

POTENCIAL DE USO DE ESPECTRÔMETRO PORTÁTIL PARA DETERMINAÇÃO DA REFLETÂNCIA SOLAR DE TELHAS CERÂMICAS PARA COBERTURA DE EDIFÍCIOS

Lorena Couto (1); Victor Abile (2); Kelen Almeida Dornelles (3)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, lorenacouto@usp.br

(2) Graduando em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, victor.abile@hotmail.com.

(3) 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 principal responsável pela carga térmica das edificações em países tropicais e, conseqüentemente pelo aumento do consumo de energia com aparelhos de condicionamento artificial do ar, é a incidência da radiação solar. Para que este ganho térmico possa ser minimizado, faz-se necessário o uso de materiais com alta refletância solar (e baixa absorptância) nos revestimentos empregados no envelope construtivo. Atualmente alguns estudos já foram realizados a respeito dos índices de refletância dos materiais opacos disponíveis no mercado, que comprovam a importância do conhecimento destes pelos profissionais para que possam lançar mão de revestimentos adequados a cada especificidade do clima brasileiro, que possui diversas variações, visto as dimensões continentais do país. Contudo, os bancos de dados com informações sobre as propriedades térmicas dos materiais deixam a desejar com relação à variedade de produtos existentes, e as formas normatizadas e atualmente empregadas de aferir este índice necessitam de equipamentos extremamente caros, o que dificulta que os profissionais tenham acesso a este tipo de informação. Este trabalho propôs a utilização do espectrômetro ALTA II como alternativa confiável para a medição do índice de refletância de telhas cerâmicas utilizadas na cobertura de edificações, comparando seu desempenho ao do espectrofotômetro com esfera integradora. Como resultado das medições realizadas pôde-se comprovar a confiabilidade do método para determinar a refletância solar de telhas cerâmicas, com resultados muito próximos aos obtidos a partir de medições com o espectrofotômetro.

Palavras-chave: refletância solar, desempenho térmico, espectrômetro ALTA II, telhas cerâmicas.

ABSTRACT

The main factor responsible for the thermal load of buildings in tropical countries, consequently for the increase of energy consumption with artificial air conditioning devices, is the incidence of solar radiation. In order to minimize this thermal gain, it is necessary to use materials high reflectance (low absorptance) for coatings used on the building envelope. Some studies have already been carried out about reflectance indices for opaque materials available on the market, which prove the importance of the knowledge of these by the professionals so that they can use appropriate coatings according to specificities of the Brazilian climate, which has several variations. However, data base with information on the thermal properties of materials are lacking in relation to the variety of existing products, and the standardized and currently used ways of measuring this index require extremely expensive equipment, which makes it difficult for professionals to access this type of information. This work proposes the use of the ALTA II spectrometer as a reliable alternative for the measurement of the reflectance index of ceramic tiles used in the roofing of buildings, buying its performance to that of the spectrophotometer with integrating sphere. As a result, it was possible to confirm the accuracy of this procedure to determine the solar reflectance of ceramic tiles, with results very similar to those obtained through spectrophotometric measurements..

Keywords: solar reflectance, thermal performance, ALTA II spectrometer, ceramic tile.

1. INTRODUÇÃO

Um país como o Brasil, com extensão territorial de dimensões continentais, apresenta grande variação climática e cada região exigirá soluções construtivas específicas, levando em consideração as peculiaridades locais. Porém, pode-se afirmar que quase a totalidade do país recebe insolação de forma intensa durante grande parte do ano, o que torna a compreensão das formas como a radiação solar interfere nas edificações de extrema importância para o estudo da eficiência energética na arquitetura, principalmente em regiões tropicais e de baixa latitude.

Entre os fatores que irão contribuir para o ganho térmico de calor pelas edificações, deve-se considerar os índices de refletância e absorvância, que para superfícies opacas são complementares, sendo sua soma igual a um. O índice de refletância solar é definido pela razão entre a energia solar refletida por uma superfície e a energia total incidente sobre ela.

O estudo do desempenho térmico das edificações é de grande relevância para o controle do conforto térmico dos usuários e também para redução dos gastos com meios artificiais de condicionamento do ar com o objetivo de proporcionar as condições de conforto desejadas. Em uma escala global, os edifícios são responsáveis por 40% do consumo da energia anual total e ainda por um terço das emissões de gases que causam e intensificam o efeito estufa (KRIMPALIS; KARAMANIS, 2015). Isto se dá pelo fato de haver uma grande necessidade de sistemas artificiais de condicionamento das edificações devido, em geral, à ineficiência do desempenho térmico das edificações.

