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.v21i1.8258

Análise das propriedades térmicas e ópticas de materiais compósitos de alumínio pintado

Thermal and optical properties analysis of painted aluminum composite materials

Henrique Pereira
UFSC | Florianópolis | Brasil | henrique.pereira@esucri.com.br
Natan Benincá Perito
UFSC | Florianópolis | Brasil | natan.lauddusengenharia@gmail.com
Augusto Romero Monteiro
UFSC| Florianópolis | Brasil | augusto.monteiro@ufsc.br
Deivis Luis Marinoski
UFSC|Florianópolis | Brasil | deivis.marinoski@ufsc.br

Resumo

O ACM, material compósito de alumínio, tem se mostrado como material versátil na utilização de fachadas. O objetivo deste estudo foi obter os valores de refletância solar e emitância térmica de amostras de ACM de diferentes cores, bem como avaliar as variações térmicas em suas superfícies quando expostas a condições ambientais externas. Amostras de ACM de oito cores diferentes foram avaliadas. Os resultados mostram que as variações verificadas estão associadas às cores e possivelmente sendo influenciadas pela composição da tinta aplicada na superfície dos materiais, afetando não apenas a refletância solar, com variação entre 0,087 e 0,711, mas também a emitância, com valores de 0,660 a 0,828. A variação de temperatura das cores com tonalidades nos extremos ficou em 19,2°C e comportamento como esperado para cores claras e escuras.

Palavras-chave: Material Compósito de Alumínio (ACM). Refletância Solar. Emitância Térmica. Variação de Temperatura.

Abstract

The ACM, aluminum composite material, has proven to be a versatile material for use in facades. The objective of this study was to obtain the solar reflectance and thermal emittance values of ACM samples with different cores, as well as to evaluate the thermal variations on their surfaces when exposed to external environmental conditions. ACM samples with eight different cores were evaluated. The results show that the variations observed are associated with the cores and are possibly influenced by the composition of the paint applied to the surface of the materials, affecting not only the solar reflectance, with a variation between 0.087 and 0.711, but also the emittance, with values from 0.660 to 0.828. The temperature variation of the colors with extreme shades was 19.2°C, behaving as expected for light and dark colors.

Keywords: Aluminum Composite Material (ACM), Solar Reflectance. Thermal Emittance. Temperature Variation.

Como citar:

PEREIRA, H., PERITO, N.B., MONTEIRO, A.R., MARINOSKI, D.L. Análise das propriedades térmicas e ópticas de materiais compósitos de alumínio pintado. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8258

INTRODUÇÃO

A fachada de uma edificação, assume um papel primordial no controle de trocas térmicas entre o ambiente interno e externo. Estruturas como edifícios, estradas e outras infraestruturas absorvem e reemitem mais o calor do sol que paisagens naturais, como florestas e corpos d'água [1]. Nesse contexto, a seleção adequada dos materiais construtivos é fundamental para o desempenho térmico das edificações, contribuindo para a redução no consumo de energia. Em particular, o setor de edificações no ano 2022 foi responsável em torno de 34% da demanda final de energia a nível mundial, incluindo o uso operativo e a energia utilizada para a produção de materiais de construção [2].

O ACM (em inglês, Aluminum Composite Material), material compósito de alumínio, é utilizado como revestimento em sistema de fachada ventilada com capacidade de proporcionar características arquitetônicas complexas, impermeabilização e oferece valor de certificação LEED como um material sustentável [3]. Entre as vantagens que a fachada ventilada oferece, destacam-se a redução na variação térmica da estrutura (o que ajuda a poupar energia com refrigeração) e o aumento da vida útil da edificação [4].

O ACM destaca-se mundialmente como um dos revestimentos de fachada mais adotados devido à sua versatilidade, estética e elevada segurança, especialmente nas versões FR (Fire Retardant) classificadas segundo a EN 13501-1 [5].

