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

ABSORTÂNCIA SOLAR DE TINTAS: uma comparação do envelhecimento natural e a NBR 15575-1

Absorbancia solar de pinturas: una comparación del envejecimiento natural y la NBR 15575-1

Solar absorbance of paints: a comparison of natural aging and NBR 15575-1

Desempenho Térmico do Ambiente Construído

Couto, Lorena Santos Bezerra
Doutora, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, lorenasbcouto@hotmail.com

Dornelles, Kelen Almeida
Doutora, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, kelend@usp.br

Resumo

Este artigo apresenta a análise comparativa entre os resultados de degradação da absortância solar de tintas para fachadas a partir do envelhecimento natural de amostras expostas em três cidades do Brasil por dois anos, com aqueles estimados a partir da equação da NBR 15575-1. Os resultados indicaram que os valores calculados pela norma não são compatíveis aos medidos após o intemperismo nesta pesquisa, pois a diferença na α calculada pela norma é significativamente superior, principalmente para as cores claras. Um fator relevante é o ângulo de inclinação indicado pela norma para exposição das amostras à 45° para avaliação da degradação da absortância solar, diferente do aplicado no estudo em campo (90°), que simulou superfícies verticais. Os resultados indicam a necessidade de que mais pesquisas de desempenho dos diferentes materiais do envelope construtivo sejam realizadas, considerando-se as diferentes aplicações. Assim, será possível gerar subsídios para normas mais abrangentes no contexto nacional.

Palavras-chave: Absortância solar. Envelhecimento natural. Norma 15575-1. Tintas.

Resumen

Este artículo presenta un análisis comparativo entre los resultados de la degradación de la absorbancia solar de pinturas de fachada a partir del envejecimiento natural de muestras expuestas en tres ciudades de Brasil durante dos años, con los estimados a partir de la ecuación NBR 15575-1. Los resultados indicaron que los valores calculados por la norma no son compatibles con los medidos tras el envejecimiento a la intemperie en esta investigación, ya que la diferencia de α calculada por la norma es significativamente mayor, especialmente para los colores claros. Un factor relevante es el ángulo de inclinación indicado por la norma para exponer las muestras a 45° para evaluar la degradación de la absorbancia solar, diferente del aplicado en el estudio de campo (90°), que simulaba superficies verticales. Los resultados indican la necesidad de seguir investigando el comportamiento de los distintos materiales de envolvente de los edificios, teniendo en cuenta las diferentes aplicaciones. De este modo, será posible generar subvenciones para normas más completas en el contexto nacional.

Palabras clave: Absortancia solar. Envejecimiento natural. Norma 15575-1. Pinturas.

Abstract

This paper presents a comparative analysis between the results of solar absorptance degradation of façade paints from the natural aging of samples exposed in three cities in Brazil for two years, with those estimated from the NBR 15575-1 equation. The results indicated that the values calculated by the standard are not compatible with those measured after weathering in this research, as the difference in α calculated by the standard is significantly higher, especially for light colors. A relevant factor is the angle of inclination indicated by the standard for exposing the samples at 45° to assess the degradation of solar absorptance, which is different to that applied in field study (90°), which simulated vertical surfaces. The results indicate the need for further research into the performance of different building envelope materials, considering different applications. In this way, it will be possible to generate subsidies for more comprehensive standards in the national context

Keywords: Solar absorptance. Aging. 15575-1 Standard. Paints.

Introdução

Os materiais aplicados tanto na cobertura quanto na fachada dos edifícios têm grande influência em seu desempenho térmico e energético. Considerando um ambiente urbano, estes materiais interferem, também, na temperatura das cidades, e têm grande influência na criação das Ilhas de Calor Urbanas (UHI – *Urban Heat Islands*). As características térmicas e ópticas dos materiais que compõem o envelope construtivo, como a absortância solar, determinam como se dará a transferência de calor do exterior para o interior de uma edificação (Alchapar; Correa, 2016). Portanto, o estudo aprofundado dessas características auxilia a compreensão do comportamento das edificações com relação à radiação que nelas incidem, e dá subsídios para o estudo do conforto dos usuários no interior dos edifícios.

