XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8247

Análise do comportamento térmico e óptico de telhas metálicas

Thermal and optical behavior analysis of metal roofing

Gabrielle Silva Soares
UFSC | Florianópolis| Brasil | gabriellesilvasoaresss@gmail.com
Matheus do Nascimento Martins
UFSC | Florianópolis | Brasil | matheusmartins0708@gmail.com
Yasmim Coelho
UFSC | Florianópolis | Brasil | eng.yasmimcoelho@gmail.com
Ticiana Camilo Frigo Avila
UFSC | Florianópolis | Brasil | ticiana.frigo@ufsc.br
Deivis Luis Marinoski
UFSC | Florianópolis| Brasil | deivis.marinoski@ufsc.br
Saulo Guths
UFSC | Florianópolis| Brasil | saulo.g@ufsc.br

Resumo

Este estudo teve como objetivo caracterizar refletância solar, emitância térmica e temperatura superficial de amostras de telhas metálicas por meio de ensaios laboratoriais e medições externas. Um conjunto de sete amostras planas de cores diferentes foi avaliado. A refletância e a emitância foram determinadas conforme normas específicas (ASTM) e as temperaturas superficiais foram registradas em campo sob exposição à radiação solar direta. Os resultados mostraram uma correlação linear inversamente proporcional forte (R^2 = 0,9761) entre refletância solar e temperatura superficial. Os dados contribuem para avaliações de desempenho térmico de coberturas metálicas, reconhecendo-se a limitação de que representam apenas o comportamento inicial das amostras, sem considerar efeitos de envelhecimento, sujidade ou deformações físicas.

Palavras-chave: Telhas metálicas. Refletância solar. Emitância térmica. Temperatura superficial. Desempenho térmico.

Abstract

This study aimed to characterize solar reflectance, thermal emittance, and surface temperature of metal roofing samples through laboratory tests and outdoor measurements. A set of seven flat samples with different colors was evaluated. Solar reflectance and thermal emittance were determined according to specific standards (ASTM), and surface temperatures were recorded in the field under direct solar radiation exposure. The results showed a strong inverse linear correlation (R^2 = 0.9761) between solar reflectance and surface temperature. The data contribute to thermal performance assessments of metal roofing systems, acknowledging the limitation that they represent only the initial behavior of the samples, without considering the effects of aging, soiling, or physical deformations.

Keywords: Metal roofing. Solar reflectance. Thermal emittance. Surface temperature. Thermal performance.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8247

INTRODUÇÃO

A cobertura é um dos elementos que mais contribuem para as trocas térmicas em edificações localizadas em climas quentes e úmidos, podendo representar mais de 50% dos ganhos térmicos totais em edificações de pequeno porte. Essa relevância tem sido reiterada pela literatura, que demonstra a forte influência da radiação solar incidente sobre superfícies horizontais ou pouco inclinadas no superaquecimento de telhas metálicas, especialmente aquelas com alta absortância solar e baixa emitância térmica **[1, 2, 3]**. Esse comportamento impacta diretamente o conforto térmico e amplia a demanda energética de climatização, contribuindo ainda para o agravamento de ilhas de calor urbanas.

Diversos estudos reforçam que as propriedades termo-ópticas da superfície, como a refletância solar e a emitância térmica, têm papel determinante na temperatura superficial de coberturas metálicas e, consequentemente, no fluxo de calor transmitido ao interior dos ambientes. Pesquisas em contextos de elevada irradiância solar — como Brasil, Equador e países do Golfo — demonstram reduções significativas no aquecimento superficial quando são empregados materiais de alta refletividade e elevada emissividade **[1, 2, 3, 4]**. Para telhas metálicas, cuja baixa inércia térmica acentua variações rápidas de temperatura, tais propriedades são particularmente relevantes.

