REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE FACHADA: ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS E ÓPTICAS

Matheus Mendonça Barbosa (1); Igor Schlichting (2); Matheus Bracht (3); Brenda Loeser (4); Deivis Luis Marinoski (5); Saulo Guths (6)

(1) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, matheusmendonca.b@gmail.com
(2) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, igor1314@live.com
(3) Engenheiro Civil, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, matheus.bracht@gmail.com
(4) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, brenda.costa.loeser@hotmail.com
(5) Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, deivis.marinoski@ufsc.br
(6) Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, saulo.g@ufsc.br

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

RESUMO

Sabe-se que a correta especificação do material de revestimento para fachadas e cobertura de acordo com as características climáticas e urbanas de um empreendimento pode potencializar o desempenho termoenergético e mitigar impactos ambientais, como a redução de emissões de dióxido de carbono e atenuação dos efeitos causadores de ilhas de calor urbano. Com isso em mente, este trabalho tem como objetivo avaliar algumas propriedades térmicas e ópticas de um tipo de revestimentos cerâmicos comumente utilizados em fachadas de edificações. A metodologia da pesquisa consistiu na avaliação de 13 amostras de diferentes tonalidades. Diante disso, foram realizados ensaios em laboratório para as respectivas amostras a fim de mensurar as propriedades de refletância (solar e visível) e absortância (solar e visível), a emitância térmica e o índice de refletância solar (SRI). Os resultados obtidos convergiram com os valores encontrados na literatura. No caso da refletância solar, os resultados variaram entre 0,718 (Branco) e 0,123 (Preto), bem como os valores obtidos de emitância térmica estiveram dentro do intervalo entre 0,80 e 0,90. À vista disso, observou-se a relevância das diferentes tonalidades na resposta superficial frente à radiação incidente, isto é, nas propriedades térmicas e ópticas de superfície das amostras.

Palavras-chave: revestimento cerâmico; fachadas, refletância solar; absortância solar; emitância térmica.

ABSTRACT

It is known that the correct specification of cladding materials for facades and roofs, according to the climate and urban characteristics of a building can enhance the thermal energy performance and mitigate environmental impacts, such as reducing carbon dioxide emissions and mitigating the effects that cause urban heat islands. With this in mind, this study aims to evaluate some thermal and optical properties of a type of ceramic cladding commonly used in building facades. The research methodology consisted of evaluating 13 samples of different shades. Laboratory tests were conducted on the respective samples to measure the reflectance (solar and visible) and absorptance (solar and visible) properties, thermal emittance, and solar reflectance index (SRI). The results obtained were consistent with the values found in the literature. In the case of solar reflectance, the results ranged from 0.718 (White) to 0.123 (Black), and the values obtained for thermal emittance were within the range of 0.80 to 0.90. Therefore, the relevance of different shades in the surface response to incident radiation, i.e., in the thermal and optical surface properties of the samples, was observed.

Keywords: ceramic coating; facades; solar reflectance; solar absorptance; thermal emittance.

1. INTRODUÇÃO

Com o fenômeno do aumento da urbanização ao redor do globo em conjunto com as mudanças climáticas em curso, as ilhas de calor urbano (ICUs) vêm ganhando mais destaque nas pesquisas e nas discussões de políticas públicas (SANTAMOURIS, 2020; FABBRI et al., 2020). As ICUs se caracterizam por apresentar temperaturas do ar e das superfícies mais elevadas que suas contrapartes em áreas mais rurais. Em latitudes tropicais e subtropicais, as ICUs são mais proeminentes durante o dia devido às altas incidências de radiação solar, aumentando o desconforto causado pelo aumento de temperatura e redução de umidade (SCHABBACH et al., 2018). Algumas das formas de atenuar os efeitos das ICUs são: aumento da área verde das cidades; substituição de pavimentos quentes como asfalto ou pisos escuros por materiais mais refletivos; uso de superfícies frias na construção das edificações.

As superfícies frias são caracterizadas como um material refletivo que absorve menos calor, se mantendo mais frio em comparação a um material tradicional. Dessa forma, auxiliando na redução das cargas térmicas de resfriamento e as temperaturas operativas máximas dentro das edificações (ENRÍQUEZ et al., 2017).

Normalmente as pesquisas a respeito de materiais de envoltória para atenuar esse efeito se concentram nos componentes das coberturas. Entretanto, os novos desenhos de projetos arquitetônicos vêm aumentando a importância das fachadas já que aumentaram as suas exposições à radiação solar (IHARA et al., 2015). Em paralelo, a indústria da construção civil nacional vem utilizando massivamente elementos cerâmicos na fachada devido a sua resistência mecânica e química, limpeza, durabilidade e versatilidade decorativa (ENRÍQUEZ et al., 2017).