Propriedades como a absortância solar são características da camada mais superficial dos materiais, portanto, a degradação desta superfície terá impacto no percentual de radiação absorvido durante a vida útil da edificação. Alguns agentes de degradação, levando em consideração o envelhecimento natural dos materiais, são a incidência da radiação solar direta, em especial a radiação ultravioleta, o regime de chuvas, a deposição de partículas sobre a superfície e o crescimento de microrganismos, entre outros aspectos que podem ser considerados a depender do ambiente e tipo de entorno onde a edificação está inserida (Souza *et al.*, 2024).

Estudos como os realizados por Xie *et al*. (2020), Paolini *et al*. (2020), Morini *et al.* (2018) e Ferrari *et al.* (2014) mostram como o intemperismo afeta a absortância solar das superfícies analisadas, sendo o clima e o ambiente aspectos que desempenham papel crucial no envelhecimento desses materiais. As alterações na absortância solar, e consequentemente na refletância solar, causadas pelos agentes do envelhecimento natural, têm impacto direto no desempenho térmico e na eficiência energética dos edifícios (Zhuang *et al*., 2021; Paolini *et al*., 2017; Alchapar e Correa, 2016; Shi *et al*., 2019), e na temperatura das cidades (Tsoka, 2020).

Considerando-se o cenário brasileiro, existem pesquisas que levam em conta o envelhecimento natural dos materiais e seus impactos nas propriedades térmicas, como os estudos realizados por Coelho *et al.* (2016), Shirakawa *et al.* (2022) e Araújo e Dornelles (2022). A este respeito, Shirakawa *et al.* (2020) apresentam em seu estudo que três anos de envelhecimento natural geraram um aumento da absortância solar de 0,64 para 0,85, em uma

das cidades analisadas. Um aumento significativo com potencial de grande aumento na temperatura superficial do material.

Contudo, nota-se nestas pesquisas a predominância nas análises de materiais utilizados em coberturas, mesmo quando há o estudo de tintas, estas são indicadas para o recobrimento de coberturas. Este fator levanta a necessidade de que os materiais para vedações verticais sejam mais estudados, e suas particularidades compreendidas.

Pesquisas como as de Lucenas e Bauer (2020) iniciam estes estudos sobre vedações verticais, contudo, analisam materiais cerâmicos já existentes em fachadas de edifícios. Percebe-se, então, uma lacuna de pesquisas que avaliem o desempenho de tintas aplicadas em fachadas de edifícios, acabamento este presente em grande parte das edificações, principalmente residenciais e de interesse social, no Brasil.

Visto que são poucos estudos no cenário nacional considerando a diversidade de materiais disponíveis para acabamentos de fachadas e coberturas, e entendendo a necessidade de que seja considerada a degradação natural que acontece com superfícies expostas às intempéries e os impactos nas propriedades das superfícies que compõem a envoltória da edificação, a NBR 15575-1 (ABNT, 2021) apresenta uma equação para estimar o valor de absortância solar de uma superfície após envelhecimento natural.

Não é explicitado na norma qual a situação de exposição às intempéries é considerada para a obtenção desta equação, apenas que simula o impacto da degradação na absortância solar, após três anos de envelhecimento natural. Contudo, a NBR 15575-1 (ABNT, 2021) indica que a análise do envelhecimento natural dos materiais seja realizada em estação de envelhecimento inclinada 45° com relação ao solo e voltada para Norte, o que sugere ser esta a situação considerada para formulação da equação proposta. Também não é claro na NBR 15575-1 (ABNT, 2021), se esta equação pode ser aplicada a todos os diferentes tipos de materiais empregados no envelope construtivo. Isto levanta, então, o questionamento a respeito da compatibilidade dos dados obtidos através do cálculo proposto pela norma, com a realidade do desempenho frente à degradação natural dos diversos materiais utilizados em coberturas e fachadas de edificações.

Considerando o exposto, este artigo apresenta o estudo comparativo dos resultados de degradação da absortância solar de tintas para fachadas de edifícios observados com o envelhecimento natural de amostras expostas por dois (02) anos nas cidades de Teresina – PI,

São Carlos – SP e Florianópolis – SC, com aqueles estimados a partir da equação da norma 15575-1 (ABNT, 2021),, de forma a avaliar a compatibilidade entre os dois métodos e a aplicabilidade da norma para materiais em vedações verticais.