Entretanto, a literatura aponta que essas propriedades podem se deteriorar ao longo do tempo devido à deposição de poeira, fuligem, partículas atmosféricas ou à degradação do material, resultando em queda de refletância e em aumento da temperatura superficial. Ensaios de envelhecimento natural indicam reduções entre 13% e 23% da refletância de revestimentos brancos após um ano de exposição **[5]**, enquanto estudos em climas áridos mostram impactos expressivos da acumulação de poeira na efetividade dos materiais frios **[2]**. Assim, o desempenho térmico inicial de uma superfície não necessariamente representa seu comportamento ao longo da vida útil.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo caracterizar experimentalmente a refletância solar, emitância térmica e o comportamento térmico superficial de amostras de telhas metálicas, por meio de ensaios laboratoriais e medições em ambiente externo. A pesquisa visa fornecer dados confiáveis para uso em análises de desempenho térmico de coberturas metálicas, contribuindo para escolhas mais fundamentadas em projetos de edificações localizadas em climas quentes e úmidos.

OBJETIVO

Caracterizar experimentalmente refletância solar, emitância térmica e temperatura superficial de amostras de telhas metálicas, por meio de ensaios laboratoriais e medições externas com exposição à radiação solar direta.

MÉTODO

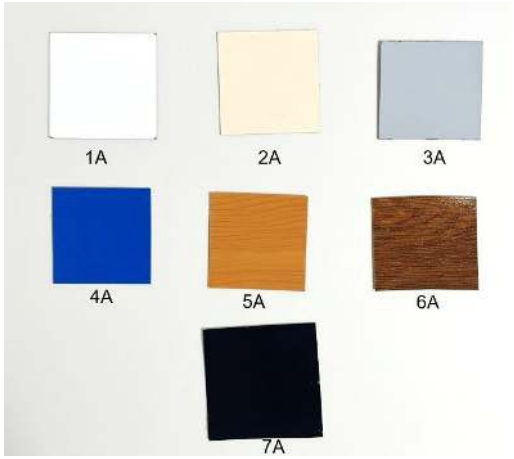
O estudo utilizou uma abordagem experimental estruturada em duas etapas complementares: uma realizada em laboratório e outra em ambiente externo. A caracterização em laboratório foi realizada por meio da determinação da refletância solar **[5]** e da emitância térmica **[4]**.

Para a caracterização em campo, mediu-se a temperatura superficial das amostras em ambiente externo sob radiação solar direta, com monitoramento da irradiância, temperatura e velocidade do ar. As medições permitiram integrar propriedades termo-ópticas e comportamento térmico em condições controladas e reais.

DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram selecionadas sete colorações de chapas metálicas para a cobertura de edificações. Para cada coloração, foram confeccionadas duas amostras, cada uma com dimensões aproximadas de 10x10cm. As cores selecionadas são: branca (1A), creme (2A), cinza (3A), azul (4A), amadeirada clara (5A), amadeirada escura (6A) e preta (7A), sendo que a amostra amadeirada escura é a única que tem relevo na sua superfície. As amostras podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1: Amostras de telhas metálicas



Fonte: os autores.

ENSAIO DE EMITÂNCIA TÉRMICA

A emitância térmica foi determinada segundo a ASTM C1371 utilizando o emissômetro portátil D&S **[7]** (Figura 2), previamente estabilizado por 30 min. O equipamento foi calibrado com padrões de alta (ε=0,88) e baixa emitância (ε=0,06) fornecidos pelo fabricante. Para cada coloração, duas amostras foram medidas em três pontos distintos, totalizando 42 leituras. Cada ponto recebeu três registros consecutivos com exposição de 90 s **[4]**. As medições foram realizadas na seguinte sequência de cores: branca, creme, cinza, azul, amadeirada clara, amadeirada escura e preta.

Após a medição de todas as amostras, a calibração foi repetida para garantir a confiabilidade dos resultados, totalizando seis leituras por padrão.

