ANÁLISE DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE TELHAS CERÂMICAS E DE FIBROCIMENTO COM DIFERENTES ABSORTÂNCIAS

Lorena Couto (1); Kelen Dornelles (2)
(1) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, lorenacouto@usp.br, Universidade de São Paulo
(2) Pós-doutora, Professora do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, kelend@usp.br, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-Carlense, 400, São Carlos-SP, (16) 3373-9285

RESUMO
O conhecimento do impacto dos materiais escolhidos para a envoltória das edificações é importante para que sejam tomadas decisões projetuais eficazes para cada tipo de clima. Visando contribuir para esta discussão, o presente artigo apresenta a análise de temperaturas superficiais de telhas cerâmicas naturais e resinadas, e telhas de fibrocimento expostas ao sol, relacionando-as com a absortância solar das mesmas. Para isso, foi realizada a medição da refletância espectral para amostras das 27 telhas selecionadas, utilizando um espectrofotômetro com esfera integradora, e posterior cálculo da absortância solar. As temperaturas superficiais das telhas foram medidas em três dias distintos devido a quantidade de amostras analisadas, com exposição destas ao Sol por 3h e aferição de temperatura a cada 6 minutos. Os resultados encontrados mostram que o aumento de até 20% da absortância solar das telhas, para os três tipos analisados, corresponde a um acréscimo de aproximadamente 5°C na temperatura superficial. Concluiu-se, ainda, que o acabamento superficial das telhas, como sua porosidade e homogeneidade de acabamento, são fatores importantes para as variações de temperatura superficial de telhas com valores de absortância solar semelhantes.

Palavras-chave: Absortância solar, temperatura superficial, cobertura.

ABSTRACT
The knowledge of the effect of materials chosen for the building envelope is important for effective design decisions for each type of climate. Contributing to this discussion, this paper aims to analyze the surface temperature of natural and resin-coated ceramic roof tiles, and fiber cement roofing sheets exposed to the sun, relating it to their solar absorptance. In this context, spectral reflectance was measured for samples of 27 selected tiles using a spectrophotometer with an integrating sphere, and the solar absorptance of the roof tiles were calculated. The surface temperatures of the roof tiles were measured on three different days due to the number of samples analyzed, exposing them to the sun for 3 hours and measuring the temperature every 6 minutes. The results show that an increase of up to 20% in the solar absorptance of the roof tiles, for the three types analyzed, corresponds to an increase of approximately 5°C in their surface temperature. It was also concluded that the surface finish of the roof tiles, such as their porosity and homogeneity of finish, are important factors for the surface temperature variations of roof tiles with similar solar absorptance values.

Keywords: solar absorptance, surface temperature, roof.

1. INTRODUÇÃO

A envoltória das edificações é de grande importância, conforme afirmam Synnefa, Santamouris e Akbari (2007), para o desempenho térmico e energético das edificações. Isto porque são as superfícies externas aquelas que irão interferir de forma mais significativa na quantidade de calor a ser absorvido ou refletido, e consequentemente, no calor que será transmitido para o interior das edificações.

Pesquisas como as realizadas no *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL) apresentam que a economia com a diminuição do gasto energético das edificações para regiões metropolitanas dos Estados Unidos pode chegar a 194 milhões de dólares (KONOPACKI; AKBARI; GARTLAND, 1997). Estes dados confirmam o grande potencial do uso de materiais refletivos no envelope dos edifícios para a diminuição do consumo de energia com resfriamento artificial, contribuindo com melhores condições de conforto térmico nos ambientes internos das edificações de forma passiva.

A absortância solar das superfícies é uma propriedade que está diretamente relacionada a seu ganho de calor, já que indica a quantidade da radiação incidente na superfície que não é refletida pela mesma, mas sim absorvida. Esta característica faz com que a utilização de materiais altamente refletivos funcione como estratégia passiva para amenizar os efeitos negativos das ilhas urbanas de calor (SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011).

Pesquisas como as realizadas por Dornelles (2008) e Couto (2019) apresentam valores de absortância e refletância solar para tintas e telhas, respectivamente. Porém, é necessária a compreensão de como o aumento da absortância solar interfere diretamente na temperatura superficial dos materiais da envoltória das edificações. A este respeito, Parker e Barkaski Jr. (1997) apresentam como resultado de estudos realizados a partir de medições *in loco*, que a utilização de *cool materials* (materiais com alta refletância solar e emitância térmica) pode chegar à redução entre 10 e 60% das temperaturas internas dos ambientes, sendo os maiores percentuais resultado do emprego de materiais refletivos tanto nas paredes das fachadas, quanto na cobertura das edificações.

Estudo realizado por Mastrapostoli *et al*. (2015) apresenta, além de outros aspectos do albedo de coberturas de duas edificações escolares, as mudanças de temperatura superficial destes locais quando aplicada uma camada de acabamento considerado frio (*cool material*), com redução de aproximadamente 25% na radiação absorvida pela superfície. O resultado apresentado pelos autores mostra uma diminuição da temperatura superficial das coberturas entre 7 e 10 K, o qual corrobora para a importância do conhecimento da absortância solar dos materiais construtivos, permitindo que sejam adotados aqueles mais eficazes para as diversas situações climáticas e suas especificidades.