A este respeito, dados como os do Balanço Energético Nacional de 2015 (EPE, 2015) mostram que as edificações brasileiras são responsáveis por 50% da energia elétrica utilizada no país, considerando edifícios residenciais (25%), comerciais (17%) e públicos (8%), números que podem ser reduzidos se as características térmicas dos materiais forem utilizadas de forma consciente pelos projetistas, visando um melhor desempenho térmico dos edifícios.

O mercado da construção civil atualmente tem ampliado a gama de materiais e revestimentos a serem utilizados nas superfícies do envelope construtivo, porém poucas são as informações disponíveis sobre as propriedades térmicas dos revestimentos, como os índices de absorvância, refletância e emitância, além de haver pouco conhecimento sobre os métodos de medição acessíveis aos profissionais da área (DORNELLES, 2017).

A cobertura tem um papel significativo no total da energia solar absorvida pelo edifício, porcentagem aumentada conforme são reduzidas a latitude e o número de pavimentos, com isto, terá grande importância no desempenho térmico dos edifícios localizados na região tropical. Pode-se considerar a utilização de efeitos conjugados de refletância e emitância como alternativa para o controle do fluxo de calor das coberturas (DORNELLES, 2015). Conforme apontam estudos, a redução da absorvância solar nas coberturas pode significar reduções acima de 20% da utilização de energia elétrica para refrigeração de ambientes, além de proporcionar melhorias na qualidade do ar em ambientes urbanos em períodos como o verão, com o aumento da refletância e redução da temperatura ambiente (AKBARI; ROSE, 2001; POMERANTZ *et al.*, 1999; ROSENFELD, *et al.*, 1998; TAHA, 2001, 2002; TAHA *et al.*, 2000).

Em um panorama internacional, já existem recomendações específicas em códigos de obras de edificações a respeito das propriedades térmicas dos materiais utilizados como revestimentos para paredes e coberturas, como é feito nos Estados Unidos. Também são reconhecidos os usos de produtos com alta refletância, como boa opção para reduzir o ganho de calor das edificações, por sistemas de certificação ambiental como o LEED (*U. S. Green Building Council's Leadership in Energy and Environmental Design*) e o *Green Globes* (DORNELLES, 2017).

Além dos sistemas de certificação para edifícios verdes já citados, existem atualmente programas de classificação de coberturas refletivas, que fornecem dados de desempenho térmico e permitem uma análise comparativa entre as opções de coberturas existentes. O *Cool Roofing Rating Council's (CRRC) Product Rating Program* e o *Environmental Protection Agency's Energy Solar Reflective Roof Program*, são dois programas de classificação de coberturas refletivas norte americanos e utilizam a norma ASTM E903-12 (ASTM, 2012) como guia para a avaliação dos valores de refletância.

Organismos internacionais têm desenvolvido, além das certificações já relacionadas, códigos e normas objetivando aproveitar as potenciais economias de energia causadas pelo uso de coberturas refletivas implantando-as nas edificações, tais como as normas ASHRAE 90.1-2013 (ASHRAE, 2013), que atende edifícios comerciais novos e a ASHRAE 90.2-2007 que abrange novas edificações residenciais (ASHRAE, 2007). No estado norte americano da Califórnia foi desenvolvida, no ano de 2013, a norma "*Title 24' building energy-efficiency*" que indica refletância solar inicial mínima de 70% e emitância térmica mínima de 75% para coberturas, considerando que estas propriedades devem ser certificadas pelo CRRC, que utiliza

as normas ASTM E903-2012, ASTM C1549-09 (ASTM, 2009) ou ASTM E1918-06 (ASTM, 2006) para determinar a refletância solar conforme o caso em que será aplicado.

No Brasil, a norma de Desempenho de Edificações Habitacionais – NBR 15575 (ABNT, 2013) indica em suas partes 4 e 5 exigências relacionadas ao desempenho térmico das edificações verificando o atendimento aos critérios para fachadas e coberturas, onde os valores de transmitância térmica são condicionados à absorvância solar das superfícies. Existe ainda o selo PROCEL EDIFICA, Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para edificações comerciais, públicas e residenciais, que restringe o valor de absorvância solar dos materiais empregados no envelope construído para que a edificação obtenha a certificação do nível de eficiência energética. As normas indicadas pelos “Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais” (RTQ-R) como norte para as medições deste índice são a ASTM E1918-06, ASTM E903-12, ASHRAE 74-1998. Em casos de não possibilidade de medição, os valores indicados de absorvância publicados na NBR 15220-2 (ABNT, 2005) podem ser utilizados (INMETRO, 2010).

Conforme é possível observar a partir do que é descrito pelos “Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais”, é comum no Brasil a utilização de normas internacionais para a classificação de produtos desenvolvidos no território nacional. Esta prática acaba por acarretar algumas distorções na avaliação do desempenho destes materiais quando consideradas as particularidades das condições climáticas nacionais, por exemplo.