Método

Para desenvolvimento desta pesquisa, foram selecionadas seis cores de tinta acrílica de acabamento fosco disponíveis no mercado brasileiro, todas do mesmo fabricante, divididas em dois grupos. O primeiro referente às cores mais claras (branco 01, branco 02 e branco 03) e o segundo às coloridas (preto, azul e vermelho), conforme apresentado na Figura 1. As tintas foram aplicadas em uma placa cimentícia com dimensões 6 cm X 10 cm, com rolo de pintura em lã, em três demãos.

Figura 1 - Amostras com aplicação tintas das seis cores selecionadas para este trabalho.



Fonte: As autoras.

Envelhecimento natural

Para o envelhecimento natural, as amostras foram expostas em três cidades, Teresina, São Carlos e Florianópolis, pelo período de dois anos, em uma estação de envelhecimento onde estas foram posicionadas em um ângulo de 90° com relação ao solo, simulando assim, a situação mais recorrente de fachadas de edificações brasileiras. Para cada tinta selecionada, foi instalada uma amostra voltada para as quatro orientações solares (Norte, Sul, Leste e Oeste), totalizando vinte e quatro amostras expostas em cada cidade, e setenta e duas no total.

Na cidade de Teresina (THE), localizada na zona bioclimática (ZB) 07 (ABNT, 2005)[1], a estação de envelhecimento foi posicionada na cobertura de uma edificação. O mesmo foi feito na

[1] Salienta-se que a pesquisa foi realizada entes da atualização da norma de zoneamento bioclimático, que data de dezembro de 2024.

cidade de Florianópolis (FLN), ZB 03 (ABNT, 2005), enquanto na cidade de São Carlos (SCS) localizada na ZB 04 (ABNT, 2005) a estação foi instalada a um metro de altura do solo.

Absortância solar

A refletância solar (ρ) de uma amostra de cada tinta foi medida utilizando um espectrofotômetro com esfera integradora, conforme o determinado pela NBR 17162 (ABNT, 2024). A partir destes dados, foi então determinada a absortância solar inicial (α_0) de cada cor, utilizando a Equação 01, obtendo assim o dado de absortância solar das amostras enquanto limpas.

$$\alpha_0 = 1 - \rho \qquad \text{Equação 01}$$

Passado o período de dois anos de envelhecimento natural das amostras, este procedimento foi repetido, para obtenção do valor de absortância solar após a exposição às intempéries. Considerando-se a quantidade de amostras expostas, para facilitar a análise dos dados, uma média da absortância solar de cada cor após o envelhecimento foi feita, para cada uma das cidades analisadas, conforme a Equação 02.

$$\alpha_{2\mathrm{X}} = \frac{\alpha_N + \alpha_S + \alpha_L + \alpha_O}{4} \qquad \text{Equação 02}$$

Onde:
α_{2X} – Absortância solar após degradação de dois anos para cada cor na cidade X;
X – Cidade onde a amostra foi exposta;
α_N – Absortância solar após degradação de dois anos na fachada Norte;
α_S – Absortância solar após degradação de dois anos na fachada Sul;
α_L – Absortância solar após degradação de dois anos na fachada Leste;
α_O – Absortância solar após degradação de dois anos na fachada Oeste.

Norma 15575-1

Para o cálculo da degradação da absortância solar das amostras após envelhecimento natural, estimada pela norma NBR 15575-1 (ABNT, 2021)[2], foi utilizada a Equação 03.

$$\alpha_{NBR} = 0{,}07(\alpha_0)^2 + 0{,}59\alpha_0 + 0{,}27 \qquad \text{Equação 03}$$

[2] A norma considera uma estimativa para três anos de envelhecimento natural.

Onde:
α_{NBR} – Absortância solar estimada após degradação de três anos;
α_0 – Absortância solar inicial da superfície;

Esta norma sugere ainda que para que seja feita exposição para análise de envelhecimento natural dos materiais, seja considerada que elas estejam voltadas para face Norte em um ângulo de 45°, o que permite a compreensão de que esta equação considera o mesmo cenário.