Ainda com relação ao efeito da absortância solar na temperatura superficial, Synnefa *et al.* (2007) apresentam resultados os quais indicam que quando aplicados *cool materials* no envelope construtivo, há redução de até 10°C na temperatura da superfície, se comparado a um material da mesma cor, porém menos refletivo. Em pesquisa realizada por Uemoto, Sato e John (2010) a aplicação de dois tipos de tinta branca sobre telhas de fibrocimento resultou na redução da temperatura superficial das telhas, além da redução da temperatura superficial na parte interna das telhas, ou seja, confirmando a redução da transmissão de calor para o interior das edificações através do uso de *cool materials*. Estes autores atestaram também que ao pintarem as telhas de fibrocimento com uma tinta de cor marrom, com absortância maior que o fibrocimento natural, houve um ganho na temperatura superficial das telhas, tanto em sua face externa, quanto em sua face interna (UEMOTO; SATO; JOHN, 2010).

Além de estar diretamente relacionada à temperatura superficial da envoltória e, consequentemente, à temperatura interna das edificações, materiais com alta absortância podem ainda interferir no consumo de energia para condicionamento dos ambientes. A exemplo desta influência, utilizando simulação computacional e a aplicação de placas inclinadas tipo TiS-ETICS (absortância menor de 15%), com o intuito de reduzir a absortância solar das fachadas, Almeida *et al.* (2021) observou uma redução anual entre 11% e 32% no consumo de energia em edificações com maior necessidade de uso de condicionamento de ar para resfriamento, para as cidades de Porto e São Paulo, respectivamente.

Confirmando a queda no consumo de energia para resfriamento, e ainda a redução da temperatura superficial das telhas com o uso de superfícies com baixa absortância solar, Chen e Lu (2021) alcançaram reduções de até 30°C na superfície das telhas quando aplicado revestimento frio em telhado que inicialmente possuía absortância de 0,80, e temperatura superficial interna das telhas com redução de até 13,8°C para o mesmo caso. Os autores observaram economia entre 7,1% no consumo de energia para resfriamento na cidade de Hong Kong quando reduzida a absortância da cobertura (CHEN; LU, 2021).

Neste contexto, percebe-se o efeito da absortância solar na temperatura superficial das telhas, e como estas se relacionam com a temperatura interna dos ambientes, sendo importante o estudo desses efeitos para o contexto brasileiro considerando-se a diversidade de materiais e componentes presentes na construção civil

nacional. No presente trabalho, esta investigação é realizada na cidade de São Carlos, com amostras de telhas cerâmicas naturais e resinadas, e telhas de fibrocimento, modelos estes amplamente utilizados na construção civil brasileira.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo analisar a relação entre a absortância solar de telhas cerâmicas e de fibrocimento e a variação da temperatura superficial quando expostas ao sol em uma mesma latitude, a partir da relação entre os valores medidos para 27 amostras selecionadas.

3. MÉTODO

Para atingir o objetivo deste trabalho, a metodologia utilizada se baseou na medição da refletância espectral e cálculo da absortância solar de 27 diferentes telhas, assim como da temperatura superficial das mesmas quando expostas ao sol. As telhas selecionadas são cerâmicas com acabamento natural (TCN) e resinado (TCR), e telhas de fibrocimento (TFC) com acabamento natural, conforme apresentado na tabela 1. Os modelos selecionados para esta pesquisa, foram aqueles encontrados com maior facilidade no mercado local, escolhendo-se os modelos com maior disponibilidade e procura pelos profissionais.

Tabela 1 - Relação de telhas utilizadas separadas por modelo e acabamento.

Imagem	Código	Imagem	Código	Imagem	Código	Imagem	Código	Imagem	Código
	TCN01		TCN06		TCR01		TCR06		TFC01
	TCN02		TCN07		TCR02		TCR07		TFC02
	TCN03		TCN08		TCR03		TCR08		TFC03
	TCN04		TCN09		TCR04		TCR09		TFC04
	TCN05		TCN10		TCR05		TCR10		TFC05
			TCN11						TFC06

3.1. Medição de Absortância Solar

Para a medição da refletância espectral das telhas e cálculo da absortância solar, foram retiradas amostras medindo aproximadamente 10 cm em cada lado para que assim elas pudessem ser inseridas no espectrofotômetro com esfera integradora da marca Varian modelo CARY 5G. Foi realizada a medição da refletância espectral de cada telha para as regiões do espetro solar entre 300 e 2500 nm, com intervalos de 1 nanômetro. Esta etapa de medições seguiu as recomendações da norma ASTM E903 (ASTM, 2020a).

De posse dos dados obtidos pelo espectrofotômetro com esfera integradora, seguiu-se com o ajuste ao espectro solar padrão dos valores de refletância espectral, segundo a norma ASTM G173 (ASTM, 2020b), e posterior cálculo da absortância solar ajustada ao espectro solar padrão, para cada telha selecionada.

3.2. Medição de Temperaturas Superficiais

Para as medições de temperatura superficial, as telhas foram expostas no Campus 01 da Universidade de São Paulo, na cidade de São Carlos – SP, localizada na zona bioclimática 04, segundo a NBR 15220-3 (2005), em uma mesa com tampo em MDF e manta de lã de vidro ISOVER Wallfelt +4 (Figura 1) que foi montada para este experimento. As medições foram divididas em três grupos, o primeiro e o segundo nos dias 04 e 05 de julho de 2018, respectivamente, e o terceiro no dia 11 de junho de 2019, isto foi necessário devido a quantidade de telhas a serem medidas, buscou-se que o intervalo de medições de temperaturas não ultrapassasse muito de 5 minutos, para que assim as variações pudessem ser observadas com mais precisão.