ENSAIO DE REFLETÂNCIA SOLAR

O ensaio de refletância solar seguiu as diretrizes da norma ASTM E903 **[5]**, que estabelece os requisitos para determinação da refletância solar em materiais translúcidos ou opacos. O procedimento experimental foi realizado utilizando um espectrofotômetro Lambda 1050 da marca PerkinElmer (Figura 3). Esse equipamento possui uma esfera integradora de 150 mm, que permite a caracterização óptica de materiais opacos por meio da refletância difusa, conforme especificações do fabricante.

Figura 2: Ensaio de emitância térmica



Fonte: os autores.

Figura 3: Espectrofotômetro Lambda 1050



Fonte: PerkinElmer (2025).

Antes do início das medições, o equipamento foi calibrado utilizando uma superfície padrão. Em seguida, cada amostra foi posicionada no compartimento de medição, e o feixe emitido teve sua energia refletida registrada por comprimento de onda, resultando nas curvas espectrais de refletância. As medições foram realizadas ao longo da faixa espectral de 300 a 2500 nm, com resolução de 5 nm entre cada ponto, resultando em um conjunto de leituras para cada varredura.

Os dados espectrais obtidos foram exportados pelo software UV WinLab, que permitiu o tratamento e análise dos dados. Com base nesses valores, foi calculada a refletância solar de cada amostra, utilizando o espectro solar padrão definido pela ASTM G173-03 **[6]**. As curvas espectrais e os valores de refletância solar obtidos serão apresentados na seção de resultados.

ENSAIO DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA SUPERFICIAL

O ensaio de medição da temperatura superficial foi conduzido em ambiente externo, sob condições de céu claro, visando avaliar o comportamento térmico das amostras submetidas à radiação solar direta. A configuração experimental incluiu o monitoramento simultâneo das variáveis ambientais e a aquisição de imagens termográficas.

Para a caracterização da radiação solar global incidente no plano das amostras, utilizou-se um piranômetro de padrão secundário da marca Kipp & Zonen, modelo CMP21. O sensor foi conectado a um multímetro digital de bancada Keysight, modelo 34401A, configurado para aquisição de dados de tensão em corrente contínua (DC),

permitindo a posterior conversão para irradiância (W/m²) com base na sensibilidade calibrada do instrumento.

As condições microclimáticas locais foram monitoradas por meio de um termoanemômetro portátil da marca Testo, modelo 445. O equipamento foi posicionado adjacente ao arranjo experimental para o registro da temperatura de bulbo seco e da velocidade do ar, assegurando a verificação das condições de convecção natural durante o ensaio.

A medição da temperatura superficial das amostras foi realizada utilizando uma câmera termográfica, modelo FLIR T450sc, equipada com lente objetiva FOL18.

RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios de emitância térmica, refletância solar e temperatura superficial estão apresentados nas subseções a seguir.

EMITÂNCIA TÉRMICA

A emitância em cada posição de medição foi determinada a partir da equação linear obtida na calibração do emissômetro, expressa por: $\varepsilon = 0{,}367(mV) - 0{,}240$. A equação foi formulada através da relação entre a média das leituras de calibração e da emissividade dos dois padrões já conhecidos. Para cada amostra, o valor de emitância térmica foi calculado como a média aritmética das leituras realizadas em pontos distintos da superfície.

A incerteza expandida das amostras foi estimada pela combinação das componentes do tipo A, que foi obtida a partir do desvio padrão das medições, e do tipo B, que inclui a incerteza fornecida pelo fabricante do multímetro (U=0,004 mV) e a incerteza atribuída à reprodutibilidade do método (0,019 para 95% de confiança, conforme **[4]**).

A partir dessa combinação, as amostras apresentaram valores de incerteza expandida variando entre ±0,038 e ±0,041. A Tabela 1 apresenta os valores médios de emitância de cada amostra, acompanhados das respectivas incertezas associadas às medições.

