XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Pisos para a área de entorno de piscina: análise e caracterização de propriedades térmicas e ópticas

Pavimentos para piscinas: análisis y caracterización de las propiedades térmicas y ópticas

Flooring for swimming pool surrounds: analysis and characterization of thermal and optical properties.

Desempenho Térmico do Ambiente Construído / *Rendimiento Térmico del Entorno Construído / Thermal Performance of the Built Environment*

Damiani, Bruna Haag
Arquiteta e Urbanista, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, arqbrunahaag@gmail.com

Aliardi, Anthony
Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, a.aliardi98@gmail.com

Eyng, Carolina
Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, arq.caroleyng2015@gmail.com

Marinoski, Deivis Luis
Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, deivis.marinoski@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis – SC, 88040-900

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar as propriedades térmicas e ópticas (refletância solar, emitância térmica) de revestimentos para áreas externas, indicados para aplicação ao redor de piscinas. Foram avaliadas oito amostras, incluindo cimentícios conhecidos comercialmente como "atérmicos", porcelanatos esmaltados e madeira. Utilizaram-se métodos laboratoriais e de campo, com instrumentos como espectrofotômetro, emissômetro e câmera termográfica. A emitância térmica apresentou baixa variação entre os diferentes materiais (0,85 a 0,92). Os resultados mostraram que materiais mais claros têm maior refletância solar e atingem menores temperaturas superficiais. O piso cimentício branco obteve o melhor resultado de refletância solar (0,879). A variação de temperatura entre os materiais foi de até 19°C em um teste de exposição à radiação solar em campo. Concluiu-se que das propriedades analisadas a refletância solar foi o indicador que mais influenciou o valor do SRI, impactando diretamente o desempenho térmico em superfícies expostas ao sol, como é o caso das áreas de piscina.

Palavras-chave: Medição. Refletância solar. Emitância térmica. Desempenho Térmico. Piscinas.

Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar las propiedades térmicas y ópticas (reflectancia solar, emisividad térmica) de revestimientos para áreas exteriores, indicados para su aplicación alrededor de piscinas. Se evaluaron ocho muestras, incluyendo materiales cementicios conocidos comercialmente como "atérmicos", porcelanatos esmaltados y madera. Se utilizaron métodos de laboratorio y de campo, con instrumentos como espectrofotómetro, emisómetro y cámara termográfica. La emisividad térmica presentó baja variación entre los diferentes materiales (0,85 a 0,92). Los resultados mostraron que los materiales más claros tienen mayor reflectancia solar y alcanzan menores temperaturas superficiales. El revestimiento cementicio blanco obtuvo el mejor resultado de reflectancia solar (0,879). La variación de temperatura entre los materiales fue de hasta 19 °C en una prueba de exposición a la radiación solar en campo. Se concluyó que, entre las propiedades analizadas, la reflectancia solar fue el indicador que más influyó en el valor del SRI, impactando directamente el desempeño térmico en superficies expuestas al sol, como es el caso de las áreas de piscina.

Palabras clave: Medición. Reflectancia solar. Emisividad térmica. Desempeño térmico. Piscinas.

Abstract

The aim of this study was to analyze the thermal and optical properties (solar reflectance, thermal emittance) of coatings for outdoor areas, recommended for use around swimming pools. Eight samples were evaluated, including cementitious materials commercially known as "athermal" pavers, glazed porcelain tiles, and wood. Laboratory and field methods were used, employing instruments such as a spectrophotometer, emissometer, and thermal imaging camera. Thermal emittance showed little variation among the different materials (0.85 to 0.92). The results showed that lighter-colored materials have higher solar reflectance and reach lower surface temperatures. The white cementitious coating achieved the highest solar reflectance result (0.879). The temperature variation among the materials reached up to 19 °C in a field test under solar radiation. It was concluded that, among the analyzed properties, solar reflectance was the indicator that most influenced the SRI value, directly impacting the thermal performance of surfaces exposed to sunlight, such as poolside areas.

Keywords: Measurement. Solar reflectance. Thermal emittance. Thermal performance. Swimming pools.

1. Introdução

Entre os materiais utilizados na construção civil, os revestimentos para pisos se destacam por suas diferentes características térmicas de absorção e reflexão solar. Em superfícies externas, pisos de tonalidades claras e brilhantes refletem mais radiação solar, absorvendo menos calor e contribuindo para a redução do aquecimento superficial (Jacinto *et al.*, 2017).

