



# ENTAC 2024

XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024



## Os efeitos do envelhecimento natural na absorptância solar de tintas expostas em três cidades brasileiras

The effects of natural ageing on the solar absorptance of paints exposed in three Brazilian cities

**Lorena Santos Bezerra Couto**

Universidade de São Carlos | São Carlos | Brasil | lorenacouto@usp.br

**Kelen Almeida Dornelles**

Universidade de São Paulo | São Carlos | Brasil | kelend@usp.br

### Resumo

Este artigo avalia as diferenças na absorptância solar ( $\alpha_{\text{solar}}$ ) de tintas após um ano de envelhecimento natural nas cidades de Teresina-PI, São Carlos-SP e Florianópolis-SC, com amostras expostas voltadas para os 4 pontos cardeais. A refletância solar de cada amostra foi medida em laboratório com espectrofotômetro e a  $\alpha_{\text{solar}}$  calculada para as tintas novas e após um ano de envelhecimento. Observou-se que, para todas as cidades, a cor preta apresentou comportamento mais uniforme considerando-se o local e a orientação solar, assim como as maiores diferenças na  $\alpha_{\text{solar}}$  após o envelhecimento. Em Teresina, as amostras apresentaram menor variação que nas demais cidades. De forma geral, para as cores mais claras as variações entre cada orientação foram significativas. Observou-se como principal contribuição que há diferenças na forma como a  $\alpha_{\text{solar}}$  de tintas é alterada durante o processo de envelhecimento natural, e que o clima e as características locais são variáveis importantes que interferem nessa alteração.

Palavras-chave: Envelhecimento natural. Absorptância solar. Refletância solar. Intemperismo. Tinta.

### Abstract

*This paper evaluates the differences in the solar absorptance ( $\alpha_{\text{solar}}$ ) of paints after one year of natural aging in the cities of Teresina, São Carlos and Florianópolis, with samples exposed facing the 4 cardinal points. The solar reflectance of each sample was measured using a spectrophotometer with an integrating sphere, and the  $\alpha_{\text{solar}}$  calculated from this, for the new paints and after one year of aging. The data showed that, for all the cities, the black color showed more uniform behavior considering the location and solar orientation, as well as the greatest differences in  $\alpha_{\text{solar}}$  after aging. In Teresina, the samples showed less variation than in the other cities. In general, for the lighter colors, the variations between each orientation were significant. The main contribution observed was that there are differences in the way the solar absorptance of paints is altered during the natural ageing process, and that climate and local characteristics are important variables that interfere with this alteration.*

*Keywords: Natural aging. Solar absorptance. Solar reflectance. Weathering. Paint.*



Como citar:

COUTO, L. S. B.; DORNELLES, K. A. Os efeitos do envelhecimento natural na absorptância solar de tintas expostas em três cidades brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024.

## INTRODUÇÃO

A absorvância solar é uma propriedade do envelope construído determinante para definir o impacto que a radiação solar direta terá na temperatura interna dos ambientes, já que ela estabelece a quantidade de calor absorvido pela camada de materiais mais externa do edifício. Esta propriedade, tal como a refletância solar, é estudada por diversos pesquisadores ao redor do mundo [1, 2, 3], buscando compreender suas relações com os ganhos térmicos não só dos edifícios, como também das cidades.

Considerando o impacto nas cidades, pesquisas [4] já mostraram que o uso de materiais com baixa absorvância solar e alta emitância térmica (esta última comum para materiais de construção não metálicos), os chamados *cool materials*, é uma estratégia passiva interessante e efetiva para mitigação dos efeitos negativos das Ilhas de Calor Urbanas (UHI). Já na escala do edifício, a adoção destes materiais apresentou redução da temperatura interna do edifício [5], o que é apresentado como vantagem não só pela melhoria do conforto térmico dos usuários, mas também na redução do consumo de energia para resfriamento [6].

No entanto, as edificações não se encontram isoladas, elas estão localizadas em um entorno com características próprias, além de um clima específico, com condições de temperatura, umidade, índice pluviométrico e os mais diversos agentes poluidores. Todos estes aspectos, com o passar dos anos, impactam diretamente não só na aparência, como também nas propriedades dos materiais da envoltória da edificação. Entre estes impactos, encontram-se os efeitos do envelhecimento natural, com a exposição às intempéries e partículas suspensas na atmosfera, na absorvância solar dos materiais de fachada e cobertura.

Diversos estudos [7, 8, 9], já apresentaram um comum aumento da absorvância solar dos materiais após determinado tempo de envelhecimento natural, o que pode acarretar a redução de sua eficiência quando do controle da temperatura interna do edifício. Este impacto pode ainda variar de acordo com o material, local e clima em questão. Por exemplo, pesquisas [10] mostram que a depender do tipo de acabamento utilizado para uma pintura, se convencional ou tipo textura, o aumento na absorvância solar variou de 0,33 para 0,60 para tintas comuns e de 0,07 para 0,18 para texturas. Outro estudo [11] ainda apresenta, ao comparar pinturas convencionais com aquelas autolimpantes, aumento na absorvância solar de 0,14 para 0,26 considerando as tintas comuns à base de água, e somente de 0,14 para 0,15 nas tintas autolimpantes.