Tabela 1: Resultados do ensaio de emitância térmica

Amostra	Cor	Emitância térmica (ε)
1A	Branca	0,764 ± 0,039
2A	Creme	0,783 ± 0,039
3A	Cinza	0,763 ± 0,039
4A	Azul	0,832 ± 0,039
5A	Amadeirado claro	0,796 ± 0,038
6A	Amadeirado escuro	0,729 ± 0,041
7A	Preta	0,885 ± 0,038

Fonte: os autores.

Conforme apresentado na Tabela 1, as amostras de cor azul e preta exibiram os maiores valores de emitância térmica. A diferença em relação às demais pode estar associada tanto à composição das tintas quanto ao eventual empenamento das superfícies durante o ensaio, o que afeta a qualidade do contato com o sensor e a base de suporte. Por outro lado, a amostra “amadeirada escuro” apresentou a menor emitância. Esse comportamento pode estar relacionado à sua textura superficial, que reproduz ranhuras de madeira e pode prejudicar a aderência uniforme do instrumento de medição em toda a área da amostra.

REFLETÂNCIA SOLAR

A Tabela 2 apresenta os valores de refletância solar obtidos a partir do ensaio de refletância solar. Como apenas um valor foi obtido para cada cor avaliada, incerteza estimada nestes resultados é de ±0,020, dada pelo método de ensaio ASTM E903 **[5]**.

Tabela 2: Valores de refletância solar obtidos

Amostra	Cor	Refletância solar (ρ)
1A	Branca	0,713
2A	Creme	0,604
3A	Cinza	0,319
4A	Azul	0,303
5A	Amadeirado claro	0,303
6A	Amadeirado escuro	0,199
7A	Preta	0,048

Fonte: os autores.

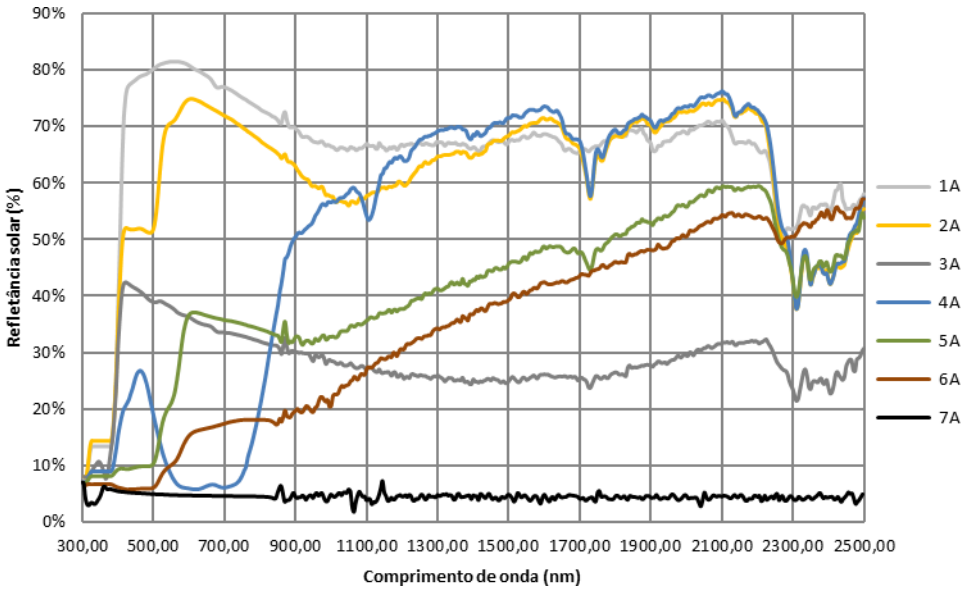
O Gráfico 1 apresenta as curvas de refletância espectral das amostras metálicas avaliadas, cobrindo a faixa de 300 a 2500 nm, que engloba as regiões ultravioleta (300-380 nm), visível (380-780 nm) e infravermelho (780-2500 nm). De modo geral, observa-se que cada amostra de telha apresenta um padrão diferente, associado principalmente à sua coloração.