Estudos foram realizados para determinar a influência da cor na temperatura da superfície de materiais. Doulos *et al.* (2004) compararam granitos escuros e mármores brancos e descobriram que a diferença máxima de temperatura entre os materiais pode ser de até 19°C. Synnefa *et al.* (2006) mediram as propriedades ópticas de 14 tipos de revestimentos refletivos (brancos e de alumínio) e concluíram que um revestimento frio pode reduzir a temperatura superficial em condições quentes de verão em 4°C durante o dia e 2°C durante a noite.

Revestimentos que apresentam alta refletância solar e alta emitância térmica são conhecidos como pavimentos “frios”, e auxiliam na redução das temperaturas da superfície e do ambiente (Santamouris *et al*., 2011; Kappou *et al*., 2022). A busca por tecnologias que melhorem o conforto térmico de pisos externos é um campo ainda pouco explorado, apesar de sua relevância em locais expostos à incidência solar direta. Comercialmente, o uso do termo piso “atérmico” é usado para caracterizar revestimentos que absorvem menos calor, geralmente indicado para aplicação em áreas externas, como o entorno de piscinas, por exemplo. Portanto, caracterizar as propriedades térmicas e ópticas destes revestimentos é fundamental para desenvolver soluções mais eficientes na mitigação do calor ambiental e no aumento do conforto ao toque.

2. Objetivo

Este artigo objetiva caracterizar a refletância solar, a emitância térmica e o Índice de Refletância Solar (SRI) de oito amostras de materiais utilizados como pisos em áreas do entorno de piscinas e comparar se existem diferenças significativas entre os revestimentos convencionais e os denominados comercialmente de “atérmicos”.

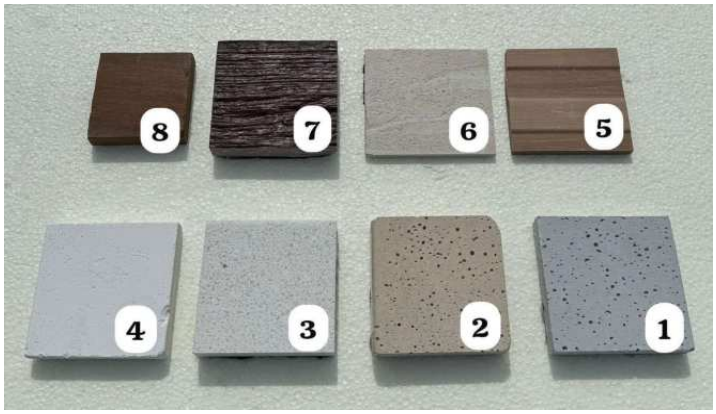
3. Método

Este estudo adotou uma metodologia experimental, estruturada em duas etapas complementares: uma fase laboratorial e outra em campo. Em laboratório, foram realizadas medições das propriedades de refletância solar e emitância térmica, bem como a determinação do Índice de Refletância Solar (SRI). Em campo, mediu-se a radiação solar incidente sobre os revestimentos, além de variáveis ambientais, como umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura de bulbo seco. As temperaturas de superfície dos revestimentos também foram registradas, possibilitando uma análise mais aprofundada dos resultados. Essa abordagem permite uma avaliação integrada das propriedades térmicas e ópticas de diferentes revestimentos, com base em medições realizadas em condições de exposição reais e controladas.

3.1 Descrição das Amostras

As amostras analisadas são indicadas pelos fabricantes para aplicação no entorno de piscinas externas. Selecionamos um total de 8 amostras de fornecedores distintos, sendo 4 denominadas comercialmente pelo fabricante como “atérmicas”. As amostras podem ser visualizadas na Figura 1, e a descrição com as características de cada uma está disponível na Tabela 1.

Figura 1: Amostras de pisos avaliados para a região de entorno de piscina.



Fonte: Autores (2024).

Tabela 1: Caracterização das amostras avaliadas.

Nº	Tonalidade	Material	Atérmico
1	Cinza	Cimentício	Sim
2	Bege	Cimentício	Sim
3	Cinza claro	Cimentício	Sim
4	Branco	Cimentício	Sim
5	Marrom claro	Porcelanato esmaltado	Não
6	Bege claro	Porcelanato esmaltado	Não
7	Marrom escuro	Cimentício esmaltado	Não
8	Marrom escuro	Madeira	Não

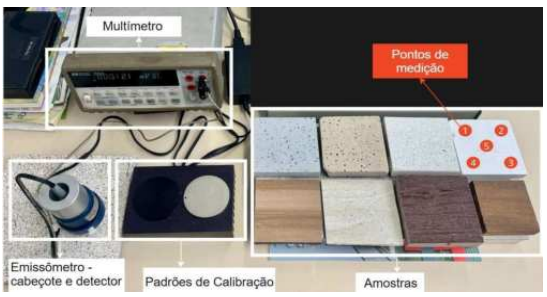
Fonte: Autores (2024).