Pensando no impacto destas alterações na temperatura, Paolini et al. [12] apresentam uma comparação do impacto do envelhecimento natural de pinturas nas cidades de Milão e Roma. A temperatura superficial chegou a aumentar 6.0°C, com máximas variando entre 33.0°C e 40.0°C, o que foi mostrado pelos autores como um aspecto negativo, não só considerando a transferência de calor para o ambiente interno, mas também o fato de aumentarem as tensões que acontecem na película quando submetidas a estas temperaturas, o que acelera o processo de degradação da mesma [12].

Considerando que o envelhecimento terá influência da quantidade de radiação solar, de período de chuvas e outros aspectos característicos de cada sítio em que estão expostas, é interessante considerar as particularidades deste processo nas diferentes cidades e regiões do território nacional. Isto, visto a dimensão do país e a diversidade de climas encontrados no Brasil. A este respeito, estudo brasileiro [13] já apresentou as diferenças nos efeitos do intemperismo, deposição de partículas e crescimento de microrganismos em amostras localizadas em diferentes cidades do estado de São Paulo na região sudeste (São Paulo, Pirassununga e Ubatuba) e na cidade de Belém – PA, no norte do país. Percebendo-se que para a cidade de Pirassununga, o impacto no aumento da absorvância solar foi maior (de 0,15 para 0,36) [13].

Contudo, apesar da existência de outras pesquisas [14, 15, 16] que analisam o envelhecimento natural da envoltória da edificação, há a necessidade de que estes estudos sejam ainda mais expandidos e que novas regiões e climas sejam considerados. Isto posto, este trabalho, que representa um recorte de uma pesquisa de doutorado, visa analisar o impacto do envelhecimento natural na absorvância solar de tintas convencionais do mercado brasileiro, após serem expostas por um ano nas cidades de Teresina, São Carlos e Florianópolis.

## MÉTODO

Buscando atender ao objetivo deste trabalho de comparar o impacto do envelhecimento natural de tintas em três diferentes cidades do país, foram inicialmente selecionadas seis cores (Figura 1) sendo elas, uma branca comumente utilizada (Branco Neve), duas cores claras utilizadas semelhantes ao branco (Urso Polar e Vento Sul), uma tinta preta (Patativa), uma azul (Martim Pescador) e uma vermelha (Nectarina). A ideia foi de, inicialmente, comparar cores claras entre si, entender as diferenças entre os extremos opostos entre as cores mais claras e mais escuras (branco e preto), e observar os efeitos em cores vibrantes (azul e vermelho). Cada uma das tintas foi aplicada em três demãos, visando uniformizar sua cobertura e acabamento, em placas de cimento medindo aproximadamente 10 x 6 cm.

Para o processo do envelhecimento natural, as amostras foram expostas em estações de envelhecimento localizadas em Teresina, São Carlos e Florianópolis, em áreas abertas e sem sombreamento. A exposição foi feita por um ano, a contar do dia em que as placas pintadas foram instaladas, quando então estas foram retiradas para análise.

Esta análise do impacto do envelhecimento foi realizada a partir dos efeitos deste na refletância solar das amostras. Para tanto, foi medida a refletância solar de cada cor enquanto limpas, e posteriormente, repetiu-se este teste após um ano de exposição às intempéries. Esta medição foi feita utilizando um espectrofotômetro com esfera integradora, seguindo o determinado pela ASTM E903 [17], com captura de refletância a cada 1 nm do espectro solar analisando, entre 300 e 2000 nm. De posse dos dados de refletância para todo o espectro, foi realizado o ajuste ao espectro solar padrão, conforme a ASTM G173 [18] e então calculada a refletância solar de cada tinta.

**Figura 1: Amostras utilizadas na pesquisa nas cores: Branco Neve (acima e à esquerda), Patativa (acima e no centro), Martim Pescador (acima e à direita), Nectarina (abaixo e à esquerda), Urso Polar (abaixo e no centro) e Vento Sul (abaixo e à direita).**



O próximo passo antes das análises dos resultados obtidos, foi a determinação da absorvância solar, a partir do valor de refletância solar medido, considerando que a somatória dos dois valores é igual a um.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, observando-se os dados das amostras enquanto ainda limpas e recém pintadas (tabela 1), percebe-se que, conforme o esperado, a cor Branco Neve (branco) tem a menor absorvância solar ( $\alpha_{\text{SOLAR}}$ ), e a cor Patativa (preto) o maior valor. Considerando-se somente as cores claras (Branco Neve, Urso Polar e Vento Sul), percebe-se que, apesar de visualmente se assemelharem a cor da tinta branca, há uma diferença considerável entre os valores de absorvância solar das três amostras. Enquanto as cores Martim Pescador (azul) e Nectarina (vermelho), apresentam absorvâncias semelhantes, apesar de visualmente diferirem.