Em zonas climáticas subtropicais úmidas, os sistemas de fachadas ventiladas podem contribuir para a redução do ganho de calor no interior das edificações. Esse desempenho pode ser potencializado na combinação com revestimento de cores claras, promove melhoria no conforto térmico através da redução da temperatura interna da edificação sem recorrer a sistemas mecânicos intensivos reduzindo o consumo energético [6].

A análise do desempenho térmico de sistemas construtivos, como fachadas ventiladas, pode ser realizada por meio de simulações computacionais, que permitem prever o comportamento térmico dos elementos construtivos e dos ambientes internos sob diferentes condições ambientais. Muitos estudos utilizam parâmetros de ambiente, materiais e ambientais para simulações computacionais do conforto térmico em edificações [6][7]. Essas simulações dependem da disponibilidade de banco de dados contendo propriedades dos materiais. No entanto, poucos estudos de caracterização térmica do ACM foram identificados na literatura, dificultando sua utilização como material de referência em simulações computacionais.

Diante deste contexto, o presente estudo tem como objetivo obter valores de refletância solar e emitância térmica de amostras de ACM de diferentes cores, bem como, avaliar as variações térmicas de suas superfícies quando expostas ao ambiente externo.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8258

MÉTODO

Para elaboração deste estudo, iniciou-se com a seleção e descrição das amostras, passando para a realização de medições de três propriedades das amostras (refletância solar, emitância térmicas e temperatura superficial com infravermelho) e posteriormente a análise dos resultados medidos.

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras analisadas referem-se a 8 cores distintas de revestimento de ACM. As amostras destes revestimentos foram obtidas com um fornecedor que executa obras com o material (Tabela 1).

Tabela 1: Características das amostras de ACM

Identificação da amostra	Cor aproximada	Tonalidade
A1	Branco	
A2	Cinza claro	
A3	Verde claro	
A4	Cinza escuro	
A5	Azul	
A6	Vermelho	
A7	Marrom	
A8	Preto	

Fonte: os autores.

AVALIAÇÃO DA EMITÂNCIA TÉRMICA

Para medição da emitância térmica, de acordo com as recomendações da ASTM C1371-15 [6], foi utilizado o Emissômetro Modelo AE1 da D&S [8]. Para os dados de saída, o equipamento foi instalado no multímetro Hewlett Packard, modelo 34401A.

O ensaio de emitância térmica inicia após 30 min de aquecimento do detector. Após a estabilização, realizou-se a medição dos dados de calibração utilizando os dois padrões de emitância conhecida, alta (ε = 0,88) e baixa (ε = 0,06). A calibração consiste em 03 medições de 90 segundos em cada um dos padrões de maneira alternada, o procedimento é repetido após a medição de todas as amostras.

Uma equação de calibração linear foi gerada através dos valores da emitância das amostras de calibração e os valores equivalente em milivolts obtidos como dados de saída das medições.

A incerteza de medição representa a combinação de duas análises realizadas: A incerteza estatística das medições, obtida através da eliminação de valores espúrios e calculadas pelo desvio-padrão das amostras; e a incerteza do equipamento de medição, com informações fornecidas pelo fabricante.

AVALIAÇÃO DA REFLETÂNCIA SOLAR

Para o ensaio da refletância solar foi realizado conforme padrões da norma ASTM E903-20 [9], sendo utilizado um Espectrofotômetro do fabricante PerkinElmer, modelo Lambda 1050, com esfera integradora de 150 mm [10].

Iniciou-se o procedimento de calibração do espectrofotômetro utilizando superfície padronizada. Após a calibração, por se tratar de um material opaco, colocou-se a amostra no compartimento de fundo da esfera, realizando a detecção percentual de energia por comprimento de onda de cada amostra. A refletância espectral foi determinada na faixa de comprimento de onda entre 300 nm e 2500 nm, com leituras em intervalos de 5 nm.