3.2 Ensaio de Emitância Térmica

Para medir a emitância térmica, conforme indicado pela Norma ASTM C1371-15 (ASTM, 2022), utilizou-se o emissômetro AE1 (D&S) (Figura 2). Antes do ensaio, o detector foi aquecido por aproximadamente 45 minutos. Em seguida, realizou-se a calibração do detector utilizando dois padrões: um de alta emitância (ε = 0.88) e outro de baixa emitância (ε = 0.06) (D&S, 2020). A calibração envolveu três medições de 90 segundos em cada padrão. Após a medição de todas as amostras, o procedimento de calibração foi repetido.

Para avaliar os valores de emitância térmica (ε) das 8 amostras, cada uma foi analisada em 5 pontos, totalizando 40 medições (8 amostras x 5 pontos). Utilizou-se de um adaptador acoplado ao detector para reduzir a área de exposição, possibilitando assim a leitura de um número maior de pontos na superfície das amostras. A sequência das medições foi seguindo a ordem representada pelos números descritos na Figura 2.

Figura 2: Emissômetro AE1 (D&S).



Fonte: Autores (2024)

3.4 Ensaio de Refletância Solar

Para o ensaio de refletância solar, foi utilizado o Espectrofotômetro Lambda 1050 (PerkinElmer) (Figura 3), com esfera integradora de 150mm. O equipamento pode ser usado para avaliar amostras opacas (em relação a refletância) ou transparentes (em relação a transmitância ou refletância) (PerkinElmer, 2021).

Figura 3: Espectrofotômetro Lambda 1050 (PerkinElmer).



Fonte: Autores (2024).

As amostras foram medidas na faixa espectral de 300 a 2500 nm em intervalo de 5 nm, totalizando 440 leituras por varredura. Após a calibração com uma superfície padrão, cada amostra foi posicionada no compartimento adequado, e a energia refletida foi detectada por comprimento de onda, gerando curvas espectrais de refletância. Para a realização deste ensaio foram aplicados os procedimentos da norma ASTM E903-20 (ASTM, 2020).

O programa UV WinLab, da PerkinElmer, exportou os valores de refletância (por comprimento de onda) em planilhas no formato ".xlsx". Com esses dados, calculou-se a refletância solar de cada amostra conforme o espectro solar padrão definido pela ASTM G173-03 (ASTM, 2023). Um gráfico comparativo com as curvas espectrais das amostras será apresentado nos resultados.

3.5 Índice de Refletância Solar (SRI)

O Índice de Refletância Solar é uma medida que combina refletância solar e emitância térmica para avaliar a capacidade de uma superfície em refletir a radiação solar e dissipar mais calor. Neste estudo, o SRI foi calculado seguindo as recomendações da norma ASTM E1980-11 (ASTM, 2019).

O SRI quantifica o aquecimento relativo de uma superfície em comparação com padrões de referência: uma superfície preta (ρ = 5%, ε = 90%), com SRI igual a 0, e uma superfície branca (ρ = 80%, ε = 90%), com SRI igual a 100. Valores negativos de SRI indicam materiais que aquecem mais do que a superfície preta padrão, enquanto valores superiores a 100 correspondem a materiais que aquecem menos do que a superfície branca padrão, sendo considerados excepcionalmente frios (Santamouris, Sunnefa, Karlessi, 2011).

3.6 Ensaio de medição de temperatura superficial

O experimento foi realizado na cobertura do bloco B do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC em Florianópolis, SC, localizado na latitude 27° 36' 5,66" S, longitude 48° 31' 4,3" O e a 10 m de altitude. A temperatura de superfície das amostras foi medida com uma câmera termográfica (FLIR T450sc), configurada com emitância de 0,95 e posicionada a 1 metro do objeto. As medições ocorreram às 14h30, após exposição solar das amostras desde às 10h.

Variáveis ambientais, como temperatura e umidade do ar, além da velocidade do vento, foram registradas para caracterizar as condições de exposição. A temperatura e a umidade foram medidas com o termo-higrômetro (Testo 435), enquanto a velocidade do vento foi aferida com o anemômetro (Airflow LCA 6000). Os instrumentos utilizados estão ilustrados na Figura 4.