As amostras de tonalidades claras, como branco (1A) e creme (2A), apresentaram maiores valores de refletância ao longo do espectro, sobretudo na faixa do infravermelho, contribuindo para a redução da absorção de radiação. Em contraste, as amostras escuras, como preto (7A) e amadeirado claro (5A), exibiram refletâncias mais baixas, o que favorece maior absorção da energia incidente.

Além disso, é importante comentar, que as amostras (3A), (4A) e (5A) têm valores totais de refletância muito próximos, porém apresentam comportamento espectral diferenciado nas regiões do espectro visível e infravermelho.

As curvas espectrais indicam que telhas com maior refletância tendem a reduzir a absorção de radiação solar e, portanto, a limitar o aumento de temperatura. Em contraste, superfícies com refletância mais baixa absorvem mais energia, o que favorece a elevação da temperatura da cobertura.

Gráfico 1: Curvas espectrais de refletância das amostras

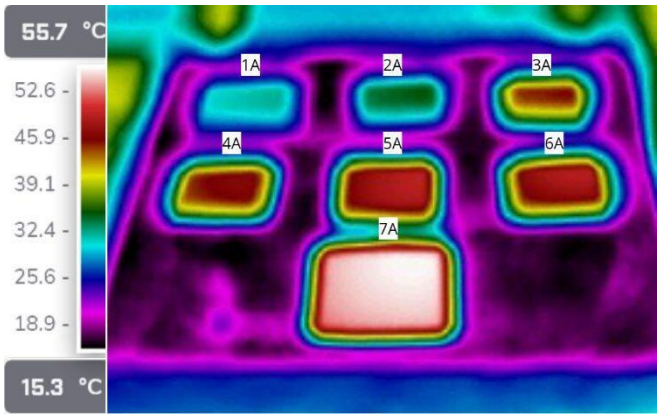


Fonte: os autores.

TEMPERATURA SUPERFICIAL

As medições foram realizadas sob irradiância solar de 1239 W/m², obtida a partir da leitura de 10,833 mV e da sensibilidade do sensor ($8{,}74\times10^{-6}$ V/W·m^{-2}), com temperatura do ar de 29,4°C e velocidade do vento de 0,29 m/s, configurando condições de convecção natural. A análise termográfica (Figura 4) confirmou a relação inversa entre refletância solar e temperatura superficial (Tsup).

Figura 4: Termograma das amostras



Fonte: os autores.

Conforme apresentado na Tabela 3, a amostra com menor refletância (preta, ρ = 0,05) alcançou Tsup de 55,2 °C, representando um acréscimo de 25,8 °C em relação ao ambiente. Já a amostra com maior refletância (branca, ρ = 0,71) registrou 33,0 °C, apenas 3,6 °C acima da temperatura do ar ambiente. A diferença máxima de temperatura entre as superfícies avaliadas foi de 22,2 °C, para branca (1A) x preta (7A).

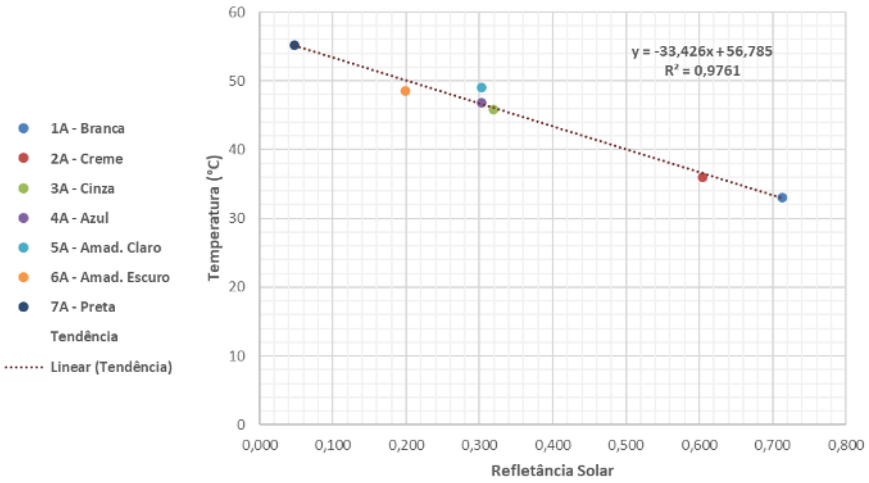
Tabela 3: Valores de temperatura superficial obtidos