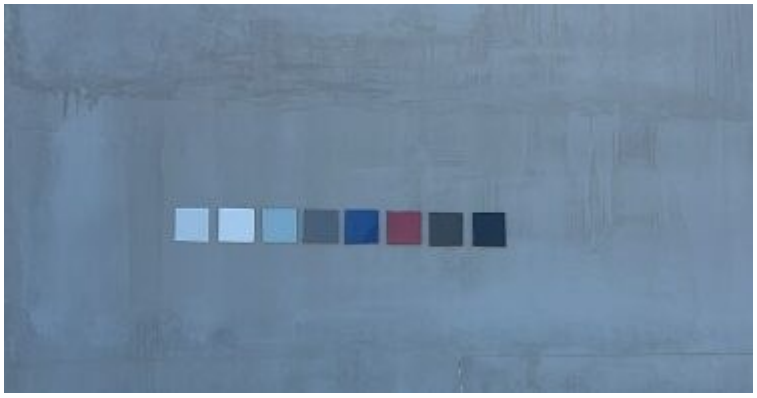
O espectro solar padrão utilizado nos cálculos é definido pela ASTM G173-03 [11], e compreende três intervalos, dentre os quais destacam-se a região ultravioleta (300 nm a 380 nm), espectro visível (380 nm a 780 nm) e infravermelho (780 nm a 2500 nm).

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA SUPERFICIAL COM INFRAVERMELHO

A medição de temperatura superficial por infravermelho foi realizada nas oito peças de ACM, para as cores identificadas neste trabalho, em uma parede na fachada oeste de uma edificação localizada na cidade de Criciúma/SC (Figura 1).

A medição foi realizada com as amostras posicionadas na vertical a uma altura de 1,80 m acima do solo. Para realizar a medição, foi utilizado uma câmera termográfica modelo Flir E8, que opera por detecção da temperatura da superfície analisada. Como parâmetro de entrada do equipamento, a emitância foi informada com um valor médio do material, adotando-se o valor típico de 0,8 para a superfície do ACM. As medições foram executadas mantendo o sensor perpendicular à superfície das amostras. Em cada ponto de interesse foram realizadas três leituras consecutivas, registrando-se a média como valor representativo. Além da medição da temperatura superficial das peças do estudo com cores distintas, foi medido a velocidade, umidade do ar e temperatura do ambiente, para medição foram utilizados o anemômetro digital e o relógio termo-higrômetro.

Figura 1: placas em ACM aplicadas em fachada oeste da edificação



Fonte: os autores.

RESULTADOS

Os resultados das medições de emitância térmica, refletância solar e temperaturas superficiais são apresentados a seguir.

RESULTADOS EMITÂNCIA TÉRMICA

Após realização das leituras em milivolts e aplicado a equação de calibração, foram obtidos quatro resultados de emitância para cada amostras, sendo posteriormente calculado o valor médio. Na Tabela 2 podem ser observados os valores médios da emitância térmica (ε) e das incertezas estimadas de cada amostra.

Tabela 2: Valores médios das emitâncias térmicas e suas incertezas

Amostra	Média	Incerteza
A1 (branco)	0,771	± 0,038
A2 (cinza claro)	0,622	± 0,038
A3 (verde claro)	0,828	± 0,038
A4 (cinza escuro)	0,660	± 0,038
A5 (azul)	0,741	± 0,038
A6 (vermelho)	0,672	± 0,038
A7 (marrom)	0,788	± 0,039
A8 (preto)	0,793	± 0,039

Fonte: os autores.

O esperado para as amostras de diferentes cores seria pouca variação na emitância, entretanto foram observadas diferenças de até 0,206 das amostras entre os extremos com maior e menor emitâncias.