Entretanto, a indústria nacional de cerâmicas comumente não caracteriza as propriedades térmicas e ópticas dos seus produtos (por exemplo, absortância à radiação solar e emissividade térmica) por uma falta de legislação nacional sobre o assunto (SCHABBACH et al., 2018). Dessa forma, existe dificuldade no acesso de projetistas e usuários de simulação computacional a dados confiáveis para suas análises e tomada de decisão.

De acordo com o trabalho de Hong et al (2022), as propriedades termoenergéticas de superfícies de fachadas são de extrema relevância para o controle do ambiente térmico estudado, sobretudo em edificações verticais, e incentiva que os códigos de construções de cidades incorporem preconizações de características superficiais dos materiais de fachada em diretrizes construtivas. Por outro lado, Paolini et al (2017) estudaram a interferência da degradação superficial dos materiais de fachada na taxa de absortância solar, bem como impactos no comportamento termoenergético de edificações e verificaram aumentos significativos nas taxas de absortância solar e carga térmica total.

Schabbach et al. (2018) apresentaram a caracterização de materiais cerâmicos de cobertura de acordo com sua emitância térmica, refletância solar, entre outras propriedades. Os materiais cerâmicos apresentaram emitância entre 0,79 e 0,84. Enquanto a refletância solar varia seguindo uma correlação com as propriedades de cores dos materiais, entre valores de 0,16 e 0,70, obtendo resultados similares a Caron et al. (2022).

Portanto, a caracterização desses materiais contribui com a correta consideração das alternativas de acabamento da envoltória, favorecendo a aplicação de opções que contribuam com o melhor desempenho termoenergético da edificação.

2. OBJETIVO

Este artigo objetiva caracterizar a refletância e absortância solar, emitância térmica e índice de refletância solar (SRI) de treze amostras de um tipo de revestimento cerâmico de fachada comumente empregado no Brasil.

3. MÉTODO

O método utilizado para elaboração deste trabalho foi ordenado em três etapas principais: medição de propriedades de refletância solar e emitância térmica, determinação do índice de refletância solar (SRI) e análise dos resultados.

3.1. Descrição das amostras

As amostras analisadas foram 13 cores distintas de um tipo de revestimento cerâmico, conforme o Quadro 1. Estes revestimentos cerâmicos de fachadas são provenientes de três diferentes fornecedores de bastante relevância em todo o território brasileiro.

Quadro 1 - Amostras estudadas com respectivas tonalidades.

Amostra Nº	Nome adotado	Tonalidade
01	Branco	
02	Creme	
03	Laranja	
04	Verde Claro	
05	Verde Escuro	
06	Preto	
07	Cinza Escuro	

Amostra Nº	Nome adotado	Tonalidade
08	Cinza Claro	
09	Branco Gelo	
10	Ciano	
11	Lilás	
12	Verde Bebê	
13	Verde Musgo	

3.2. Ensaio de emitância térmica

Um dos equipamentos indicados para medição da emitância de acordo com as recomendações da ASTM C1371 (ASTM, 2015) é o Emissômetro AE1 D&S (Figura 1). O equipamento é de fácil operação e apenas necessita que o detector seja aquecido. Como dado de saída, fornece uma tensão com relação aproximadamente linear com a emitância. Neste ensaio são utilizados dois padrões de calibração, com alta ($\varepsilon = 0{,}88$) e baixa ($\varepsilon = 0{,}06$) emitância (D&S, 2020).

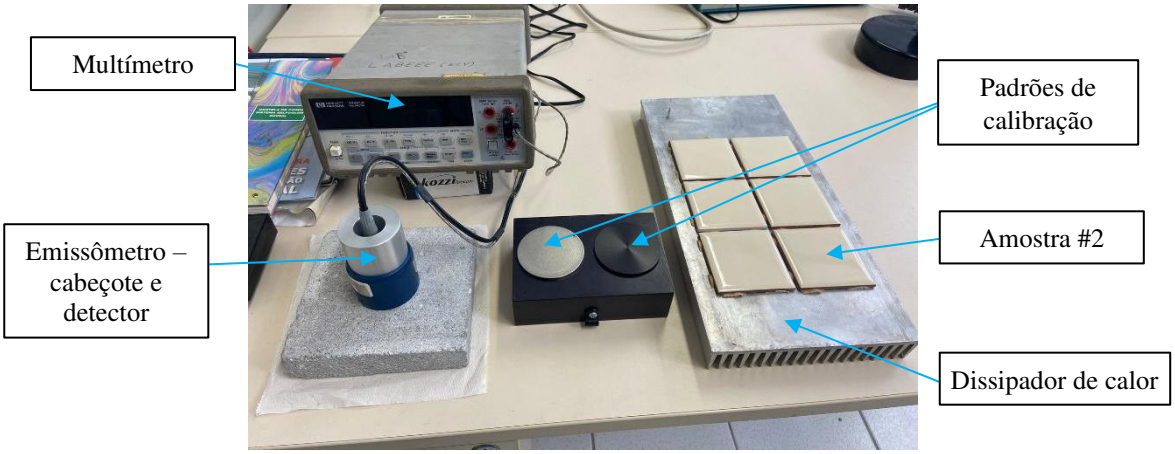


Figura 1 – Emissômetro.