Visto esta necessidade, os grupos foram criados dividindo as telhas por acabamentos e modelos, telhas de fibrocimento em um dia, telhas cerâmicas comuns em outro grupo, e telhas cerâmicas com modelos menos comuns agrupadas em outro dia de medição. Salienta-se que as datas de medição foram estipuladas conforme a disponibilidade do material a ser utilizado, tanto das amostras, quanto dos equipamentos

necessários, e ainda considerando-se as características do dia, esperando-se um dia de céu claro, para menor interferência possível na quantidade de radiação solar incidente nas telhas.



Figura 1 - Mesa coberta por lã de vidro, com telhas expostas ao sol.

O tempo de exposição foi de três horas seguidas, das 11h às 14h, para os três dias, com medições realizadas a cada 06 minutos, totalizando 10 medições por hora, utilizando o termômetro de infravermelho com mira laser modelo Testo 830-T1. Este horário foi selecionado considerando a grande incidência de radiação solar, dando prioridade a este período devido a impossibilidade de que a medição fosse realizada durante todo o dia.

Para maior compreensão das condições climáticas do local nas datas de medição da temperatura superficial das amostras, na tabela 1 são apresentados os dados médios de temperatura do ar, umidade relativa, radiação incidente, velocidade dos ventos e índice pluviométrico, referentes ao período em que aconteceram as medições e obtidos através da estação meteorológica localizada no Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade de São Paulo, campus São Carlos – LCA/USP.

Tabela 1 - Dados meteorológicos.

DIA 04.07.2018				
Temperatura do ar (°C)	UR média (%)	Radiação (W/m²)	Velocidade do Vento máxima (m/s)	Chuva (mm)
26,56571	42,27571	553,6571	3,307143	0
DIA 05.07.2018				
Temperatura do ar (°C)	UR média (%)	Radiação (W/m²)	Velocidade do Vento máxima (m/s)	Chuva (mm)
26,41857	41,03714	577,4714	3,414286	0
DIA 11.06.2019				
Temperatura do ar (°C)	UR média (%)	Radiação (W/m²)	Velocidade do Vento máxima (m/s)	Chuva (mm)
22,18571	59,48571	1,328571	3,914286	0

Fonte: Adaptado de USP, 2018.

Devido aos formatos distintos de cada uma das telhas e a diferente incidência da radiação solar em cada uma delas, a medição de suas temperaturas superficiais foi feita em três pontos conforme apresentado na figura 2.

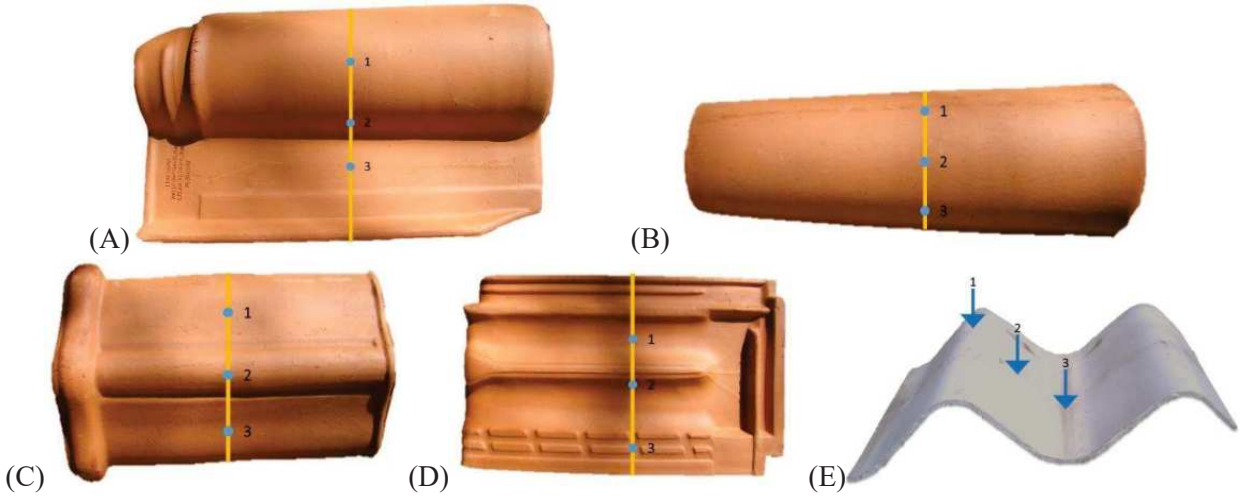


Figura 2 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas Americanas, Romanas, Portuguesas e Italianas (A); Paulistinhas (B), Cumeeiras (C), Francesas (D) e de Fibrocimento (E).

A temperatura superficial final de cada telha analisada foi então obtida através da média entre as três temperaturas medidas, conforme a Equação 1.

$$T_S = \frac{T_1+T_2+T_3}{3}$$ Equação 1

Sendo:
Ts = Temperatura superficial média (°C);
T_1 – Temperatura superficial no ponto 01 (°C);
T_2 = Temperatura superficial no ponto 02 (°C);
T_3 = Temperatura superficial no ponto 02 (°C).

