transferência de calor, os resultados indicam que a TA no interior dos protótipos não variou significativamente em relação ao exterior, sugerindo uma eficiente troca de ar e, conseqüentemente, distribuindo mais uniformemente a temperatura.

Por sua vez, a condução térmica, responsável pela transferência de calor através dos materiais de construção, é medida pela UR, e, nos diferentes tipos de cobertura analisados, essa grandeza só não obteve bons resultados para a cobertura com telhas cerâmicas, se igualando ao valor do ambiente externo praticamente todos os momentos do dia.

Em síntese, a compreensão das diferentes formas de transferência de calor é essencial para o projeto de edificações que buscam proporcionar conforto térmico adequado. Os resultados desta pesquisa destacam a



importância de considerar não apenas a eficiência térmica dos materiais de construção, mas também sua capacidade de regular a transferência de calor por convecção, condução e radiação. Esse entendimento é fundamental para o desenvolvimento de ambientes internos saudáveis, confortáveis e energeticamente eficientes.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos a partir das medições do conforto térmico em diferentes tipos de cobertura, pode-se concluir que as coberturas com telhas de fibrocimento e com vegetação proporcionam conforto térmico maior que as com telhas cerâmicas, que não alcançaram o padrão estabelecido pela NBR 15.575/2013. Além disso, a forma de transferência de calor que mais se destacou em relação as variações dos ambientes internos e externos foi a radiação, algo já esperado, pois a maior fonte de calor de uma residência é a radiação solar.

Esses resultados indicam a relevância de considerar a influência dos materiais de construção e das estratégias bioclimáticas na busca por ambientes mais confortáveis e sustentáveis. Além disso, há uma clara implicação na eficiência energética das edificações, uma vez que uma boa gestão térmica pode reduzir a necessidade de uso de sistemas de climatização, resultando em menor consumo de energia e, conseqüentemente, em menor impacto ambiental.

Diante disso, este trabalho contribui para o avanço do conhecimento no campo do conforto ambiental em edificações, fornecendo informações valiosas para o desenvolvimento de práticas construtivas mais eficientes e adequadas às condições climáticas locais. Recomenda-se que futuras pesquisas explorem ainda mais essas questões, considerando diferentes estratégias bioclimáticas e variáveis construtivas, a fim de promover ambientes habitáveis, saudáveis, energeticamente eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. *ABNT NBR 15220-3*. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
2. ABNT. *ABNT NBR 15575-1*. Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
3. BLUMENSCHHEIN, R. N.; PEIXOTO, E.; GUINANCIO, C. *Avaliação da qualidade da habitação de interesse social: projetos urbanísticos e arquitetônico e qualidade construtiva*. Brasília: UnB, 2015.
4. 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 de mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.
5. CALLEJAS, I. J. A.; BIANCHI, E. C. Estimção 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, 2022.
6. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. *Projeto padrão – casas populares*. Vitória: GIDUR, 2006.
7. 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*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Pau dos Ferros, 2021.
8. 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*, Urbana, v. 73, p. 1-15, 2023.
9. FERRAZ, I. L. *O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
10. FREITAS, E. M. S. G.; TOSTA, D. S.; GÜTHS, S.; MILANI, A. P. Comportamento físico-mecânico e térmico de placas cimentícias com resíduo de borracha de pneu para uso em forros de edificações. In: Encontro nacional de aproveitamento de resíduos na construção, 6., 2019, Belém. *Anais [...]*. Belém: ANTAC, 2023. p. 481-494.



11. 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*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.
12. 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. 1-17, 2018.
13. LEITE, C. C.; GIANNOTTI, M.; GONÇALVES, G. Social housing and accessibility in Brazil's unequal cities. *Habitat International*, Hong Kong, v. 127, p. 1-9, 2022.
14. PEDOTE, L.; FRANCO, T. T. *Análise da eficiência térmica de diferentes tipos de coberturas para casas de emergência*. 2012. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
15. 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, p. 1-17, 2023.
16. VAKALIS, D.; PATINO, E. D. L.; OPPER, 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, p. 1-13, 2021.
17. 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*. 2017. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Medianeira, 2017.