Figura 4: Instrumentos para medir variáveis ambientais.



Fonte: Autores (2024).

A radiação solar foi registrada utilizando um piranômetro modelo CMP21 (Kipp & Zonen). A irradiância solar (E), em W/m², foi calculada a partir da saída elétrica (S) em mV, convertida para µV (multiplicando por 1000), e dividida pela sensibilidade específica do instrumento, de 11.31 µV/W/m².

3.7 Incertezas

Para a refletância solar, adotou-se a incerteza total de ±0.020 (absoluto), conforme a norma ASTM E903-20 (ASTM, 2020). Para a emitância térmica, as incertezas tipo A (ua), B (ub) e combinada (U) (BIPM, 2010) foram calculadas, mas ficaram abaixo do limite da norma ASTM C1371-15 (ASTM, 2022). Assim, utilizou-se também o valor absoluto de ±0.020.

4. Resultados

Os resultados das medições de emitância térmica, refletância solar, Índice de Refletância Solar (SRI) e temperatura são apresentados a seguir.

4.1 Emitância Térmica

A emitância em cada ponto foi calculada pela equação obtida na calibração (*y = 1,1026x - 1,1088*, onde *y* é a emitância térmica e *x* é a tensão medida em mV). Os valores finais foram obtidos como a média simples das medições nos cinco pontos de cada amostra. Na Tabela 2 podem ser observados os valores médios da emitância térmica (ε) para cada amostra.

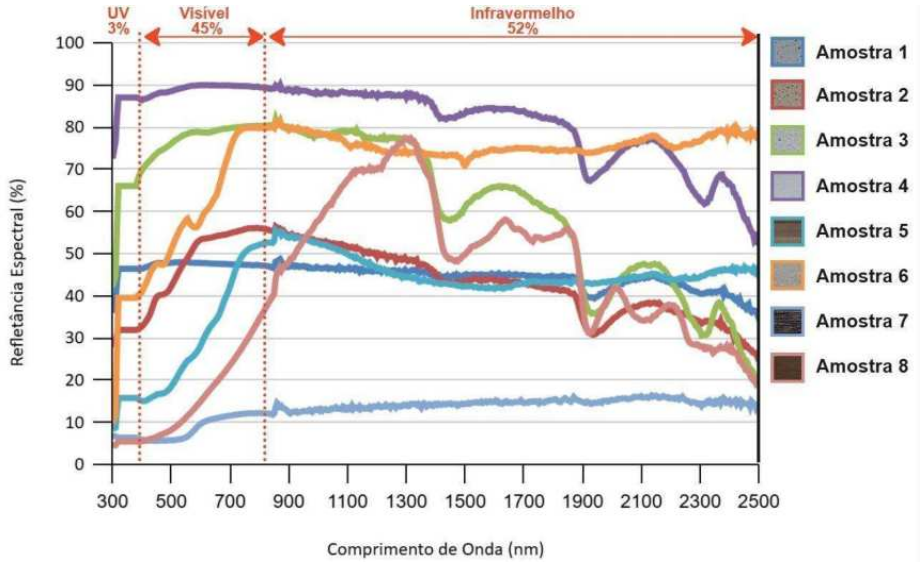
4.2 Refletância Solar

O Gráfico 1 apresenta as curvas espectrais de refletância das amostras, representando a energia refletida em diferentes comprimentos de onda. Amostras de tonalidades claras, como cimentícias atérmicas (1, 2, 3 e 4) e porcelanato esmaltado (6), exibiram maior refletância nas regiões visível (380-780 nm) e infravermelho (780-2500 nm), mostrando eficiência em reduzir a absorção de calor e sendo indicadas para áreas externas expostas ao sol, como pisos ao redor de piscinas. Esses materiais atendem aos critérios de redução de ilhas de calor da certificação LEED (USGBC, 2019), que exige refletância solar mínima de 0,33.

Em contraste, amostras de tonalidades escuras, como cimentício esmaltado (7) e madeira (8), apresentaram menores valores de refletância, refletindo maior absorção de energia solar, característica de superfícies escuras que aquecem mais rapidamente sob o sol. De acordo com os critérios LEED, as amostras 7 e 8 não cumprem o requisito de refletância solar mínima de 0,33. A amostra 5, de porcelanato esmaltado, apresentou comportamento singular devido à variação de coloração e níveis em sua superfície (ver Figura 1), exigindo duas medições distintas, sendo a

curva média apresentada no Gráfico 1. A variação de coloração reforça a influência de tonalidade e uniformidade nos resultados de refletância espectral.