Resultados e Discussão

Os valores obtidos para absortância solar das amostras ainda limpas (α_0), após dois anos de envelhecimento (α_2) e ainda o estimado a partir da Equação 03 (α_{NBR}), como indicado pela norma, podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1: Dados de absortância solar inicial (α_0), após dois anos de envelhecimento natural (α_2), estimado como indicado pela NBR 15575-1 (α_{NBR}) e a diferença entre o valor medido/estimado após envelhecimento e o inicial ($\Delta\alpha$).

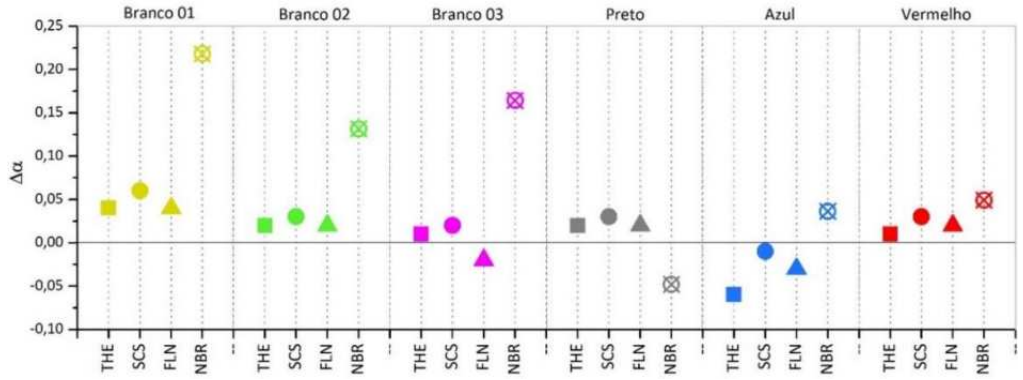
Amostra	α_0	α_{2THE}	α_{2SCS}	α_{2FLN}	α_{NBR}	$\Delta\alpha_{THE}$	$\Delta\alpha_{SCS}$	$\Delta\alpha_{FLN}$	$\Delta\alpha_{NBR}$
Branco 01	0,13	0,17	0,19	0,17	0,35	0,04	0,06	0,04	0,22
Branco 02	0,36	0,38	0,39	0,38	0,49	0,02	0,03	0,02	0,13
Branco 03	0,27	0,28	0,29	0,25	0,43	0,01	0,02	-0,02	0,16
Preto	0,92	0,94	0,95	0,94	0,87	0,02	0,03	0,02	-0,05
Azul	0,64	0,58	0,63	0,61	0,68	-0,06	-0,01	-0,03	0,04
Vermelho	0,60	0,61	0,63	0,62	0,65	0,01	0,03	0,02	0,05

Fonte: As autoras.

A fim de facilitar a análise comparativa entre o valor estimado pela norma e aquele observado após o envelhecimento natural em dois anos, a Figura 3 apresenta as diferenças entre a absortância solar após o envelhecimento (natural e estimado) e a absortância solar inicial, apresentando-se, assim, a variação da absortância solar ($\Delta\alpha$) para cada uma das situações.

A partir da Tabela 1 e da Figura 3, fica claro inicialmente que a estimativa de absortância solar calculada para o grupo de cores claras é superior ao encontrado para as três cidades analisadas, enquanto para as coloridas, apesar de ainda ser percebida uma diferença, esta é menor. Ou seja, enquanto para as três cidades, os valores de α_2 são próximos, e mostram pequenas variações com relação à absortância inicial, para α_{NBR} os valores obtidos são significativamente maiores.

Figura 2 - Variações de absortância solar (Δα) após envelhecimento natural e estimado pela NBR 15575-1.



Fonte: As autoras.

Para todas as cores, Δα após o envelhecimento natural não chegou a ultrapassar 0,10 (em valores absolutos), enquanto o valor calculado a partir da NBR foi superior a 0,20 para a cor Branco 01, e superior a 0,10 para as demais cores claras (Branco 02 e 03). A cor que apresentou maior semelhança entre o comportamento da absortância solar após o envelhecimento natural e a estimada pela norma foi a vermelha. Para esta tinta, o maior valor de Δα após o intemperismo é visto para a cidade de São Carlos (0,03), que se aproxima do Δα referente à absortância estimada (0,05).