4. RESULTADOS

4.1. Absortância Solar

A partir dos dados medidos de absortância solar para o grupo amostral selecionado, observa-se que as absortâncias das telhas cerâmicas naturais e resinadas, e das telhas de fibrocimento, são bastante próximas., o que permitiu que se calculasse a média entre as absortâncias para cada tipo de telha (Tabela 2), sendo as telhas cerâmicas naturais as mais refletivas, entre as amostras.

Analisando-se a absortância solar das telhas de forma geral (Tabela 3), observa-se que há maior variação entre as telhas cerâmicas do que entre as telhas de fibrocimento, sendo as telhas TCN08 (α=0,46) e TFC02 (α=0,48) aquelas com menores absortâncias, e TCR06 (α=0,60) e TFC04 (α=0,59) as que apresentam maior absortância solar. Destaca-se que as telhas cerâmicas apresentaram os maiores e menores valores de absortância solar, considerando-se todas as amostras selecionadas.

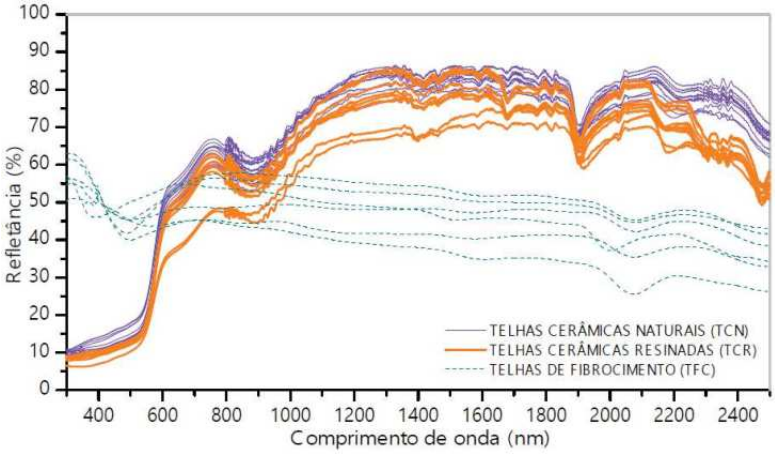
Tabela 2 - Médias das absortâncias das telhas analisadas.

TELHA	α_{solar}
Telhas cerâmicas naturais (TCN)	0,49
Telhas cerâmicas resinadas (TCR)	0,53
Telhas de fibrocimento (TFC)	0,52

Avalia-se que a maior variação acontece entre as telhas cerâmicas devido aos diferentes tipos de acabamento (natural e resinado), assim como pela diferença de uniformidade apresentada. Esta diferença deve-se, principalmente, em relação ao processo de queima durante a produção, assim como à rugosidade superficial apresentada por algumas telhas (avaliada aqui de forma visual). Por outro lado, nas telhas de fibrocimento o processo de produção permite maior uniformidade nos acabamentos superficiais, mesmo entre fabricantes distintos.

No Gráfico 1 são apresentadas as curvas de refletância espectral das telhas, separadas por grupos de materiais e acabamentos. Percebe-se que, apesar da semelhança entre os valores finais de absortância solar de cada tipo de telha, as telhas cerâmicas e as de fibrocimento se comportam de forma distinta com relação à reflexão para cada região do espectro solar.

Gráfico 1 - Curvas de refletância espectral das amostras estudadas, separadas por tipo e acabamento.



Para o grupo das telhas cerâmicas, aquelas com acabamento natural possuem curvas mais próximas na região do infravermelho, quando comparadas com as telhas cerâmicas resinadas, onde há maior variação

entre as curvas. Para as telhas de fibrocimento, as curvas possuem variações maiores que as telhas cerâmicas, principalmente em comparação às telhas cerâmicas naturais.

Apesar das semelhanças nos valores finais de absortância solar, as telhas de fibrocimento apresentam alta reflexão na região visível do espectro solar, com redução ao longo do infravermelho próximo. Por outro lado, as telhas cerâmicas apresentam curvas de refletância espectral crescentes de forma contínua ao longo do espectro. Assim, pode-se concluir que dentre as amostras analisadas nesta pesquisa, as telhas cerâmicas refletem maior marte da radiação solar referente ao infravermelho, região do espectro responsável por parcela significativa do ganho de calor das superfícies.

4.2. Temperatura Superficial

Os valores de temperatura superficial máxima e mínima, para o período em que as telhas estiveram expostas à radiação solar, são apresentados na tabela 3. Também são apresentadas as diferenças entre os valores de temperatura máxima e mínima de cada amostra. Os gráficos 2 a 4 mostram a variação dos valores medidos durante a exposição das telhas, assim como a temperatura do ar para cada um dos dias de medição.

Tabela 3 - Temperaturas superficiais máxima, mínima e diferença entre elas, e absortância solar para cada uma das telhas analisadas.