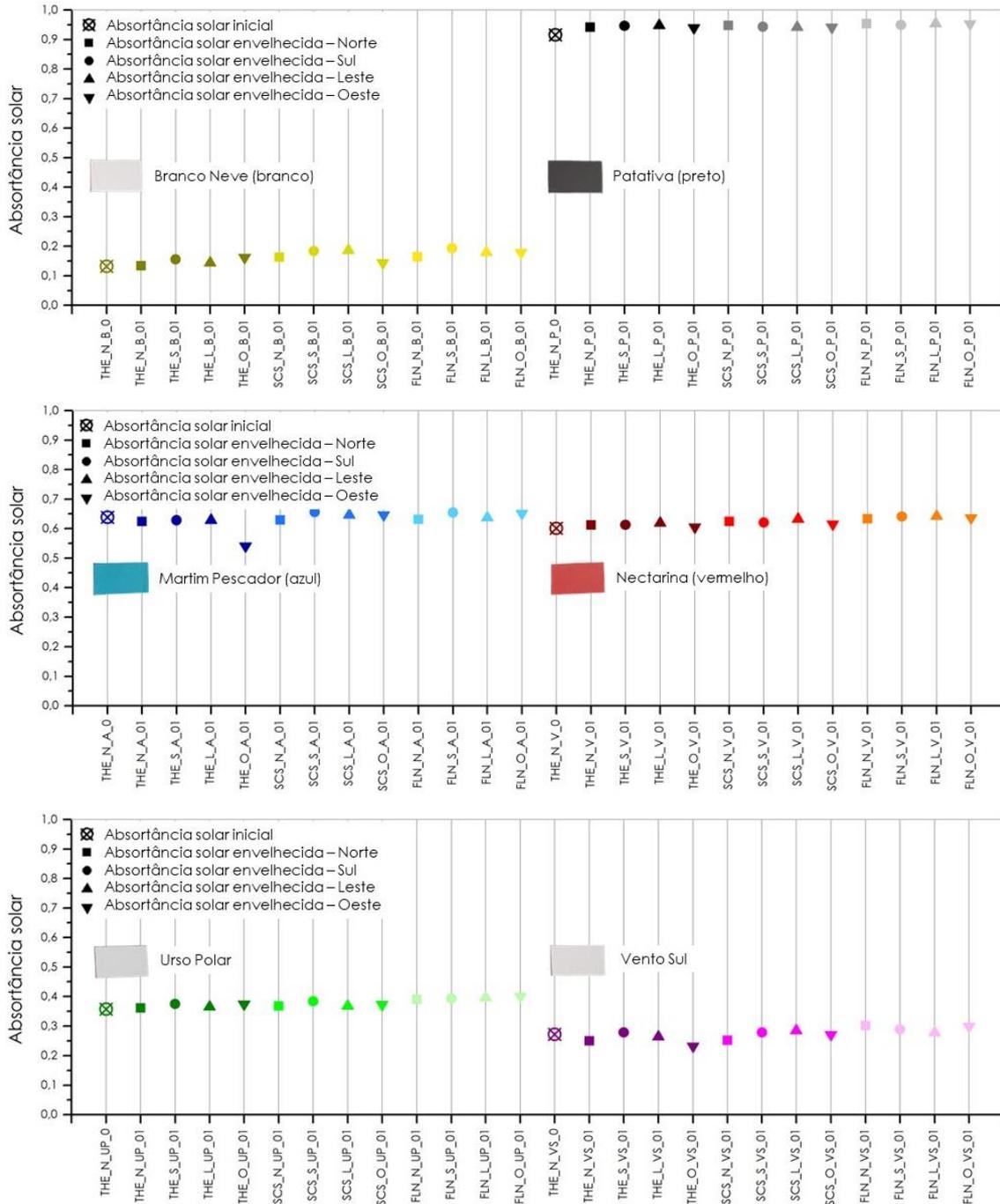
**Tabela 1: Absorvância solar das amostras novas**

Cor da amostra	$\alpha_{\text{SOLAR}}$
Branco Neve (branco)	0,13
Vento Sul	0,27
Urso Polar	0,36
Nectarina (vermelho)	0,6
Martim Pescador (azul)	0,64
Patativa (preto)	0,92

Fonte: as autoras.