Gráfico 1: Refletância espectral das amostras avaliadas.



Fonte: Autores (2024).

De forma geral, materiais claros, especialmente os “atérmicos”, são mais eficazes para reduzir o aquecimento superficial e melhorar o conforto térmico externo. Já materiais escuros são mais adequados para contextos onde as propriedades térmicas não sejam prioritárias ou sem exposição direta ao sol. Os valores de refletância solar (ρ) total das amostras, obtidos pela integral da curva espectral ajustada ao espectro solar padrão (ASTM E903-20, 2020), estão apresentados na Tabela 2.

4.3 Índice de Refletância Solar (SRI)

O SRI foi calculado a partir dos resultados de refletância solar e emitância térmica apresentados na Tabela 2. O Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção (h) é indicado pela norma técnica ASTM E1980-11 (ASTM, 2019) para três valores distintos: 5, 12 e 30 W/m²K, representando baixa, média e alta velocidade do ar, respectivamente.

A amostra 4 destacou-se com um SRI superior a 100, classificando-a como um material frio. Em contrapartida, a amostra 7 apresentou os menores valores de SRI, variando de 8.1 a 8.4, evidenciando baixa refletância e alta emitância térmica.

Tabela 2: Valores das propriedades avaliadas: refletância solar, emitância térmica e índice de refletância solar (SRI).

					Índice de Refletância Solar (SRI)		
Nº	Amostra	Refletância solar (ρ)	Absortância solar (α)	Emitância térmica (ε)	hc = 5 W/m²K	hc = 12 W/m²K	hc = 30 W/m²K
1		0.469	0.531	0.890	53.4	54.0	54.5
2		0.484	0.516	0.896	55.8	56.2	56.6
3		0.753	0.247	0.909	92.9	93.0	93.1
4		0.879	0.121	0.874	110.1	110.2	110.4
5		0.369	0.631	0.855	37.9	39.3	40.5
6		0.662	0.338	0.839	77.9	78.9	79.7
7		0.105	0.895	0.919	8.1	8.3	8.4
8		0.310	0.690	0.849	29.5	31.2	32.6

Obs.: Incerteza absoluta estimada para os resultados da refletância solar e emitância térmica: ± 0.020.

Fonte: Autores (2024).

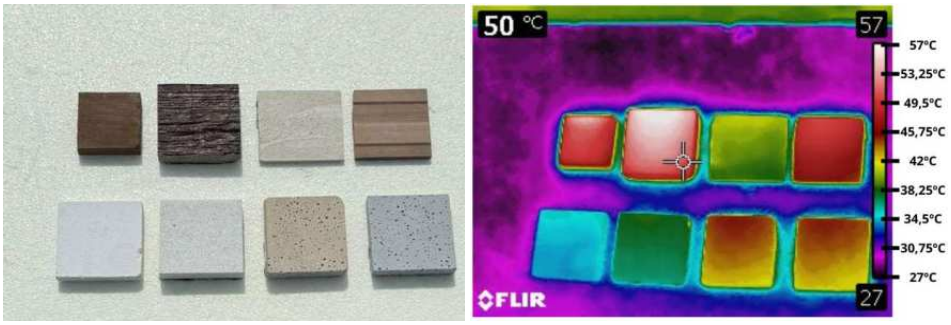
4.4 Comportamento térmico

A análise térmica com câmera termográfica foi utilizada para avaliar o comportamento térmico das superfícies, identificando variações de temperatura que refletem as propriedades térmicas dos materiais. Por meio da termografia infravermelha, foi possível medir a radiação térmica emitida, gerando imagens térmicas.

O ensaio aconteceu no dia 26 de novembro de 2024 às 14h30, sob condições de céu com algumas nuvens, irradiância solar (E) variando entre 641W/m² a 726W/m², temperatura média do ar 29°C, umidade relativa 64% e velocidade média do ar de 1.91m/s.

A Figura 5 apresenta a distribuição de temperaturas na superfície dos materiais analisados, variando entre cerca de 35°C e 54°C. Áreas mais quentes (vermelho e branco) indicam alta absorção de calor, enquanto regiões mais frias (azul e verde) demonstram menor absorção.

Figura 5: Imagem visível (à esquerda) e infravermelha (à direita) dos materiais analisados.



Fonte: Autores (2024).