O ensaio de emitância térmica inicia com o aquecimento do detector durante o tempo de aproximadamente 45 minutos. Após a estabilização, realizou-se a calibração do detector utilizando os padrões de alta e baixa emissividade, citados anteriormente. A calibração consiste em 03 medições de 90 segundos em cada um dos padrões de maneira alternada, o procedimento é repetido no após a medição de todas as amostras. O mesmo procedimento foi realizado duas vezes, em dias diferentes, no primeiro dia realizou-se a coleta das amostras 01 a 06 e no segundo dia 07 a 13, sendo assim uma equação de calibração diferente foi gerada para cada dia.

3.3. Ensaio de refletância solar

Para o ensaio da refletância, conforme a ASTM E903 (ASTM, 2012), usou-se o Espectrofotômetro Lambda 1050 PerkinElmer (Figura 2). Composto por lâmpadas de tungstênio-halogênio e de deutério, possui limites operacionais de comprimento de onda entre 175 e 3300 nm. O equipamento é capaz de avaliar uma ampla gama de amostras, incluindo materiais opacos e transparentes (PERKINELMER, 2021).

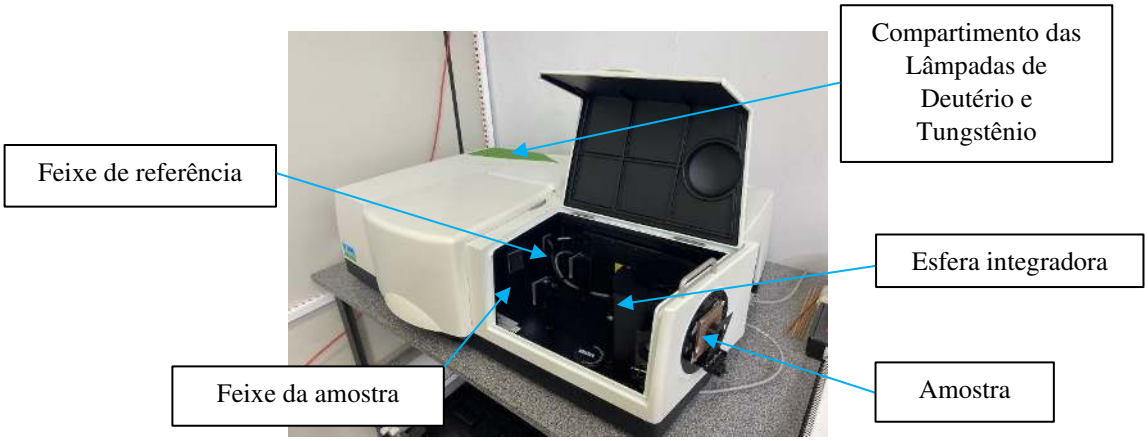


Figura 2 – Espectrofotômetro.

As amostras foram medidas com refletância espectral determinada na faixa do comprimento de onda de 300nm a 2500nm por intermédio do espectrofotômetro PerkinElmer Lambda 1050 equipado por uma esfera integradora de 150mm e que possui resolução espectral de 5nm. Cada amostra possui dimensões de 7,5cm x 7,5cm, sendo medida no respectivo centro geométrico.

Anteriormente ao ensaio de medição de refletância espectral, iniciou-se o procedimento de calibração do espectrofotômetro. Para esse procedimento, utilizou-se a superfície padrão composta do mesmo material da esfera (Figura 3). As amostras utilizadas neste ensaio estão esquematizadas na Figura 4. Após a calibração, por se tratar de um material opaco, colocou-se a amostra no compartimento de fundo da esfera (Figura 5). Assim, realizou-se a detecção percentual de energia por comprimento de onda de cada amostra.

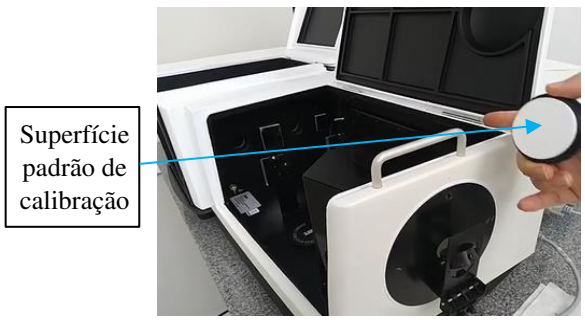


Figura 3 – Espectrofotômetro, visão externa e material padrão.