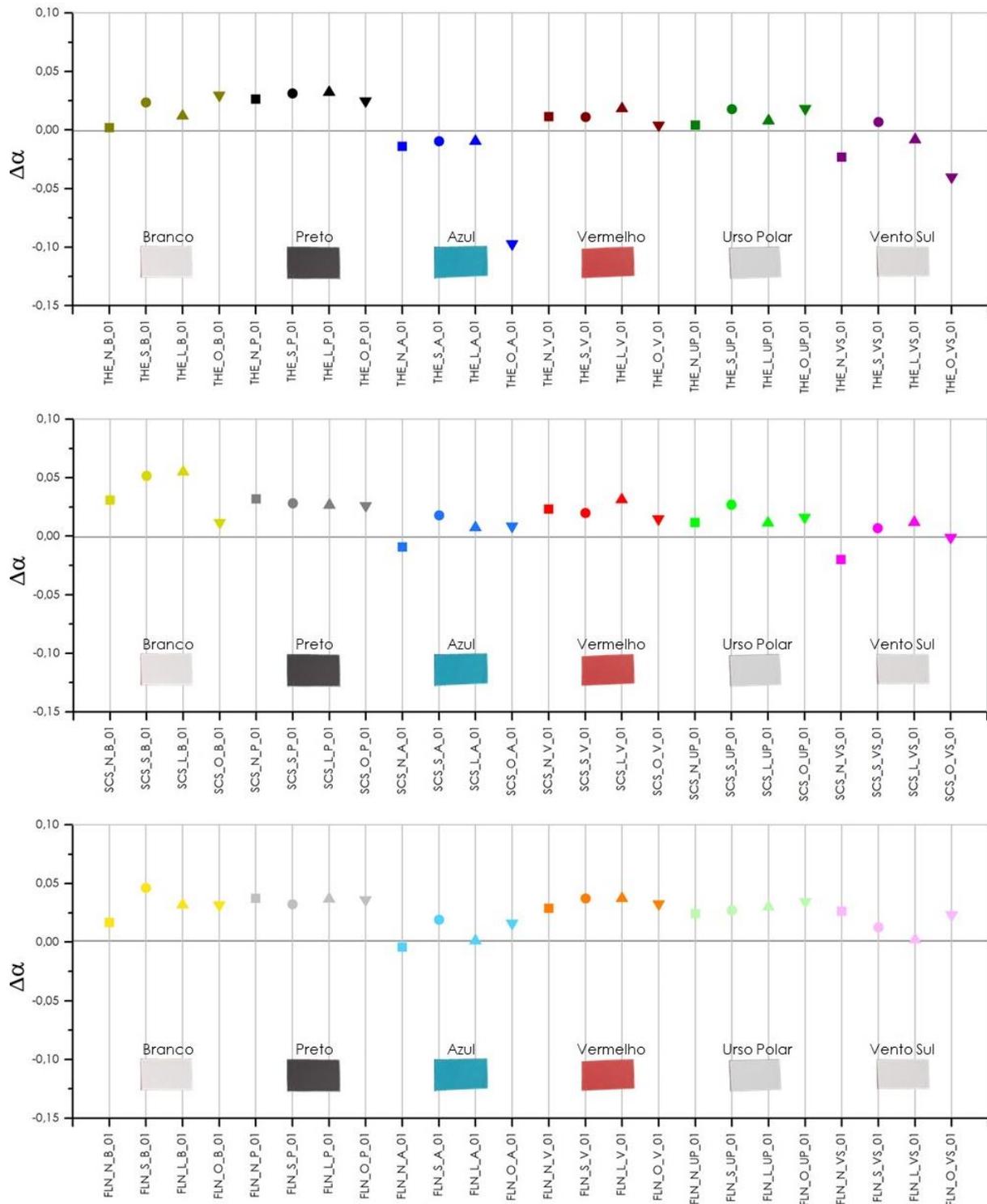
Primeiramente, nota-se que existem alterações nas absorvâncias após um ano de envelhecimento, e assim como as referências [7 – 12] apontam, há uma prevalência no aumento deste valor. Isto não ocorre somente para onze das setenta e duas amostras aqui analisadas, sendo destas seis da cor azul e cinco da cor Vento Sul (Figuras 2 e 3).

**Figura 2: Gráficos da absorptância solar das amostras limpas e após o envelhecimento, separadas por cor: Branco Neve e Patativa (acima), Martim Pescador e Nectarina (no centro), Urso Polar e Vento Sul (abaixo).**



Fonte: As autoras

**Figura 3: Gráficos da diferença da absorvância solar após o envelhecimento pela absorvância solar das amostras novas, separadas por cidade: Teresina (acima), São Carlos (no centro) e Florianópolis (abaixo).**



Fonte: As autoras

Considerando-se cada uma das cidades em separado, para que seja analisado o comportamento geral das tintas, vê-se que na cidade de Teresina, exceto para as tintas preta e vermelha, a maior diferença entre os valores de absorvância solar antes e depois da exposição às intempéries ( $\Delta\alpha$ ) é vista nos dados das amostras localizadas na fachada Oeste. Para as cores preto e vermelho, a fachada Leste foi a de maior variação.

Contudo, salienta-se que mesmo para estas amostras, a diferença é pequena (Figura 3).