A absortância solar estimada considerou, ainda, um aumento da absortância solar para todas as amostras, exceto para a tinta preta. Observando-se, então, uma segunda incompatibilidade entre os valores medidos e os estimados, o comportamento da absortância solar estimada, quando não é significativamente maior, é o oposto do que o observado após dois anos de envelhecimento natural, como visto para as amostras azuis e pretas analisadas nesta pesquisa. À exceção das amostras vermelhas, que como já salientado, tiveram o comportamento mais próximo entre as variações de absortância solar.

Enquanto a α_{NBR} para a tinta preta sofreu redução no valor em comparação ao inicial, os dados obtidos através das medições, para as três cidades, são de aumento na absortância solar. Contudo, para esta cor, estima-se um aumento pequeno na absortância solar (Δα -0,05), se comparado às cores mais claras. Para a amostra azul observa-se uma redução da absortância solar em todas as situações de envelhecimento natural analisadas, enquanto a equação estima um aumento neste valor (Δα 0,04), sendo a amostra com menor diferença entre os dados medidos e estimados. Na tabela 1 estão destacados em azul os valores de absortância

solar que após o envelhecimento natural ou o estimado pela norma, apresentaram valores maiores que a absortância inicial, e em vermelho os valores menores que o inicial.

A partir do exposto, pode-se notar que apesar da importância da estimativa das alterações na absortância solar dos materiais que compõem o envelope construtivo, principalmente para a determinação de cenários futuros com relação ao desempenho térmico das edificações e temperatura das cidades, os valores obtidos a partir da equação sugerida na NBR 15575-1 (ABNT, 2021) não correspondem ao observado a partir do envelhecimento natural das tintas selecionadas para esta pesquisa. Isto dá espaço ao questionamento da eficácia desta estimativa na análise de desempenho de edificações, considerando materiais a serem utilizados em fachadas.

Um aspecto a ser considerado nestas diferenças é o posicionamento das amostras para análise de seu envelhecimento natural. Neste trabalho, as amostras foram expostas em um ângulo de 90° com relação ao solo, para aproximar à realidade da maioria das fachadas de edificações, principalmente residenciais, no Brasil. No entanto, a norma indica que a análise de envelhecimento seja realizada com a exposição com inclinação de 45°, a partir disso entende-se que a equação sugerida considera uma estimativa a se comparar com dados obtidos a partir destas condições.

Entretanto, isso pode interferir nos efeitos dos diferentes agentes sobre a superfície. Considerando-se a deposição de material particulado, por exemplo, a inclinação da superfície terá impacto na quantidade de partículas acumuladas sobre a superfície, e também daquelas que não são lavadas com o processo natural de precipitações, com as chuvas. Além disso, é alterado o ângulo de incidência da radiação solar direta, que também pode impactar na intensidade da degradação causada pela radiação ultravioleta (UV).

Corroborando com esta ideia, trabalhos realizados no Brasil (Coelho *et al*., 2017; Shirakawa *et al*., 2020; Shirakawa *et al*., 2022) que utilizam esta inclinação de 45° para analisar o envelhecimento natural de pinturas frias utilizadas em coberturas, apresentam variações de absortância solar mais próximos ao constatado a partir do cálculo proposto pela norma. O que indica que a norma se relaciona de forma mais próxima aos resultados encontrados para materiais voltados à cobertura das edificações.

Estas pesquisas seguem normas internacionais, como a ASTM G7/G7M (ASTM, 2021) e o estabelecido pelo programa *Cool Roof Rating Program* (CRRC, 2016) do *Cool Roof Rating*

Council (CRRC). Este último com indicações específicas para materiais de cobertura, servindo ainda como um "compromisso entre telhados inclinados e superfícies verticais" (Shirakawa *et al*., 2022, tradução nossa). Contudo, percebe-se que esta aproximação não é eficaz para que os valores sejam atribuídos ao envelhecimento natural de tintas aplicadas em vedações verticais.