5. Conclusões

Revestimentos externos expostos à radiação solar elevam a temperatura da superfície e do ambiente, especialmente em áreas como piscinas, podendo causar desconforto térmico.

Em relação aos valores observados, a emitância térmica apresentou baixa variação entre os diferentes materiais (entre 0.85 a 0.92). O piso cimentício branco obteve o melhor resultado de refletância solar (0.879) e SRI (110.4), podendo ser considerado um piso frio (Santamouris, Synnefa, Karlessi, 2011). A variação de temperatura observada entre os materiais foi de cerca de 19°C em um teste de exposição à radiação solar em campo.

Os resultados indicaram que a variação dos materiais de substrato (cimentícios, porcelanatos e madeira) não foi determinante para as propriedades térmicas e ópticas, mas sim a cor das superfícies, onde o impacto da tonalidade torna-se evidente, especialmente no espectro visível, com a refletância tendendo a aumentar à medida que a tonalidade da superfície é mais clara (Marchini *et al.*, 2024), embora esta condição seja um indicativo não representa com precisão o quanto de fato uma superfície reflete. (Dornelles; Roriz, 2007). Apesar de algumas amostras terem sido especificadas pelos fabricantes como atérmicas, não há comprovação técnica ou dados fornecidos para corroborar essa classificação, o que limita a análise de desempenho real desses materiais.

Além disso, uma limitação deste trabalho foi a ausência de análise da efusividade térmica, que influencia diretamente o conforto ao toque em superfícies em contato com pés descalços (Effting *et al.*, 2007), sendo dependente de fatores como condutividade térmica, densidade e calor específico.

Para trabalhos futuros, recomenda-se realizar medições *in loco* para validar os resultados laboratoriais, monitorar temperaturas sob exposição solar prolongada e incluir a análise da efusividade térmica para uma avaliação mais abrangente.

Referências

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.

_____. **E903-20**: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM International, 2020.

_____. **G173-03**: Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. ASTM International, 2023.

_____. **E1980-11**: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. ASTM International, 2019.

BIPM — BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. **JCGM 100:2008**: GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. BIPM, 2010. Disponível em: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6. Acesso em: 16 dez. 2024.

D&S — DEVICES AND SERVICES COMPANY. **AE1 & RD1**. 2020. Disponível em: https://www.devicesandservices.com/prod03.htm. Acesso em: 16 dez. 2024.

DOULOS, L.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. **Solar Energy**, v. 77, p. 231–249, 2004.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. A ilusão das cores na identificação da absortância solar de superfícies opacas. In: ENCAC, 9., ELACAC, 5., 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 2007.

EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O. E. Evaluation of the thermal comfort of ceramic floor tiles. **Materials Research**, v. 10, n. 3, p. 301–306, set. 2007.

ISO — INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **9060:2018**: Solar energy — Specification and classification of instruments for measuring irradiance. 2018.

JACINTO, L. I.; SILVA, M. E. X.; MARINOSKI, D. L.; FREDEL, M. C.; SCHABBACH, L. M. Determination of Solar Reflectance Index of Ceramic Coatings for Use in Outside Surfaces. **Materials Science Forum**, v. 881, p. 251–256, nov. 2016.

KAPPOU, S.; SOULIOTIS, M.; PAPAEFTHIMIOU, S.; PANARAS, G.; PARAVANTIS, J. A.; MICHALENA, E.; HILLS, J. M.; VOUROS, A. P.; NTYMENOU, A.; MIHALAKAKOU, G. Cool Pavements: State of the Art and New Technologies. **Sustainability**, v. 14, n. 9, art. 5159, abr. 2022.

MARCHINI, F.; FABIANI, C.; LATTERINI, L.; PISELLO, A. L. Optimising surface morphology for enhanced radiative properties in thermal energy-efficient materials. **Materials Today Energy**, v. 45, art. 101660, out. 2024.

PERKINELMER. **LAMBDA 1050+ UV/Vis/NIR Spectrophotometer.** 2021. Disponível em: https://www.perkinelmer.com.br/product/lambda-1050-2d-base-inst-no-sw-l6020055. Acesso em: 05 dez. 2024.

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, dez. 2011.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, V.; LIVADA, I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v. 80, p. 968–981, 2006.

USGBC — U. S. GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED v4.1**: Building Design and Construction. Washington, D.C.: USGBC, 2019. Disponível em: https://www.usgbc.org/leed/v41. Acesso em: 05 dez. 2024.

Agradecimentos

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