Dentre as tintas com maior variação de absorvância nesta cidade, destaca-se a azul exposta à Oeste, onde o processo de calcinação foi mais presente, interferindo de forma mais significativa entre todas as demais, não só na cor da amostra, como em sua absorvância (Figura 3). Além desta amostra em específico, aquelas com impactos mais perceptíveis na absorvância solar foram as pintadas com tinta preta e Vento Sul. Destaca-se ainda, para THE, que excluindo a amostra Sul da cor Vento Sul, para todas as orientações desta cor e da cor azul, apresentaram redução da absorvância solar (Figura 3), diferente do esperado e visto com maior frequência na literatura a respeito do tema.

Para a cidade de São Carlos, as cores com maiores variações são o preto e o branco, e de forma geral, há o aumento da absorvância solar, com exceção para as amostras voltadas à Norte, também das cores azul e Vento Sul, e a amostra localizada à Oeste desta última cor (Figura 3). Para esta cidade, não se percebe um padrão determinado a respeito de qual orientação solar teve maior impacto na alteração da absorvância, como aconteceu nas amostras de Teresina voltadas à face Oeste. Havendo amostras onde a maior diferença é vista na orientação Leste (branco, vermelho e Vento Sul), Norte (preto) e Sul (azul e Urso Polar).

O mesmo acontece para a cidade de Florianópolis, com maior  $\Delta\alpha$  nas faces Sul (branco, azul e vermelho), Norte (preto e vento Sul) e Oeste (Urso Polar). Para esta localização, também é percebido um comportamento diferente do comum para a amostra azul, com redução da absorvância solar, porém somente na orientação Norte, e com valor de  $\Delta\alpha$  menor que para as demais cidades em que isto acontece (Figura 3).

Levando em conta o comportamento de cada cor separadamente, percebe-se que as amostras de tinta branca, estão entre aquelas que apresentam maior diferença entre os valores medidos para cada orientação solar, sendo de forma geral, a amostra exposta a Norte aquela com menor  $\Delta\alpha$ . Há uma exceção apenas para a cidade de São Carlos, onde a amostra voltada à Oeste obteve menor diferença. Para esta cor, não fica claro um padrão de comportamento entre as diferentes orientações solares, não havendo, para este tempo de envelhecimento, aparente relação entre as amostras expostas em cada face nas diferentes localidades.

Este padrão, entretanto, pode ser visto, por exemplo, para a cor Nectarina (vermelha) se comparados os efeitos nas cidades de Teresina e São Carlos. Para ambas as cidades, os efeitos nas amostras voltadas à Norte e Sul são muito semelhantes, com aumento da variação na face Leste e queda na face Oeste, esta última sendo aquela com valor final mais próximo do inicial. Para Florianópolis, este padrão não se repete, sendo a face Norte aquela com menor variação de absorvância, seguida da orientação Oeste, enquanto Sul e Leste são muito próximas. Isto mostra que, mesmo com semelhanças entre cidades (THE e SCS), para as tintas aqui analisadas não se pode afirmar que o comportamento entre as orientações é semelhante para cada cor em cidades distintas.

Semelhante ao que acontece com a tinta vermelha, pode ser constatado para a cor Urso Polar, onde um padrão pode ser observado no envelhecimento nas cidades de

Teresina e São Carlos. Para ambas, a face Norte possui menor  $\Delta\alpha$ , e se aproxima muito do que acontece na face Leste, com as orientações Sul e Oeste sendo aquelas com maior  $\Delta\alpha$ . Uma maior distinção neste comportamento é vista somente para as amostras à Oeste, pois em São Carlos o aumento da absorptância é semelhante ao que acontece em Norte e Leste, apesar de apresentar valor ligeiramente maior. E assim como para a cor vermelha, para a cidade de Florianópolis o comportamento é diferente, assemelhando-se apenas no fato de a amostra à Norte ser aquela com menor variação entre todas.

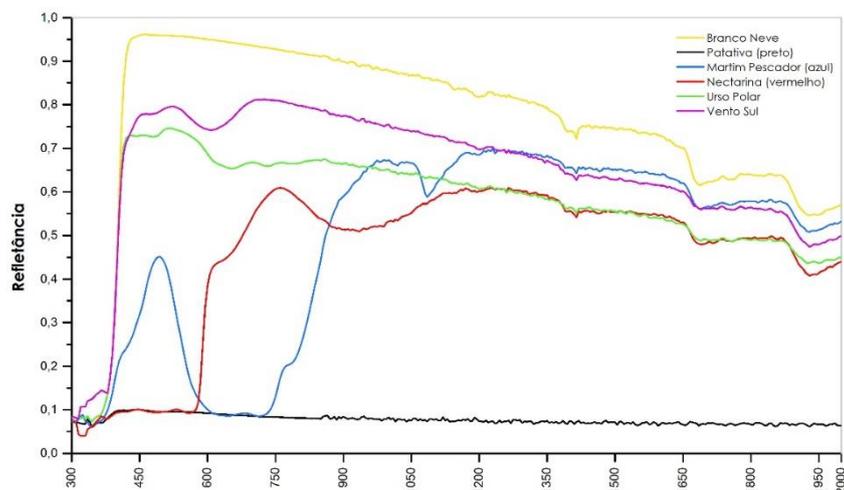
A tinta preta, por sua vez, foi a cor com comportamento mais estável entre as diferentes orientações. Ou seja, os valores finais de absorptância solar das amostras de tinta preta foram os mais próximos entre si, independente da orientação solar em que foram expostas (Figuras 2 e 3).