Entende-se, entretanto, que mesmo internacionalmente as normas tiveram majoritariamente um foco em materiais de cobertura, o que justifica a adoção da inclinação de 45° com relação ao solo. Contudo, no ano de 2024 foi criado um procedimento de envelhecimento para materiais de parede, pelo *Wall Rating Program* (CRRC, 2024), programa ligado ao CRRC destinado especificamente a materiais utilizados em fachadas de edificações. Este programa sugere o ângulo de 90° para a avaliação dos efeitos do envelhecimento natural nesta categoria de materiais, assim como adotado no presente trabalho.

Portanto, entende-se que, devido às diferenças significativas entre os dados medidos após a degradação natural das tintas, e o estimado a partir do sugerido pela norma, há a necessidade de que mais investigações com diferentes inclinações, materiais e locais do território nacional, sejam realizadas. Além disso, a norma não deixa claro para qual tipo de material esta equação melhor se adequa, o que se faz necessário tendo em vista as diferenças existentes entre materiais de cobertura e fachada com relação à durabilidade e características da superfície.

Conclusões

Este artigo teve como principal objetivo apresentar uma análise comparativa entre os resultados de degradação da absortância solar de tintas para fachadas a partir de dois métodos distintos: a partir do envelhecimento natural de amostras expostas por dois (02) anos em três diferentes cidades do Brasil com aqueles estimados a partir da equação da NBR 15575-1 (ABNT, 2021). Os resultados indicaram que, após o envelhecimento natural, de forma geral, houve o aumento da absortância solar das tintas selecionadas, para as três cidades escolhidas. Este comportamento se repetiu para a estimativa da degradação da absortância solar conforme equação apresentada na NBR 15575-1. Contudo, apesar desta semelhança, os resultados obtidos através do cálculo proposto pela norma não são compatíveis ao observado após a exposição por dois anos ao intemperismo em campo, apesar da equação da norma ser indicada para estimativa da degradação da absortância solar após três anos de exposição.

Isto porque as diferenças podem ser divididas em duas categorias: o que foi mais expressivo para o grupo de tintas brancas, e o que foi expressivo para o grupo de tintas coloridas. Para as tintas brancas (amostras de cores mais claras), notou-se que a variação da absortância solar a partir do estimado pela NBR é significativamente superior que o observado após o envelhecimento natural. Na primeira situação, as variações ultrapassaram em até 0,20 (sendo todas superiores a 0,10), mas na segunda categoria não chegaram a ultrapassar em 0,06 (em valores absolutos). Já para as tintas coloridas (cores escuras), a variação pela norma continuou superior, porém, com uma diferença menor. Todavia, para as amostras preta e azul, o comportamento da absortância após o envelhecimento natural foi oposto ao observado a partir do estimado pela norma.

Salienta-se, ainda, que a inclinação sugerida pela norma pode ter impacto na diferença destes resultados, e na incompatibilidade do valor estimado ao valor obtido através das medições, para as tintas aqui estudadas. Isto porque as pesquisas e normas publicadas até o momento indicam um ângulo de 45° em relação ao solo, visto considerarem majoritariamente acabamentos para cobertura, enquanto o ângulo utilizado para a exposição das amostras aqui analisadas foi de 90°. Esta escolha foi feita devido à análise se referir ao desempenho das tintas enquanto aplicadas em fachadas, entendendo-se a necessidade de que sejam ampliadas as pesquisas para este tipo de material, não somente em escala nacional, como também internacional, identificando-se uma importante lacuna de pesquisa na área

A partir do exposto, concluiu-se que os valores de absortância solar após a degradação da superfície estimados pela NBR 15575-1 não são compatíveis aos dados obtidos após o envelhecimento natural de tintas para fachada expostas em três diferentes cidades brasileiras desta pesquisa. Os resultados sugerem, ainda, a necessidade de que mais pesquisas a respeito do desempenho dos diferentes materiais do envelope construtivo sejam realizadas, considerando as diferentes aplicações, acabamentos e tipologias disponíveis no mercado nacional. Dessa forma, será possível gerar subsídios para que as normas nacionais se tornem mais abrangentes para o universo existente, e que os valores estimados a partir destas normas sejam mais próximos à realidade observada, principalmente no contexto nacional.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2024/21425-4.