Amostra	Cor	Temperatura superficial (°C)
1A	Branca	33,0
2A	Creme	36,0
3A	Cinza	45,8
4A	Azul	46,8
5A	Amadeirado claro	49,0
6A	Amadeirado escuro	48,5
7A	Preta	55,2

Fonte: os autores.

Os dados quantitativos extraídos da análise das imagens (Tabela 3) foram correlacionados com os valores de refletância solar obtidos previamente (Tabela 2). Com isso, uma regressão linear dos dados (Gráfico 2) foi estabelecida. Esta regressão apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,9761, validando o modelo empírico dado na Equação 1. Observou-se, contudo, proximidade térmica entre as amostras amadeiradas (49,0°C e 48,5°C) apesar da divergência de refletância no visível, indicando possível comportamento espectral seletivo na região do infravermelho próximo.

Gráfico 2: Correlação entre a refletância solar e a temperatura superficial



Fonte: os autores.

$$Tsup = -33{,}426 \cdot \rho + 56{,}785 \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Onde:

Tsup é a temperatura superficial (°C);

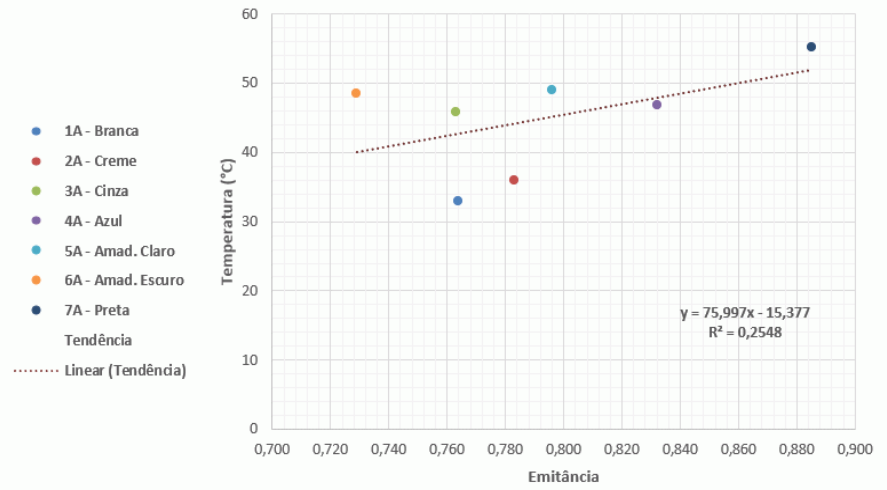
ρ é a refletância solar (adimensional);

O coeficiente angular negativo confirma que o aumento da refletância solar atua na mitigação da temperatura superficial.

Os valores de temperatura superficial (Tabela 3) também podem ser correlacionados com os dados de emitância térmica (Tabela 1). Com isso, uma regressão linear dos dados (Gráfico 3) foi estabelecida e apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,2548. Dessa forma, é possível notar que, isoladamente, a variação da emitância na

faixa testada tem baixa correlação com o comportamento da temperatura dessas amostras sob as condições do ensaio.

Gráfico 3: Correlação entre a emitância térmica e a temperatura superficial



Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

A emitância térmica apresentou variação entre as amostras, possivelmente associada às características dos revestimentos e à uniformidade de contato durante a medição. Embora a emitância contribua para a dissipação de calor, sua variação não alterou de forma significativa a tendência observada para o aquecimento superficial, que se relacionou principalmente à refletância solar.