A respeito do desempenho após o envelhecimento, as tintas Martim Pescador (azul) e Vento Sul, principalmente as envelhecidas nas cidades de Teresina e São Carlos, por exemplo, apresentam comportamento distinto do que acontece para as demais cores. Inicialmente salienta-se que estas foram as únicas cores com redução na absorptância solar, contrário não só do que aconteceu às demais tintas, como também ao que é comumente visto na literatura. Para a cidade de Teresina, percebe-se ainda que a tinta azul apresentou, para todas as orientações, redução da absorptância solar, com maior efeito na face Oeste, onde houve um processo de calcinação da tinta, com formação de pó branco em sua superfície, o que impactou não só sua aparência, mas também reduziu sua absorptância solar.

É interessante salientar que, analisando cada cor separadamente comparando as cidades em que foram expostas, as tintas da cidade de Teresina, foram aquelas com menor alteração do valor final de absorptância solar. Seguidas das amostras expostas em São Carlos, e por fim daquelas localizadas em Florianópolis, onde são vistas as maiores variações se destacadas as mesmas cores e variações de orientação solar. Isto pode ser afirmado tendo em vista o cenário geral do comportamento das cores, contudo, existem amostras com comportamento particular.

Foram observadas semelhanças entre o comportamento de tintas com cores totalmente distintas, como vermelho e Urso Polar, ou ainda azul e Vento Sul. Esta semelhança, foi também observada desde as medições de refletância solar, como pode ser observado na figura 4, onde as curvas destes pares de tintas chegam a ser quase idênticas para os comprimentos de onda pertencentes à região do infravermelho. Credita-se à esta semelhança de absorptância no infravermelho e a pequena variação na região visível que os comportamentos destes pares de cores sejam semelhantes, mesmo após o envelhecimento natural.

**Figura 4: Curvas de refletância espectral para as tintas nas cores Branco Neve, Patativa, Martim Pescador, Nectarina, Urso Polar e Vento Sul.**