TELHAS CERÂMICAS									
Telha	T. Mín. (°C)	T. Máx. (°C)	$\Delta T_{máx}$-$T_{mín}$ (K)	α_{solar}	Telha	T. Mín. (°C)	T. Máx. (°C)	$\Delta T_{máx}$-$T_{mín}$ (K)	α_{solar}
TCN01	32,43	44,07	11,64	0,49	TCR01	35,53	47,03	11,50	0,53
TCN02	33,27	43,90	10,63	0,51	TCR02	33,93	44,70	10,77	0,53
TCN03	34,30	44,53	10,23	0,52	TCR03	32,67	45,13	12,46	0,52
TCN04	32,87	42,57	9,70	0,52	TCR04	32,80	45,50	12,70	0,52
TCN05	33,97	43,37	9,40	0,48	TCR05	37,10	48,57	11,47	0,59
TCN06	34,50	44,67	10,17	0,47	TCR06	37,00	47,30	10,30	0,60
TCN07	34,70	43,77	9,07	0,47	TCR07	31,75	44,20	12,45	0,50
TCN08	34,53	44,27	9,74	0,46	TCR08	32,05	44,00	11,95	0,50
TCN09	30,05	44,55	14,50	0,49	TCR09	32,05	44,30	12,25	0,54
TCN10	30,55	43,95	13,40	0,49	TCR10	31,20	42,00	10,80	0,50
TCN11	30,90	42,30	11,40	0,47					
TELHAS DE FIBROCIMENTO									
Telha	T. Mín. (°C)	T. Máx. (°C)	$\Delta T_{máx}$-$T_{mín}$ (K)	α_{solar}	Telha	T. Mín. (°C)	T. Máx. (°C)	$\Delta T_{máx}$-$T_{mín}$ (K)	α_{solar}
TFC01	30,73	43,10	12,37	0,49	TFC04	31,77	43,4	11,63	0,59
TFC02	32,30	46,95	14,65	0,48	TFC05	32,37	43,5	11,13	0,57
TFC03	33,00	45,45	12,45	0,49	TFC06	31,80	41,75	9,95	0,52

Observando-se os gráficos de 2 a 4, percebe-se que o pico de temperatura registrada para as telhas, de forma geral, aconteceu entre os últimos momentos de medição. Entre as amostras selecionadas, aquela que apresentou a maior variação de temperatura, entre a temperatura inicial e a final, foi a TFC02, e a que apresentou menor variação foi a TCN05.

Gráfico 2 - Temperaturas superficiais grupo de medição 01.

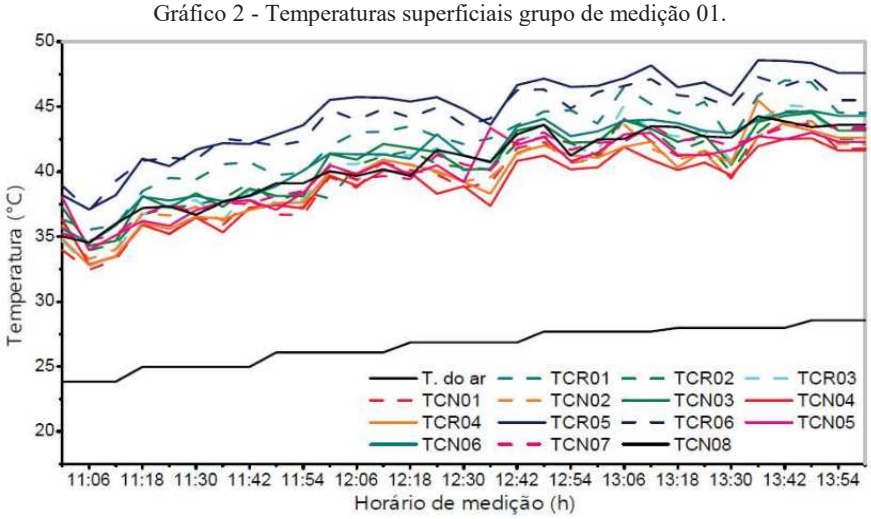


Gráfico 3 - Temperaturas superficiais grupo de medição 02.

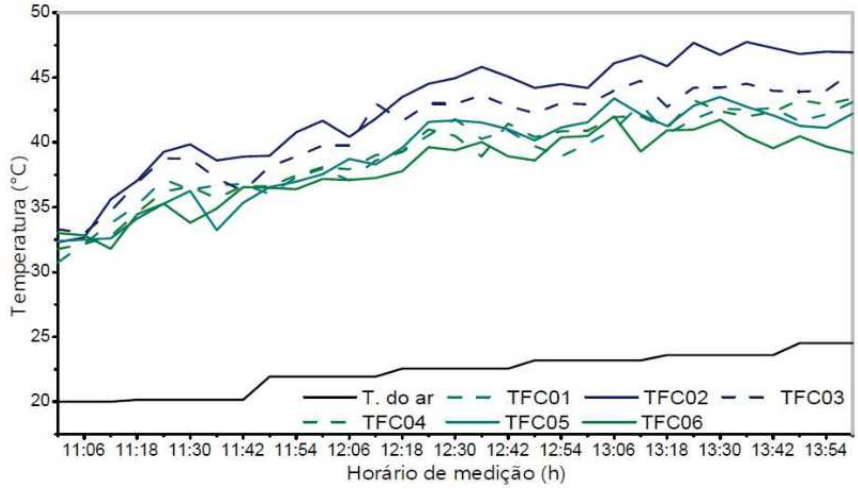
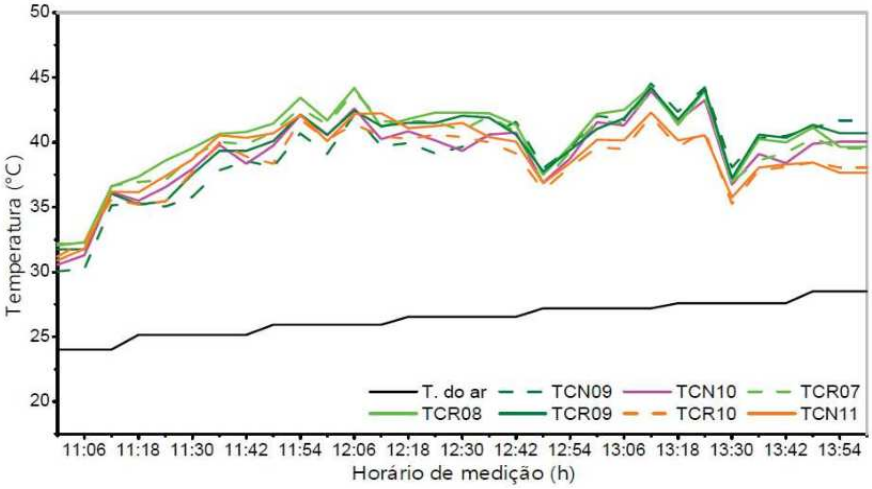