Referências

American Society for Testing and Materials (ASTM). **E903**: Standard test method for solar absorptance, reflectance and transmittance of materials using integrating spheres. ASTM International, 2020a.

_____. **G173**: Standards tables for reference solar spectral irradiances: Direct normal and hemispherical on 37º tilted surface. ASTM International, 2020b.

_____. **G7/G7M**: Standard Practice for Natural Weathering of Materials. ASTM International, 2021.

Araújo, A. C. H.; Dornelles, K. A. Estação de envelhecimento natural para análise de degradação da absortância de telhas e monitoramento de temperaturas superficiais**.** **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, p. 247-267, abr/jun, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico das edificações. Parte 3: Zoneamento Bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 17162**: Edificações — Refletância solar, emitância térmica de onda longa, absortância solar e índice de refletância solar (Sri) — métodos de medição. Rio de Janeiro, 2024.

Coelho, T. Da C. C.; Gomes, C. E. M.; Dornelles, K. A. "Desempenho térmico e absortância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural". **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, p. 147-161, jan/mar, 2017.

Cool Roof Rating Council (CRRC). **ANSI / CRRC S100**. Standard Test Methods for Determining Radiative Properties of Materials, 2016.

Cool Roof Rating Council (CRRC). **CRRC 2**: Wall product rating program manual, 2024.

Ferrari, C.; Gholizadeh Touchaei, A.; Sleiman, M.; Libbra, A.; Muscio, A.; Siligardi, C.; Akbari, H. Effect of aging processes on solar reflectivity of clay roof tiles. **Advances in Building Energy Research**, v. 8, p. 28-40, 2014.

Lucenas, R.; Bauer, E.; Análise da degradação de fachada de edifício localizado em Brasília-DF. In: Construção: Congresso de Construção Civil.2020, Brasília. **Anais…** Brasília, 2020.

Morini, E.; Castellani, B.; Nicolini, A.; Rossi, F.; Berardi, U. Effects of aging on retro-reflective materials for building applications. **Energy and Buildings**, v. 179, p. 121-132, 2018.

Paolini, R.; Destaillats, H.; Zinzi, M.; Tarraneo, G.; Ferrari, F.; Sleiman, M.; Muscio, A.; Metrangolo, P.. Poli, T.; Levinson, R. Effects of soiling and weathering on the albedo of building envelope materials: lessons learned from natural exposure in two European cities and tuning of a laboratory simulation practice**. Solar Energy Materials and Solar Cells**, 2020.

Shirakawa, M. A., Lima, L. N.; Gaylarde, C. C.; Silva Junior, J. A.; Loz, P. H. F., John, V. M. "Effects of natural aging on the properties of a cool surface exposed in different Brazilian environments". **Energy & Buildings**, v. 221, 2020.

Shirakawa, M. A., Lima, L. N.; Gaylarde, C. C.; Fernandes-Hachich, V.; Silva Junior, J. A.; John, V. M. "The influence of environment and carbonation of fiber cement tiles on the reflectance of a cool surface exposed in four Brazilian cities". **Energy & Buildings**, v. 254, 2022.

ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N. Aging of roof coatings. Solar reflectance stability according to their morphological characteristics. Construction and Building Materials, v. 102, p. 297–305, 2016.

Souza, A. R.; Veloso, R. C.; Maia, J.; Flores-Colen, I.; Ramos, N. M. M. Durability and performance of opaque high-reflectance envelope systems: A systematic review. **Journal of Building Engineering,** v. 98, 2024.

TSOKA, S. Influence of aging on the performance of cool coatings. Eco-Efficient Pavement **Construction Materials**, p. 147-167. 2020.

Xie, N.; Li, H, Zhang, H.; Zhang, X.; Jia, M. Effects of accelerated weathering on the optical characteristics of reflective coatings for cool pavement. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 215, 2020.

Zhuang, C.; Gao, Y.; Zhao, Y.; Levinson, R.; Heiselberg, P.; Wang, Z.; Guo, R. Potential benefits and optimization of cool-coated office buildings: A case study in Chongqing, China. **Energy**, v. 226, 2021.