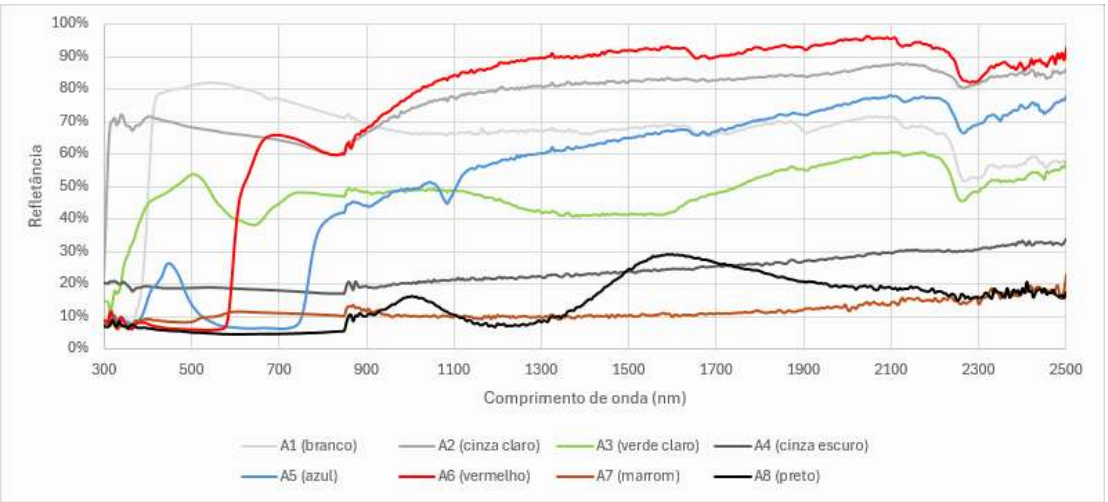
Estas diferenças também foram observadas por [12] ao testar combinações de tintas, quantidade de camadas e substratos, resultando em diferença significativa dos valores de emitância especialmente no substrato de alumínio. Outros autores corroboram com esta variação em seus estudos com a diferença da composição da superfície [13] e variação da espessura da tinta [14].

RESULTADOS REFLETÂNCIA SOLAR

O Gráfico 1 representa o comportamento da curva de refletância espectral em função do comprimento de onda das amostras ensaiadas. As amostras A1, A2, A3, A5 e A6 apresentaram similaridades no comportamento da curva com comprimentos de onda do infravermelho próximo (780 nm a 2.500 nm), este comportamento é diferente das amostras A4, A7 e A8, que são cores mais escuras que apresentam valores de refletância solar menores.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8258

Gráfico 1: Curvas espectrais de refletância das amostras medidas



Fonte: os autores.

A Tabela 5 apresenta as refletâncias solares (ρ) obtidas pela integral da curva espectral ajustada ao espectro solar padrão [10], onde é possível verificar que as amostras de cores claras (A1, A2 e A3), assim como a amostra de cor vermelha (A5) exibiram maior refletância solar, mostrando eficiência em reduzir a absorção de calor e sendo mais indicadas para fachadas externas expostas ao sol em climas quentes. Já as cores mais escuras (A4, A5, A7 e A8) apresentaram menores valores de refletância, tendo maior absorção de energia solar.

Conforme valores das refletâncias solares (Tabela 5) das amostras A1, branco, e A2, cinza claro, foram verificados valores com pouca diferença significativa, estes valores são reflexos do comportamento próximo do gráfico das amostras (Gráfico 1) e a curva da amostra A2 (cinza claro) acima da amostra de branco a partir do comprimento de onda de 900 nm.

Tabela 5: Valores das refletâncias solares

Amostra	Valores	Incerteza*
A1 (branco)	0,711	± 0,02
A2 (cinza claro)	0,699	± 0,02
A3 (verde claro)	0,459	± 0,02
A4 (cinza escuro)	0,200	± 0,02
A5 (azul)	0,295	± 0,02
A6 (vermelho)	0,501	± 0,02
A7 (marrom)	0,102	± 0,02
A8 (preto)	0,087	± 0,02

**Incerteza do método informada pela ASTM E903 [13]*

Fonte: os autores.