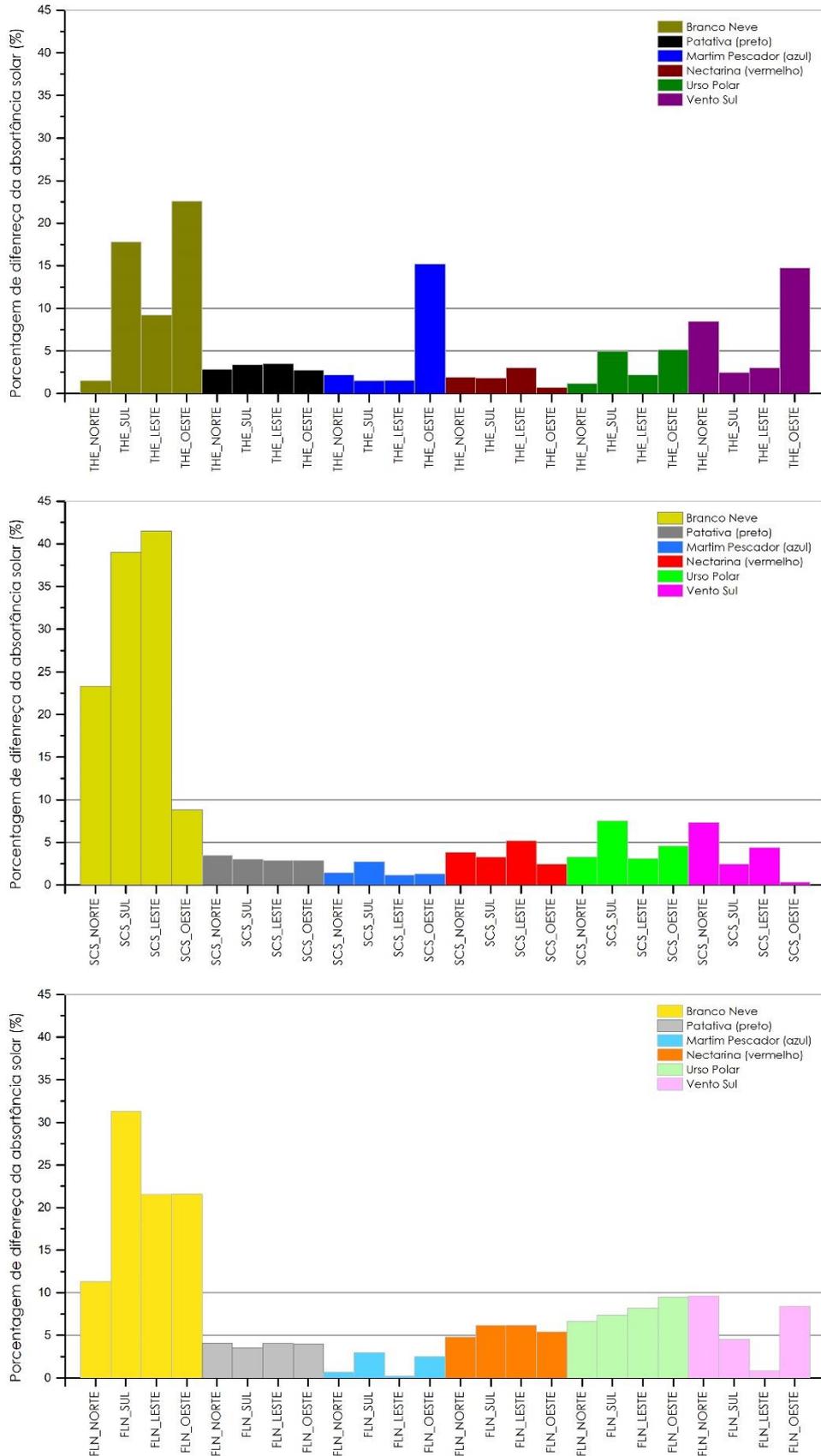
Fonte: As autoras

Tanto a presença de padrões de comportamento entre algumas tintas, quanto as ausências destes para outras cores já são indício de que, assim como proposto no início deste trabalho, existem alterações nos efeitos do envelhecimento natural na absorvância solar das tintas de acordo, não só com a orientação solar, mas principalmente com a localização em que estão expostas. Há, contudo, a necessidade de um maior aprofundamento na análise das características de cada local, para a compreensão de como isto acontece, visto que nas cidades de Teresina (latitude - 5°21') e São Carlos (latitude -22°01'), apesar de se encontrarem latitudes muito distintas, resultaram em comportamentos mais próximos do que ao se comparar São Carlos e Florianópolis (latitude -27°35'), com latitudes mais próximas. É importante, então, que sejam levados em consideração todos os aspectos do clima de cada local, como a pluviosidade e material particulado em suspensão, além da quantidade de insolação que recebem ao longo do ano.

As variações entre os valores iniciais e finais apresentados até o momento, permitem uma análise mais detalhada da forma como cada orientação solar e localização impactou na absorvância solar das tintas. Porém, percebe-se que a grande maioria das variações se encontra com valores abaixo de 0,05 (considerando-se o valor absoluto), com somente três amostras apresentando aumento de absorvância solar superior a este valor, e uma com redução da absorvância superior, sendo ela a cor azul Oeste da cidade de Teresina, com queda de 0,10 (inicial de 0,64 e final de 0,54).

Já, tendo em conta o percentual de aumento da absorvância solar (figura 5), nota-se que as amostras brancas foram aquelas com maior variação. Para esta cor, exceto o que aconteceu para as faces Norte e Leste da cidade de Teresina e na face Oeste da cidade de São Carlos, todas as amostras apresentam acima de 10% de aumento de absorvância, quando comparado ao inicial. Sendo ainda, para a cidade de São Carlos, aquelas com maior percentual de aumento (branco Leste com 41,52% de aumento).

**Figura 5: Percentual de diferença da absorvância solar das amostras após o envelhecimento, separadas por cidade: Teresina (acima), São Carlos (centro) e Florianópolis (abaixo).**



Fonte: As autoras

De forma geral, a cidade de Teresina tem o menor percentual de diferença da absorvância solar, para todas as cores, com exceções que acontecem para as cores azul e Vento Sul. Para a primeira, a amostra Oeste de Teresina tem alto percentual de diferença da absorvância, como já discutido ao longo deste artigo, percentual este que se destaca entre os demais para a mesma cor. O mesmo acontece para a cor Vento Sul (face Oeste).

A partir de todo o exposto, percebe-se que as variações de absorvância solar, apesar de, para algumas cores, apresentar comportamentos semelhantes, não seguem um padrão exato de como cada orientação solar impacta na degradação. Para que esta afirmação possa ser feita, são necessários trabalhos com maior quantidade de amostras e cores. Contudo, pode-se afirmar que a localização onde as tintas estão expostas tem grande impacto na forma como as intempéries e características locais irão interferir em seu processo de envelhecimento.

Além disso, nota-se que a face Norte não é aquela com maior impacto para a maioria das amostras, e tendo em conta que as normas internacionais relacionadas ao envelhecimento natural indicam que as amostras sejam voltadas para esta direção, sugere-se a necessidade de uma revisão dos procedimentos quando expostos no Brasil. Estas normas consideram a incidência solar e climas do hemisfério Norte, que não se igualam ao que é visto e experienciado no hemisfério Sul, o que só intensifica a necessidade de normas nacionais, considerando-se as especificidades de um país com dimensões continentais como o Brasil.

## CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste artigo indicam que, após um ano de envelhecimento natural há, de forma geral e para quase totalidade das amostras aqui analisadas, um aumento no valor de absorvância solar para as tintas expostas nas cidades de Teresina, São Carlos e Florianópolis. Contudo, existem exceções a este comportamento, como o percebido nas amostras Martim Pescador (azul) que tiveram, em sua maioria, redução da absorvância solar. Comportamento semelhante pôde ainda ser observado na tinta Vento Sul. Todavia, nesta última não foi percebido o processo de calcinação nas amostras, como aconteceu para a cor azul.

Observou-se ainda que a tinta de cor preta (Patativa) apresentou certa uniformidade no valor final da absorvância solar, sem grandes variações mesmo se comparadas às amostras expostas em diferentes orientações solares ou cidades distintas. Em contrapartida, as cores com maiores diferenças entre os valores finais  $\alpha_{\text{solar}}$  foram as mais claras, Branco Neve (branco) e Vento Sul. Sendo a tinta branca aquela com maior percentual de alteração da  $\alpha_{\text{solar}}$  em todas as cidades. Notou-se, ainda, que a cidade de Teresina foi aquela que, de forma geral e para todas as cores, apresentou menor percentual de alteração da absorvância solar após um ano de envelhecimento.

Contudo, ainda não foi possível concluir quais as relações diretas entre as orientações solares e os efeitos do envelhecimento natural na absorvância solar das tintas, já que para Teresina nota-se um padrão em que a face Oeste foi aquela em que as amostras

tiveram maior degradação, porém este padrão não se repete para as demais cidades. Todavia, afirma-se que há um impacto direto da localidade em que a exposição aconteceu, mas sugere-se que mais investigações sejam realizadas, para melhor compreensão de como o clima, o entorno e a orientação solar impactam na absorvência solar.

Por fim, salienta-se a necessidade de que as normas internacionais sejam revisadas para o cenário brasileiro, com relação à orientação indicada para exposição das amostras para a análise do envelhecimento natural. É indicado que sejam localizadas à Norte, contudo, percebeu-se que, para nenhuma das cidades esta foi uma orientação com maiores ou mais significativos impactos na absorvência solar. Considerando ainda a extensão do território e variedade de condições climáticas nele presentes, sugere-se uma maior investigação nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, em vista de estabelecer padrões e critérios próprios para as características locais. Além disso, é interessante a futura análise estatística das correlações entre as cores, para uma compreensão mais ampla das diferenças no comportamento de cada tinta após um ano de envelhecimento.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- [1] 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.
- [2] LEVINSON, R.; CHEN, S.; FERRARI, C.; BERDAHL, P.; SLACK, J. Methods and instrumentation to measure the effective solar reflectance of fluorescent cool surfaces. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 752–765, 2017.
- [3] GILBERT, H.; MANDEL, B. H.; LEVINSON R. Keeping California cool: Recent cool community developments. **Energy and Buildings**, v. 114, p.20-26, 2016.
- [4] SANTAMOURIS, M.; HADDAD, S.; SALIARI, M.; VASILAKOPOULOU, K.; SYNNEFA, A.; PAOLINI, R.; FIORITO, F. On the energy impact of urban heat island in Sydney: Climate and energy potential of mitigation technologies. **Energy and Buildings**, v. 166, p. 154–164, 2018.
- [5] PISELLO, A. L., CASTALDO, V. L., PISELLI, C., PIGNATTA, G., COTANA, F. Combined thermal effect of cool roof and cool façade on a prototype building. **Energy Procedia**. v. 7, p. 1556-1561, 2015.
- [6] SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 11, p. 1167–1174, 2007.
- [7] 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.

- [8] DORNELLES, K. A., CARAM, R., SICHIERI, E. Natural weathering of cool coatings and its effect on solar reflectance of roof surfaces. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1587-1592, 2015.
- [9] MASTRAPOSTOLI, E.; SANTAMOURI, M.; KOLOKOTSA, D.; VASSILIS, P.; VENIERI, D.; GOMPAKIS, K. On the ageing of cool roofs: Measure of the optical degradation, chemical and biological analysis and assessment of the energy impact. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 191–199, 2016.
- [10] ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N. Optothermal properties of façade coatings. Effects of environmental exposure over solar reflective index. **Journal of building engineering**, v. 32, 2020.
- [11] AYOAMA, T.; SONODA, T.; TAKEBAYASHI, H. Study on the Accelerated Aging Test Method in the Development of a Self-Cleaning Topcoat for Cool Roofs. **Atmosphere**, v. 11, 2020.
- [12] 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**, v. 153, p. 287–296, 2017.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] ARAÚJO, A. C. H.; DORNELLES, K. A. Estação de envelhecimento natural para análise de degradação da absorvância de telhas e monitoramento de temperaturas superficiais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, p. 247-267, abr/jun, 2022.
- [17] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E903**: Standard test method for solar absorptance, reflectance and transmittance of materials using integrating spheres. ASTM International, 2020.
- [18] \_\_\_\_\_. **G173**: Standards tables for reference solar spectral irradiances: Direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. ASTM International, 2020.