A caracterização termo-ópticas das telhas metálicas evidenciou a influência direta da refletância solar na temperatura superficial das amostras quando expostas à radiação incidente. Os resultados mostraram forte correlação linear inversa entre refletância solar e temperatura superficial (R^2 = 0,9761), indicando que superfícies com maior refletância apresentaram menores incrementos de temperatura no ensaio externo, o que vai ao encontro do que já foi conservado para outros materiais [11,12, 13].

A amplitude térmica registrada entre as amostras demonstra a sensibilidade das telhas metálicas às propriedades termo-ópticas de superfície. Assim, os dados obtidos neste trabalho podem contribuir para avaliações de desempenho térmico de coberturas metálicas em climas quentes e úmidos.

Ainda, como limitações deste estudo, destaca-se que os resultados representam apenas o comportamento inicial das amostras, não incluindo envelhecimento, sujidade, degradação superficial ou deformações mecânicas. As medições externas foram realizadas sob céu claro e baixa velocidade do vento, representando um único cenário climático. O formato e as dimensões reduzidas das amostras podem não reproduzir integralmente o desempenho de telhas instaladas em escala real. Deste modo, futuros trabalhos são incentivados para ampliar o entendimento do efeito das alterações destas variáveis sobre o desempenho térmico das telhas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio através dos recursos financeiros concedidos.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram o ChatGPT (GPT-5.5) para a tradução e revisão do texto. Após a utilização dessa ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] BRITO FILHO, J. P.; SANTOS, T. V. O. **Thermal analysis of roofs with thermal insulation layer and reflective coatings in subtropical and equatorial climate regions in Brazil**. *Energy and Buildings*, v. 84, p. 466–474, 2014.

[2] DORNELLES, K. A. **Effect of aging on solar reflectance of white cool roof coatings: natural weathering and the influence on building energy needs for different climate conditions in Brazil**. *Journal of Architectural Environment & Structural Engineering Research*, v. 4, n. 2, p. 8–20, 2021.

[3] TORRES-QUEZADA, J.; COCH, H.; ISALGUE, A. **Assessment of the reflectivity and emissivity impact on light metal roofs thermal behaviour, in warm and humid climate**. *Energy & Buildings*, v. 188–189, p. 200–208, 2019.

[4] ASTM — AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C1371-15: Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers**. ASTM International, 2022.

[5] ASTM — AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E903-20: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres**. ASTM International, 2020.

[6] ASTM — AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173-03: Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface**. ASTM International, 2023.

[7] D&S — DEVICES AND SERVICES COMPANY. **AE1 & RD1**. 2020. Disponível em: <https://www.devicesandservices.com/prod03.htm>. Acesso em: 24 nov. 2025.

[8] PERKINELMER. **LAMBDA 1050 UV/Vis/NIR Spectrophotometer**. 2025. Disponível em: https://shop.perkinelmer.com/product/L6020055?redirect=false. Acesso em: 01/12/2025.

[9] SABER, H. H. **Experimental characterization of reflective coating material for cool roofs in hot, humid and dusty climate**. *Energy & Buildings*, v. 242, 110993, 2021.

[10] TORRES-QUEZADA, J.; ISALGUE, A.; COCH, H. **Impact of solar reflectivity and infrared emissivity on the thermal performance of metal and concrete roofs in cloudy warm–humid climate**. *Frontiers of Architectural Research*, v. 13, p. 842–857, 2024.

[11] ZINGRE, K. T. *et al.* **Modeling of cool roof heat transfer in tropical climate**. *Renewable Energy*, v. 75, p. 210–223, 2015.

[12] DE MASI, R. F. et al**. Aging, soiling, and cleaning effects on cool roof performance: experimental insights on aerogel-based and conventional reflective coatings in Mediterranean climate**. *Journal of Building Engineering*, v. 116, p. 114577, 2025.

[13] PISELLO, A. L.; COTANA, F**. The thermal effect of an innovative cool roof on residential buildings in Italy: Results from a two years continuous monitoring**. *Energy and Buildings*, v. 69, p. 154–164, 2014