Comparando as cores em ACM com as pinturas em pastilhas cerâmicas realizadas em outros estudos [4][15] é possível verificar similaridade nos resultados nas cores das amostras A1, A4, A5 e A8, porém as outras cores possuem valores diferentes de refletância solar, podendo estar associados ao tom, textura [15], composição [12][14] ou camadas de tinta [12][13].

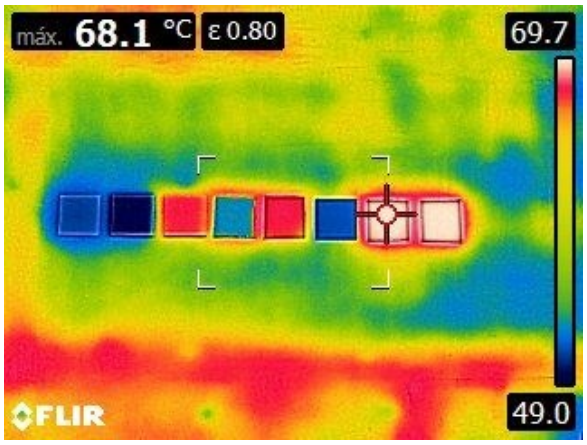
De maneira geral, materiais claros são mais eficazes para refletir a radiação na faixa de comprimento de onda visível, entretanto não necessariamente as cores claras terão maior refletância ao infravermelho [4]. Um exemplo é a amostra A3, de cor verde claro onde se esperava valor superior de refletância solar em relação à cor vermelha (amostra A6), considerando apenas a aparência na superfície no visível.

RESULTADOS DA TEMPERATURA SUPERFICIAL COM INFRAVERMELHO

As medições realizadas *in loco* com câmera termográfica evidenciaram diferenças na temperatura superficial dos painéis de ACM em função da cor aplicada (Figura 2).

O teste foi realizado no dia 12/12/2025 com o céu claro e sem a presença de nuvens. As placas de ACM firam expostas desde as 08 horas do amanhã do mesmo dia, sendo a imagem térmica obtida as 17 horas. As condições ambientais no momento do teste foram as seguintes: temperatura do ar, de 34,6 °C; umidade relativa 28%; velocidade do ar 1,13 m/s.

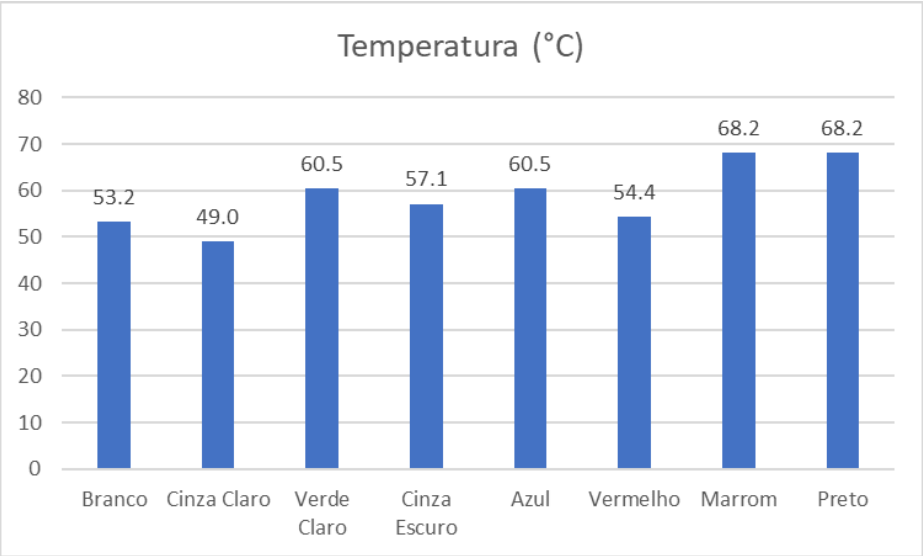
Figura 2: Resultado da medição infravermelho das peças analisadas *in loco*



Fonte: os autores.