Gráfico 4 - Temperaturas superficiais grupo de medição 03.



As telhas com maior e menor temperatura máxima, foram as telhas TCR05 e TFC06, e aquelas com maior e menor temperatura mínima, foram as telhas TCR05 e TCN09, conforme pode ser observado na tabela 3.

Considerando-se as telhas cerâmicas, percebe-se que aquelas com acabamento natural, de forma geral, tiveram menor variação de temperatura, e as telhas de acabamento resinado tiveram maiores variações de temperatura. Isto indica que as telhas resinadas absorveram mais calor que as telhas naturais, o que está diretamente relacionado à absortância solar de suas superfícies.

Para melhor visualizar as variações de temperatura superficial das telhas separando-as por grupos conforme o tipo e acabamento, pode-se observar nos gráficos 5 a 7 a amplitude térmica de cada uma das amostras durante seu período de exposição ao Sol.

Gráfico 5 - Variação das temperaturas superficiais das telhas cerâmicas naturais.

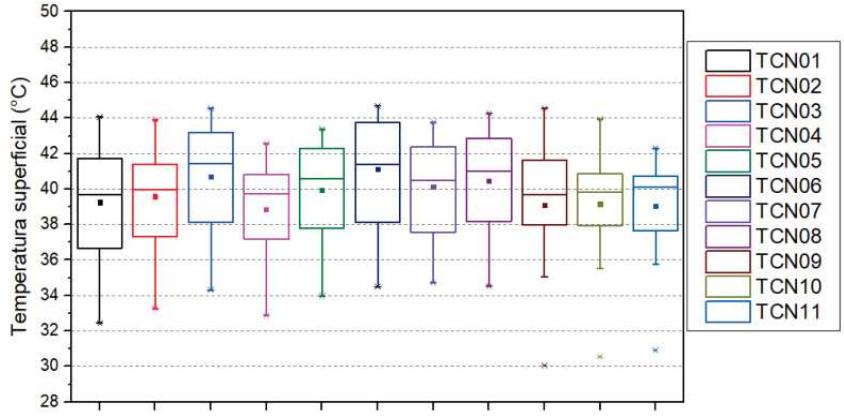


Gráfico 6 - Variação das temperaturas superficiais das telhas cerâmicas resinadas.

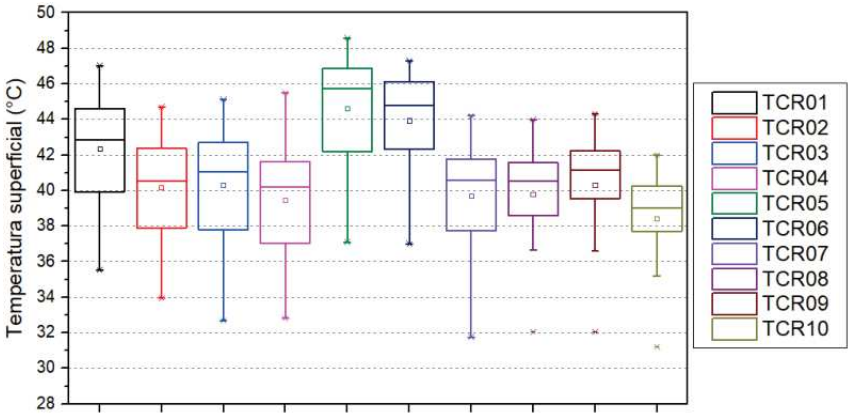
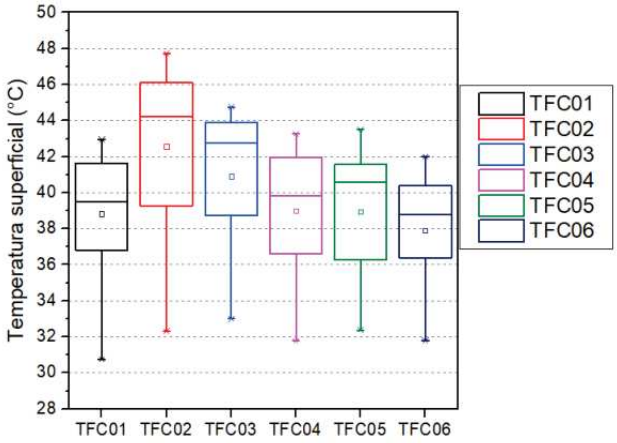


Gráfico 7 - Variação das temperaturas superficiais das telhas de fibrocimento.