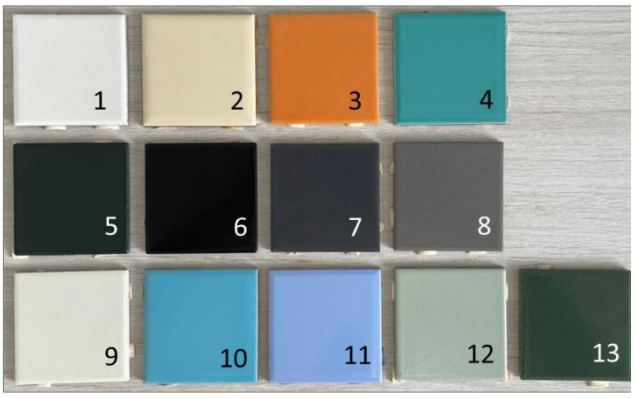


Figura 4 – Amostras utilizadas no experimento.



Figura 5 – Instalação demonstrativa de uma amostra de material opaco no espectrofotômetro.

O espectro solar padrão, definido pela ASTM G173 (ASTM, 2008), compreende três intervalos, dentre os quais destacam-se a região ultravioleta (300nm a 380nm), espectro visível (380nm a 780nm) e infravermelho (780nm a 2500nm), conforme representado pela Figura 6.

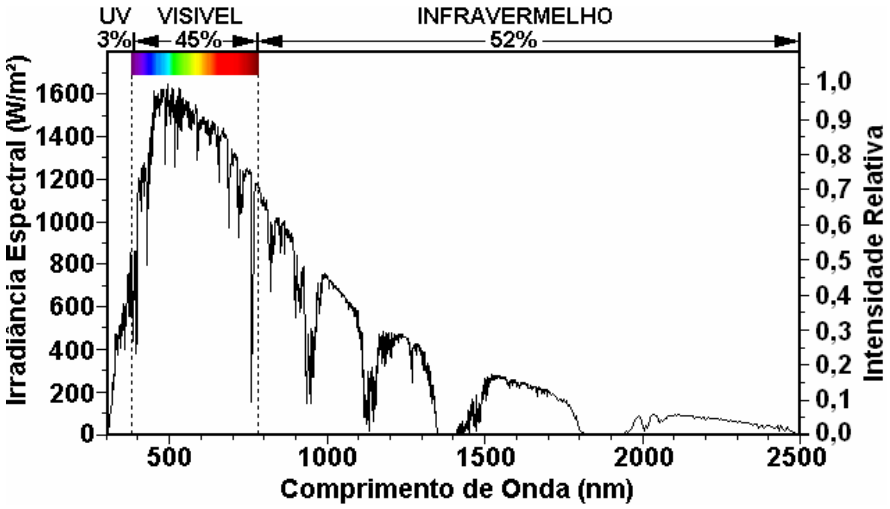


Figura 6 – Espectro solar padrão (DORNELLES; MAURÍCIO, 2007).

3.4. Incertezas

Como incerteza no resultado da medição da refletância, foi considerado o valor indicado na norma ASTM E903 (ASTM, 2012), que prevê incerteza total 0,02 (absoluto). Na avaliação da incerteza associada ao resultado da emitância térmica foi aplicado a análise da incerteza Tipo A, Tipo B e combinada. Para o cálculo da incerteza padrão do Tipo A (Equação 1), utilizou-se o desvio padrão amostral. Assim, o cálculo das incertezas padrão e expandida do Tipo A utilizaram as seguintes equações, respectivamente:

$$u_{tipo\ A} = \sigma = \frac{\sqrt{\sum_1^n (Xi - Xm)^2}}{n-1} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde,
u: incerteza padrão;
σ: desvio padrão amostral, para cada caso;
Xm: média aritmética n: número de medições, nesse caso n = 3;
k: fator de Student para v = n -1 ∴ v = 2, nesse caso k = 4,53.

Para o cálculo da incerteza padrão Tipo B, considerou-se os seguintes parâmetros (Tabela 1). A partir dessas adoções, encontrou-se a incerteza padrão do Tipo B de cada parâmetro fazendo a divisão das incertezas expandidas (U) pelo fator de abrangência (k) e posteriormente combinou-as, pois estas tiveram diferentes origens.

Tabela 1 – Considerações sobre a incerteza Tipo B

k	U(mV)	U(coeficientes)	U(a)	U(b)
2	0,004	0,5%	0,0053	0,0050

X (mV)	u(X)	A	u (A)	B	u (B)
1.720	0,002	1.0647	0.0027	1.0065	0.0025

A combinação das incertezas tipo B se deu pela derivada parcial dos termos em relação a Função 1, conforme ilustrado na Equação 2, a seguir.

$$u_{comb,TipoB} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x1}\, u(x1)\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x2}\, u(x2)\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x3}\, u(x3)\right)^2 + \cdots} \qquad \text{Equação 2}$$