Os resultados (Gráfico 3) mostram que as placas de ACM com tonalidades mais claras, como o cinza claro, apresentaram as menores temperaturas superficiais registradas, enquanto as cores mais escuras apresentaram elevação na temperatura, sendo o valor máximo observado para o painel preto. Essa variação, que atingiu aproximadamente 19,2 °C entre os extremos, confirma o comportamento esperado para superfícies expostas à radiação solar, em que cores escuras tendem a absorver maior quantidade de calor, aumentando a temperatura superficial, enquanto cores claras refletem parte significativa da radiação solar. As cores intermediárias, como azul, vermelho, cinza escuro e marrom, situaram-se em uma faixa de aquecimento moderado, entre 53,2 °C e 60,5 °C, indicando comportamento térmico esperado. Os dados obtidos reforçam a necessidade de considerar a escolha da cor como um parâmetro técnico na especificação de revestimentos, especialmente em sistemas expostos à radiação direta.

Gráfico 3: Comparativo das temperaturas em graus obtidas na medição superficial *in loco*



Fonte: os autores.

A análise conjunta dos resultados de emitância térmica, refletância solar e temperatura superficial permite observar diferenças no desempenho térmico das cores avaliadas. As amostras A1 (branco) e A2 (cinza claro) apresentaram os maiores valores de refletância solar e as menores temperaturas superficiais, indicando menor absorção da radiação solar incidente. Em contrapartida, as amostras A7 (marrom) e A8 (preto) apresentaram os menores valores de refletância solar e as maiores temperaturas superficiais, evidenciando maior absorção da radiação solar incidente.

As amostras A3 (verde claro) e A6 (vermelho) apresentaram comportamento distinto do esperado considerando apenas a aparência visual das cores. De maneira geral, observou-se que as amostras com maiores valores de refletância solar apresentaram menores temperaturas superficiais, indicando que a refletância solar possui influência significativa no comportamento térmico das amostras expostas à radiação solar.

CONCLUSÃO

Os resultados permitiram obter valores de refletância solar e emitância térmica para amostras de ACM de diferentes cores, bem como avaliar suas temperaturas superficiais quando expostas ao ambiente externo. As medições evidenciaram que tanto a refletância solar quanto a emitância térmica apresentaram variações entre amostras, inclusive entre cores visualmente semelhantes. Embora este trabalho não tenha investigado a causa destas variações, acredita-se que ela esteja associada principalmente a composição da tinta aplicada na superfície do material [12],[13],[14].

As amostras de cores mais claras apresentaram, de maneira geral, maiores valores de refletância solar e menores temperaturas superficiais, enquanto as cores mais escuras apresentaram comportamento oposto, com maior absorção da radiação solar e temperaturas mais elevadas. Os resultados obtidos por meio das medições in loco com infravermelho evidenciaram uma correlação inversa entre refletância solar e

temperatura superficial, com diferenças superiores a 19 °C entre os extremos analisados.

A análise conjunta dos resultados mostrou que a refletância solar apresentou forte relação com as temperaturas superficiais observadas. Além disso, verificou-se que a aparência visual da cor não é suficiente para prever o desempenho térmico do material, uma vez que algumas amostras apresentaram comportamento distinto do esperado quando comparadas apenas pela tonalidade.

Deste modo, os resultados obtidos contribuem para ampliar a base de dados sobre as propriedades ópticas e térmicas do ACM, fornecendo informações que podem auxiliar para a correta especificação de fachadas e para a confiabilidade de simulações computacionais, contribuindo para escolhas mais adequadas em projetos que visem melhorar o desempenho térmico das edificações.