Percebe-se, a partir dos gráficos 5 a 7, que a amplitude térmica das telhas de fibrocimento é maior que para as telhas cerâmicas, mesmo para aquelas com mesma absortância térmica, como as telhas TFC02 (α=0,48) e a TCN05 (α=0,48), sendo as temperaturas superficiais das telhas cerâmicas mais homogêneas. Isso se justifica porque, conforme indicado na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), as telhas de fibrocimento possuem capacidade térmica menor que as telhas cerâmicas.

Considerando as telhas cerâmicas e de fibrocimento, de uma forma geral, as telhas de fibrocimento apresentam as maiores variações de temperatura, e as telhas cerâmicas naturais aquelas com menor variação de temperatura, o que reflete o efeito da absortância solar das superfícies, pois as telhas cerâmicas naturais possuem os menores valores para absortância solar e as de fibrocimento têm absortância solar maior.

4.3. Relações entre a Absortância Solar e a Temperatura Superficial

A partir dos valores de temperatura superficial e absortância solar das telhas analisadas neste trabalho, pode-se estabelecer as relações entre as diferenças dessa propriedade da superfície das amostras e o aumento de temperatura das mesmas durante o tempo de exposição ao Sol.

Observando-se a tabela 3 já apresentada, pode-se constatar que as telhas que apresentam menor absortância solar, são também aquelas com menor aumento de temperatura superficial, ou seja, com menor diferença entre a temperatura mínima e máxima. Para melhor compreensão, a tabela 4 apresenta um recorte para esta análise, onde destaca-se as telhas com maiores e menores valores de absortância solar e suas respectivas diferenças de temperatura. Isto confirma que as telhas com menor absortância solar absorveram menos calor, e consequentemente tiveram menor aumento em suas temperaturas superficiais.

Tabela 4 - Telhas com maiores e menores valores de absortância solar e diferença entre os valores mínimo e máximo de temperatura superficial.

Telha	$\Delta T_{máx}$-$T_{mín}$(K)	α_{solar}	Telha	$\Delta T_{máx}$-$T_{mín}$ (K)	α_{solar}	Telha	$\Delta T_{máx}$-$T_{mín}$ (K)	α_{solar}
TCN03	10,23	0,52	TCR05	11,47	0,59	TFC01	30,73	0,49
TCN04	9,70	0,52	TCR06	10,30	0,60	TFC02	32,30	0,48
TCN08	9,74	0,46	TCR07	12,45	0,50	TFC04	31,77	0,59
TCN11	11,40	0,47	TCR08	11,95	0,50	TFC05	32,37	0,57

Analisando-se separadamente cada uma das telhas de acordo com o acabamento, para as telhas cerâmicas naturais um aumento de 10% na absortância solar resultou em aumentos de aproximadamente 2°C na temperatura superficial máxima (por exemplo, entre as telhas TCN11 e TCN03 com absortâncias respectivamente de 0,47 e 0,52). Já para a telhas cerâmicas resinadas, este mesmo aumento percentual no valor da absortância solar resultou em um aumento de aproximadamente 4°C (por exemplo entre as telhas TCR02 e TCR05). Ainda para este grupo de telhas cerâmicas resinadas, um aumento de 20% da absortância solar resultou também em aproximadamente 5 °C de aumento na temperatura superficial, como entre as telhas TCR06 e TCR10.

Considerando-se as telhas de fibrocimento analisadas neste estudo, percebeu-se que aumentos na absortância solar de até 20% resultaram em acréscimos de aproximadamente 4 °C na temperatura superficial das mesmas, por exemplo entre as telhas TFC02 e TFC05.

A partir das análises das amostras selecionadas, constatou-se que o comportamento entre os diferentes tipos de telhas é semelhante, estabelecendo-se as seguintes relações aproximadas entre a absortância solar e as temperaturas superficiais: quando o aumento na absortância solar é de até 20%, há um aumento da temperatura superficial de aproximadamente 5 °C.

Para finalizar as relações entre a absortância solar e a temperatura superficial, foi realizado o cálculo da correlação entre os valores, com o resultado apresentado no gráfico 8. A correlação observada é positiva, ou seja, conforme a absortância solar aumenta, a temperatura superficial também aumenta, com coeficiente de determinação R^2 de 0,37. Este coeficiente de determinação é considerado baixo para que se possa relacionar as temperaturas superficiais com a absortância solar, para as telhas selecionadas.

Sabendo-se que a absortância solar está diretamente relacionada à temperatura superficial das telhas, faz-se necessário investigar as razões pelas quais correlação entre estes dados não apresenta R^2 próximo a 1. Sugere-se que uma investigação mais aprofundada a respeito da porosidade das telhas, e o impacto desta característica na absorção de calor pelas mesmas. Observando o gráfico 9, pode-se perceber que as telhas resinadas apresentam alto coeficiente de determinação, podendo ainda indicar que esta camada de resina recebida pelas telhas afeta sua absortância solar.