Para o cálculo da incerteza combinada Tipo A e Tipo B, utilizou-se a Equação 3. Já a incerteza expandida (U) foi obtida multiplicando o fator de abrangência (k) pelo resultado da incerteza combinada, o fator k utilizado foi o coeficiente de Student (kA = 4,53) por ser superior ao k do tipo B, que seria kB = 2.

$$u_c = \sqrt{u_{tipo\ A}{}^2 + u_{tipo\ B}{}^2} \qquad \text{Equação 3}$$

3.5. Índice de Refletância Solar

O índice de refletância solar (SRI) é uma metodologia adotada a fim de quantificar as propriedades de um material frio e representa a capacidade de uma superfície refletir à radiação solar e dissipar calor. O SRI é calculado em função da refletância solar e emitância térmica no infravermelho, conforme recomendações da ASTM E1980 (ASTM, 2011). O SRI é bastante relacionado à materiais de coberturas e, quando igual a zero, simboliza um telhado preto limpo (com refletância solar de 0,05 e emitância térmica de 0,90) e 100 para um telhado branco considerando refletância solar de 0,80 e emitância térmica de 0,90. Deste modo, o índice SRI é um importante indicador para verificação de materiais com potencial de mitigação de efeitos causadores de ilhas de calor urbano.

4. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados encontrados para os valores da emitância térmica e refletância/absortância de cada amostra, bem como o cálculo de determinação do SRI.

4.1. Emitância Térmica

A partir dos dados obtidos nos ensaios, pode-se calcular os valores da emitância térmica (ε) para cada um dos três pontos. A emitância (representada pela variável dependente *y*) foi calculada a partir da Equação 4, para as amostras da primeira análise (01 a 06), e da Equação 5, para as amostras da segunda análise (07 a 13) no qual x é o valor da tensão [mV] medida no respectivo ponto. Assim, consegue-se correlacionar o valor da tensão medido em um resultado de emitância.

$$y = 1{,}0647x - 1{,}0065 \qquad \text{Equação 4}$$

$$y = 1{,}04867x - 1{,}0477 \qquad \text{Equação 5}$$

O resultado da emitância para as cerâmicas refere-se, portanto, a média aritmética das emitâncias das 03 leituras feitas para cada uma das 13 amostras, totalizando 39 leituras. O quadro 3 apresentou os referidos valores. Nesse ensaio, foi necessário calcular a incerteza do resultado cujo método seguiu as observações realizadas no item 3.4.

Quadro 3 - Emitância térmica obtidas das amostras avaliadas

Amostra Nº	Nome adotado	Tonalidade	Emitância Térmica
01	Branco		0,825 ± 0,039
02	Creme		0,837 ± 0,034
03	Laranja		0,840 ± 0,041
04	Verde Claro		0,839 ± 0,031
05	Verde Escuro		0,832 ± 0,027
06	Preto		0,818 ± 0,029
07	Cinza Escuro		0,796 ± 0,027

Amostra Nº	Nome adotado	Tonalidade	Emitância Térmica
08	Cinza Claro		0,813 ± 0,031
09	Branco Gelo		0,825 ± 0,028
10	Ciano		0,818 ± 0,052
11	Lilás		0,813 ± 0,037
12	Verde Bebê		0,823 ± 0,028
13	Verde Musgo		0,815 ± 0,050

4.2. Refletância Solar

O Gráfico 1 e Gráfico 2 representam o comportamento da curva de refletância espectral em função do comprimento de onda [nm] das amostras ensaiadas. A partir da integral da curva de refletância espectral para cada comprimento de onda, ajustado ao espectro solar padrão, obtém-se a refletância solar. Essa curva

representa a quantidade de energia que é refletida por um material em diferentes comprimentos de onda da luz solar, e é importante para entender a capacidade de materiais em absorver e refletir calor.

As amostras de cores claras, indicadas pelo Gráfico 1, apresentaram maiores diferenças na curva de refletância espectral na região do espectro visível (entre 380nm e 780nm). Também se nota diferenças na região do infravermelho, porém com menores magnitudes em relação à parte visível do espectro. Por outro lado, as amostras de cores escuras, cujas curvas de refletância espectral estão representadas no Gráfico 2, apresentaram menores oscilações e magnitudes na região que corresponde à luz visível, com relação às amostras de colorações claras, sendo, portanto, verificado maiores variações na região do infravermelho.