AGRADECIMENTO

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, o primeiro autor utilizou o chatGPT para melhoria de coesão do texto. Após a utilização da ferramenta/serviço, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] PIMENTEL, Fabiana Campos; TASSI, Rutineia; ALLASIA, Daniel Gustavo; MINETTO, Bruna; PERSCH, Cristiano Gabriel. Influência do substrato no desempenho térmico de telhados verdes. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 23, n. 4, p. 83–103, out./dez. 2023. DOI: 10.1590/s1678-86212023000400692.

[2] CERIANI, Pascual; MIZGIER, Martin Ordenes. Impacto del microclima y la forma urbana en el desempeño energético de edificios residenciales en el clima de Montevideo, Uruguay. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 25, e143128, jan./dez. 2025. DOI: 10.1590/s1678-86212025000100872.

[3] KAMAL, M.A. Recent Advances in Material Science for Facade Systems in Contemporary Architecture: An Overview. **American Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 8, n. 3, p. 97-104, jul. 2020. DOI: https://doi.org/10.12691/ajcea-8-3-3. Disponível em: http://pubs.sciepub.com/ajcea/8/3/3

[4] ALTHOF, R.; PASSOLD, D.; MARQUES, T. Análise comparativa de revestimento de fachada: estudo de caso de substituição do revestimento cerâmico aderido por revestimento de acm em fachada ventilada em um edifício. Brazilian Journal of Development, vol. 7, p. 93926-93942, set. 2021. DOI:10.34117/bjdv7n9-520

[5] CAVALCANTI, F. S.; MONTEIRO, L. M. Projeto de edificações resilientes nas zonas bioclimáticas 1 a 4: impacto do envelhecimento das fachadas e mudanças climáticas no desempenho térmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2023, Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: PROGRAU/UFPEL, 2023. p. 01-10. DOI: https://doi.org./10.46421/sbqp.v3i.3285

[6] ZILLI, M.L.F.; SAVI, A.E.; MELLER, B.J.; WANDERLIND, A.; ANTUNES, E.G.P. Estudo comparativo do desempenho térmico entre fachada ventilada e fachada aderida. In: Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, 5., 2025, Porto Alegre. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2025. p. 229-238. DOI: https://doi.org/10.46421/tecsic.v5.7488

[7] ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C1371-15: Standard test method for determination of emittance of materials near room temperature using portable emissometers. West Conshohocken: ASTM, 2015.

[8] D&S — DEVICES AND SERVICES COMPANY. **AE1 & RD1**. 2020. Disponível em: https://www.devicesandservices.com/prod03.htm. Acesso em: 23 nov. 2025.

[9] ____. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E903-20: Standard test method for solar absorptance, reflectance and transmittance of materials using integrating spheres. West Conshohocken: ASTM, 2020a.

[10] PERKINELMER. **LAMBDA 1050+ UV/Vis/NIR Spectrophotometer**. Disponível em: https://www.perkinelmer.com.br/product/lambda-1050-2d-base-inst-no-sw-l6020055. Acesso em: 24 nov. 2025.

[11] ____. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G173-03: Standard tables for reference solar spectral irradiances: direct normal and hemispherical on 37o tilted surface. West Conshohocken: ASTM, 2020b.

[12] FANTUCCI, S.; SERRA, V. Experimental Assessment of the Effects of Low-Emissivity Paints as Interior Radiation Control Coatings. **Applied Sciences**, v. 10, n. 3, p. 842, jan. 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/app10030842

[13] GONÇALVES, J.V.B; MARINOSKI, D.L.; GUTHS, S.; RIBEIRO, A.K.M. Effect of Substrate and Number of Coats on Thermal Emittance and Solar Reflectance Measurements of Paints. **International Journal of Advances in Engineering & Technology**, vol. 18, issue 4, p. 132–154, ago. 2025. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17312945

[14] DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 160 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2008.

[15] CASTRO, A.P.A.S.; LABAKI, L.C.; CARAM, R.M.; BASSO, A.; FERNANDES, M.R. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 2, p. 69-76, jun. 2003. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3452