Observando-se na tabela 3 os valores de absortância solar das telhas naturais tanto esmaltadas quanto de fibrocimento, percebe-se que os valores são muito próximos, com diferenças máximas de 11%, sendo a maioria delas menor que 5%. Portanto, a relação entre a absortância solar e a temperatura superficial das telhas, para estes casos em que os valores se encontram tão próximos, se apresenta com menor impacto que as diferenças de acabamento entre as telhas, com situações em que telhas com mesma absortância solar apresentam ganhos de temperatura diferentes (por exemplo TCN06 e TCN07).

Gráfico 8 - Correlação entre absortância solar e temperatura superficial máxima das telhas.

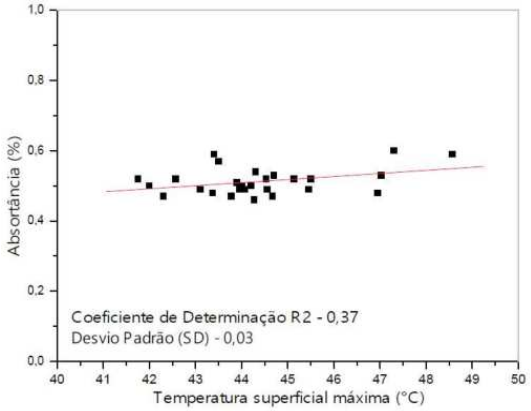
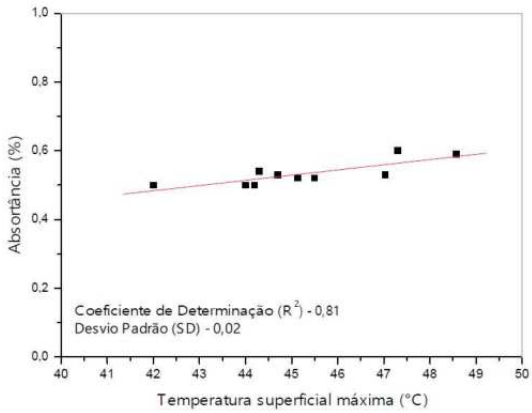


Gráfico 9 - Correlação entre absortância solar e temperatura superficial máxima das telhas cerâmicas resinadas.



5. CONCLUSÕES

A partir das medições de absortância solar realizadas foram calculados valores médios de absortância solar para cada grupo de telhas, separadas por material e acabamento superficial, sendo as telhas cerâmicas naturais as mais refletivas ($\alpha_{média}$ 0,49), seguidas pelas de fibrocimento ($\alpha_{média}$ = 0,52) e por fim como as telhas menos refletivas dentro do grupo amostral analisado, encontram-se as telhas cerâmicas resinadas ($\alpha_{média}$ 0,53).

Também pôde-se atestar a interferência da redução da absortância solar na diminuição da temperatura superficial das telhas, sendo que até 20% de diferença de absortância resultam em média em 5 °C de diferença de temperatura. Esta relação foi observada principalmente nas telhas cerâmicas resinadas, que

apresentaram alto coeficiente de determinação (R^2 0,81) quando realizada a correlação entre os valores de absortância e temperatura superficial.

A partir das medições de absortância solar realizadas, e das relações observadas entre estes valores e as temperaturas superficiais das telhas, pôde-se concluir que o acabamento superficial tem grande interferência nesta propriedade, sendo que aquelas mais rugosas possuem valores maiores de absortância solar, assim como as que possuem acabamento superficial menos uniforme. O que é ainda confirmado pelas telhas analisadas que apresentam absortância solar igual, mas com variações de temperaturas distintas entre a máxima e mínima observadas durante o período de exposição ao Sol. Com base nos resultados encontrados até o momento, é necessário realizar uma análise complementar em estudos futuros a respeito da porosidade das telhas, e o impacto desta característica na absorção de calor pelas mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.; LEAL, V. L.; GRANADEIRO, V.; MENDES, A. A new tilted strips external thermal insulation composite system (TiS-ETICS): Description and performance assessment through thermal and energy simulation for a residential building. **Journal of Buildings Engineering**, v. 38, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. E903 – 12: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM International, 2020a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. G173-03: Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. ASTM International, 2020b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT. **NBR 15220 – 03**: Desempenho térmico das edificações. Parte 2: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

CHEN, J.; LU, L. Comprehensive evaluation of thermal and energy performance of radiative roof cooling in buildings. **Journal of Buildings Engineering**, v. 33, 2021.

COUTO, L. S. B. **Alta II:** Uma alternativa aos métodos de medição de refletância solar para telhas cerâmicas e de fibrocimento. 2019. 167 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Área Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2019.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar em superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

KONOPACKI, S.; AKBARI, H.; GARTLAND, L. (1997). **Cooling energy savings potential of light-colored roofs for residential and commercial buildings in 11 US metropolitan areas**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.

MASTRAPOSTOLI, E.; SANTAMOURIS, 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.

PARKER, D. S.; BARKASZI JR, S. F. Roof solar reflectance and cooling energy use: field research results from Florida. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 105–115, 1997.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, v. 85, p. 3085–3102, 2011.

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, p. 1167-1174, 2007.

UEMOTO, K. L.; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M. Estimating thermal performance of cool colored paints. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 17–22, 2010.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Dados estação meteorológica. Disponível em: https://sistemas.iau.usp.br/eMeteorologica/. Acesso em: jul. 2019.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e ao CNPq pelo auxílio financeiro (Processo CNPq 402720/20169-4).