Gráfico 1 – Refletância espectral das amostras (cores claras)

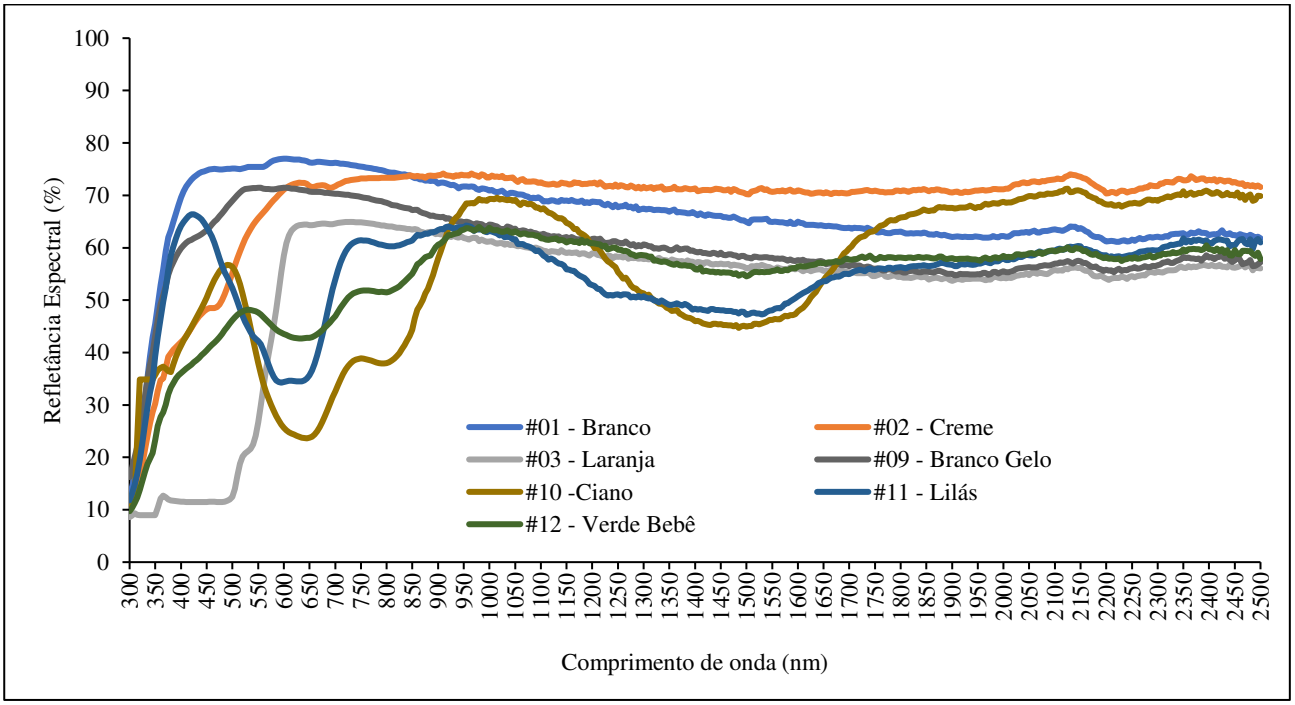
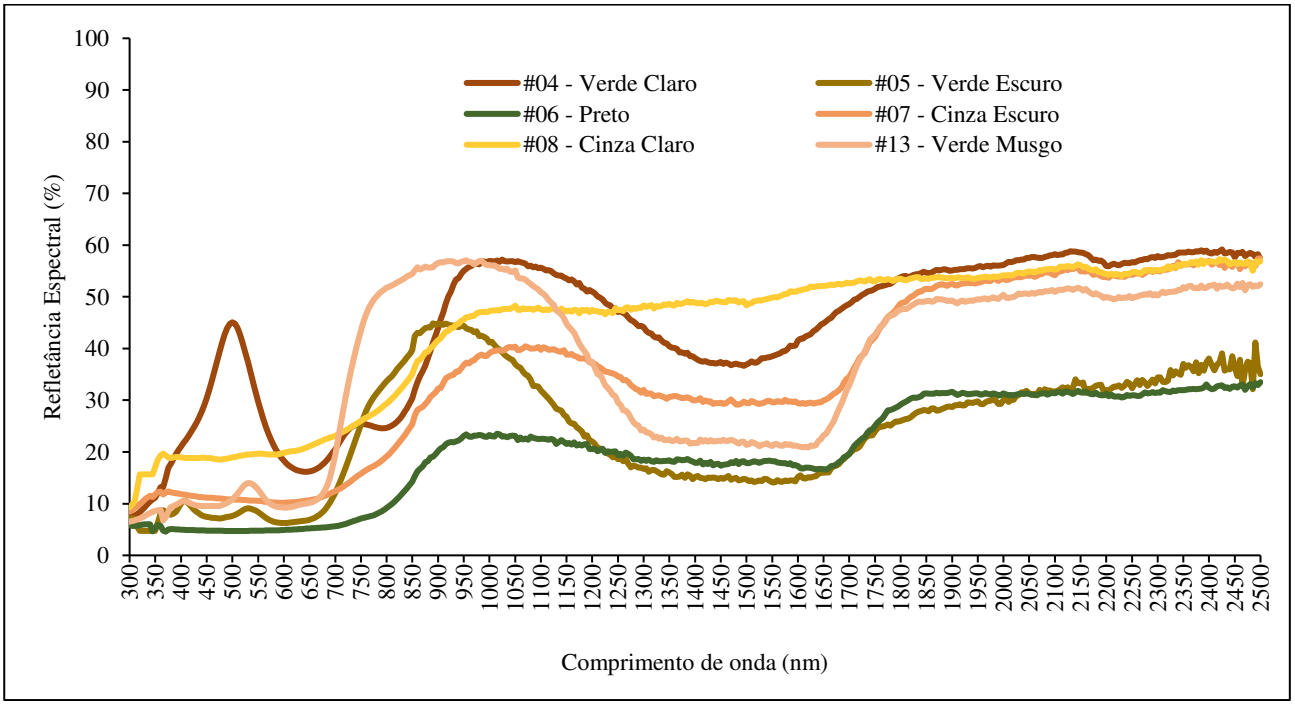


Gráfico 2 – Refletância espectral das amostras (cores escuras)



Essas características superficiais podem ter implicações importantes no comportamento térmico de uma edificação, especialmente no ganho ou perda de calor através da radiação solar. Isto posto, a consideração da cor das superfícies exteriores tem potencial de impacto na eficiência energética de edifícios, bem como atenuação do impacto ambiental relativo, sobretudo, à atenuação dos efeitos causadores de ilhas de calor urbano. A refletância e absortância são fenômenos adimensionais de superfície e, por se tratar de materiais opacos, a soma destes deve ser igual a 1 (um), sendo assim, um pode ser determinado a partir do outro. Dessa forma, os resultados de absortância e refletância no espectro solar e visível estão sintetizados no quadro 4.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2021) trata da avaliação dos sistemas de vedações verticais internas e externas. No requisito de desempenho térmico, é estabelecido um método de avaliação simplificado para atender ao nível mínimo de desempenho. Esse método inclui o critério de avaliação de paredes externas, que se baseia na designação dos limites máximos de transmitância térmica. Para as zonas bioclimáticas 1 e 2, a transmitância máxima das paredes externas é de 2,7 W/m².K. Para as zonas bioclimáticas 3 a 8, o valor máximo admissível de transmitância térmica é definido em função da absortância solar das paredes. Se a absortância solar for menor ou igual a 0,6, o valor máximo de transmitância é de 3,7 W/m².K. Se a absortância solar for maior que 0,6, o máximo admissível de transmitância térmica é de 2,5 W/m².K. Portanto, a partir dos resultados obtidos de refletância e absortância solar e, aplicando-os nas zonas bioclimáticas 3 a 8, pode-se afirmar que as amostras 01 a 03 e 09 a 12 possibilitam o uso de paredes externas com transmitância 3,7 W/m².K e as amostras 04 a 08 e 13 tornam possível o uso de paredes com transmitância térmica de 2,5 W/m².K. Isto implica dizer que o uso de superfícies com menor taxa de absorção da radiação solar viabiliza a utilização de paredes com menor isolamento térmico, ao passo que maiores absortâncias exigem paredes externas com maior isolamento térmico.

Quadro 4 – Refletância e absortância solar e visível obtidas das amostras avaliadas

Amostra Nº	**Nome adotado**	**Tonalidade**	**Refletância Solar**	**Absortância solar**	**Refletância visível**	**Absortância visível**
01	Branco		0,718	0,282	0,758	0,242
02	Creme		0,660	0,340	0,652	0,348
03	Laranja		0,473	0,527	0,346	0,654
04	Verde Claro		0,340	0,660	0,289	0,711
05	Verde Escuro		0,192	0,808	0,076	0,924
06	Preto		0,123	0,877	0,053	0,947
07	Cinza Escuro		0,212	0,788	0,105	0,895
08	Cinza Claro		0,309	0,691	0,196	0,804
09	Branco Gelo		0,653	0,347	0,708	0,292
10	Ciano		0,463	0,537	0,379	0,621
11	Lilás		0,530	0,470	0,416	0,584
12	Verde Bebê		0,500	0,500	0,459	0,541
13	Verde musgo		0,280	0,720	0,113	0,887

4.3. Índice de Refletância Solar

A partir dos resultados de absortância solar e emitância térmica, calculou-se o valor do SRI para valores de coeficientes convectivos de 5, 12 e 30 W/m².K. Os resultados para os índices estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Determinação do índice de refletância solar (SRI)

Amostra Nº	Nome adotado	Tonalidade	Refletância solar	Absortância solar	Emitância térmica	Índice de refletância solar (SRI)		
						hc = 5	hc = 12	hc = 30
01	Branco		0,718	0,282	0,820	85,4	86,4	87,2
02	Creme		0,660	0,340	0,840	77,7	78,6	79,4
03	Laranja		0,473	0,527	0,840	51,3	52,7	54,0
04	Verde Claro		0,340	0,660	0,840	33,0	34,8	36,3
05	Verde Escuro		0,192	0,808	0,830	12,3	14,7	16,8
06	Preto		0,123	0,877	0,820	1,0	3,9	6,5
07	Cinza Escuro		0,212	0,788	0,796	12,2	15,5	18,4
08	Cinza Claro		0,309	0,691	0,813	26,8	29,3	31,5
09	Branco Gelo		0,653	0,347	0,825	76,1	77,2	78,2
10	Ciano		0,463	0,537	0,818	48,6	50,5	52,1
11	Lilás		0,530	0,470	0,813	58,0	59,7	61,2
12	Verde Bebê		0,500	0,500	0,823	54,2	55,8	57,3
13	Verde musgo		0,280	0,720	0,815	23,0	25,5	27,8

5. CONCLUSÕES

Os revestimentos cerâmicos, quando empregados em fachadas e coberturas, exercem funções importantes acerca da transferência de calor. Deste modo, o conhecimento de suas respectivas propriedades térmicas e ópticas é fundamental para estabelecer diretrizes construtivas mais eficientes.

Os resultados obtidos de emitância térmica das amostras convergiram e se enquadram nos intervalos encontrados na literatura, entre 0,8 e 0,9, enquanto foi notória a diferença das taxas de refletância e absortância solar entre as amostras de cores claras e escuras. A correta especificação do material, segundo as características climáticas e urbanas de um empreendimento, tem a competência de potencializar o desempenho termoenergético, bem como realizar mitigação de impactos ambientais, isto é, atenuação nas emissões de dióxido de carbono e redução dos efeitos causadores de ilhas de calor urbano.

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se avaliar o impacto desses diferentes materiais no desempenho temo-energético de edificações. Outra possibilidade é avaliar o impacto da exposição às intempéries e seu impacto nos parâmetros levantados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.575-4: Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVE. Rio de Janeiro, 2021.

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, 2015.

_____. E1980-11: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. ASTM International, 2011.

_____. E903–12: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM International, 2012.

_____. G173–03 (Reapproved 2008): Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. ASTM International, 2008.

CARON, S. HERDING, L. BINYAMIN, Y. BAIDOSSI, M. VINETSKY, Y. MORALES, A. HILDEBRANDTF, C. REOYO-PRATS, R. FAUGEROUX, O. AGÜERO, A. RODRIGUEZ, S. SUTTER, F. ROGER, M. MANZANO-AGUGLIARO, F (2022). Laboratory intercomparison of solar absorptance and thermal emittance measurements at room temperature. Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 238, 111579, https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111579.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Métodos alternativos para identificar a absortância solar de superfícies opacas. Ambiente Construído. v. 7, n. 3, p. 109–127. 2007.

D&S. DEVICES AND SERVICES COMPANY. AE1 & RD1. 2020. Disponível em: https://www.devicesandservices.com/prod03.htm. Acesso em: 02 dez. 2022.

ENRÍQUEZ, E., FUERTES, V., CABRERA, M. J., SEORES, J., MUÑOZ, D., & FERNÁNDEZ, J. F. (2017). New strategy to mitigate urban heat island effect: Energy saving by combining high albedo and low thermal diffusivity in glass ceramic materials. Solar Energy, 149, 114–124. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.011

FABBRI K., GASPARI J., BARTOLETTI S., ANTONINI E. (2020). Effect of facade reflectance on outdoor microclimate: An Italian case study. Sustainable Cities and Society, 54, 101984. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101984.

HONG, C., YANG, Y., GE, SHUWEI., CHAI, G., ZHAO, P., SHUI, Q., GU, Z. Is the design guidance of color and material for urban buildings a good choice in terms of thermal performance? Sustainable Cities and Society, Volume 83, 2022, 103927, ISSN 2210-6707, https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103927.

IHARA, T., GUSTAVSEN, A., JELLE, B.P., (2015). Effect of facade components on energy efficiency in office buildings. Appl. Energy 158, 422–432. http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.074.

PAOLINI, R., ZANI, A., POLI, T., ANTRETTER, F., ZINZI, M. Natural aging of cool walls: Impact on solar reflectance, sensitivity to thermal shocks and building energy needs. Energy and Buildings. Volume 153, 2017, Pages 287-296, ISSN 0378-7788, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.017.

PERKINELMER (2021). LAMBDA 1050+ UV/Vis/NIR Spectrophotometer. Disponível em: https://www.perkinelmer.com.br/product/lambda-1050-2d-base-inst-no-sw-l6020055. Acesso em: 03 dez. 2022.

SANTAMOURIS, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. In Energy and Buildings (Vol. 207). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482.

SCHABBACH, L. M., MARINOSKI, D. L., GÜTHS, S., BERNARDIN, A. M., & FREDEL, M. C. (2018). Pigmented glazed ceramic roof tiles in Brazil: Thermal and optical properties related to solar reflectance index. Solar Energy, 159, 113–124. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.076.

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.