Portanto, há a necessidade de que os fabricantes apresentem os dados de refletância solar dos revestimentos disponíveis no mercado. No entanto a obtenção destes dados de forma precisa e através de métodos normatizados é dificultada pelos altos preços e dos equipamentos e pela exigência de especialidade para o manuseio destes, seguindo o proposto pelas normas ASTM E903-12, ASTM C1519 e ASTM E1918.

Como alternativa a estes métodos, pesquisas estão sendo desenvolvidas no Brasil propondo o espectrômetro ALTA II como alternativa para aferir os índices de refletância de superfícies opacas (DORNELLES; RORIZ, 2007; DORNELLES, 2008; SANTOS *et al.*, 2009; SANGOI *et al.*, 2010; MUNIZ; PEZZUTO, 2014). O ALTA II possui um custo significativamente reduzido se comparado aos equipamentos normatizados existentes, como o espectrofotômetro e o refletômetro, além disso, é portátil e de fácil manuseio. Existem estudos atuais que mostram o desempenho deste equipamento quando da medição de índices de refletância, porém, estes têm maior foco no estudo de tintas (DORNELLES, 2008, PEREIRA *et al.*, 2015), não obstante há uma infinidade de materiais hoje disponíveis para revestimento do envelope construtivo, com características particulares, que precisam ser explorados.

Neste contexto, o presente trabalho propõe a avaliação do potencial de uso do espectrômetro ALTA II como alternativa confiável para a medição de índices de refletância de telhas cerâmicas para a cobertura de edifícios, comparando seus dados aos do espectrofotômetro com esfera integradora, equipamento já normatizado, avaliando ainda a aplicabilidade e as restrições de uso do equipamento de estudo.

Este trabalho almeja contribuir para o aperfeiçoamento do método simplificado de aferição da refletância solar de revestimentos do envelope construtivo, como alternativa aos pesquisadores e profissionais, auxiliando seu trabalho e facilitando a especificação de materiais adequados a cada clima em particular. Estes resultados fazem parte de uma pesquisa mais ampla em andamento, para avaliação do uso do espectrômetro ALTA II.

2. OBJETIVO

Este artigo tem por objetivo avaliar o potencial de utilização do espectrômetro portátil ALTA II para medições de refletância solar de telhas cerâmicas, em comparação com medições realizadas em laboratório com espectrofotômetro com esfera integradora, assim como a correlação existente entre refletâncias e temperaturas superficiais das telhas.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais

1. Medição da refletância das telhas em laboratório utilizando o espectrofotômetro com esfera integradora.
2. Medições da refletância das telhas em laboratório utilizando o espectrômetro portátil.
3. Medição das temperaturas superficiais e imagens termográficas em campo.

3.1. Amostras avaliadas

Neste trabalho foram selecionadas 17 telhas cerâmicas disponíveis no mercado, com variações de cores e acabamentos superficiais - 10 esmaltadas (TE) e 07 não-esmaltadas (TNE). Amostras com diâmetro aproximado de 06 cm foram extraídas da parte plana de cada telha, de tal forma a permitir o encaixe adequado no compartimento do espectrofotômetro. Para efeito comparativo, foi selecionada uma telha de fibrocimento, da qual foram extraídas 03 amostras (Figura 1).



Figura 1 - Cortes circulares de amostras utilizadas.

3.2. Medições de refletâncias com espectrofotômetro com esfera integradora

As medições foram feitas seguindo os padrões estabelecidos pela norma ASTM E903-12 (ASTM, 2012), e estabelecidas para o espectro solar com maior concentração de energia proveniente do Sol, com comprimentos de onda que variam entre 300 e 2500 nm, segundo a ASTM G173-12 (2012).

As refletâncias obtidas pelo espectrofotômetro consideram a incidência da radiação emitida de forma constante. Como a intensidade da radiação solar não é constante e sua distribuição depende de variáveis como o clima, altitude e características atmosféricas (poluição, presença de vapor d'água, entre outros), foi adotado o método proposto por Dornelles (2008), a partir da equação 1, para a realização do ajuste nos valores obtidos com relação ao espectro solar padrão definindo pela norma ASTM G173-2012 (2012). A refletância solar de cada amostra foi calculada como a média dos resultados medidos no intervalo de 300 a 2500 nm, que contempla todo o espectro solar considerado pelo equipamento.

$$\rho_{solar} = E_{\lambda_i} * \rho_{medido} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

ρ_{solar} é a refletância solar ajustada (%);

E_{λ_i} é a irradiação solar global espectral ($W/m^2.nm$), indicada na ASTM G173-2012 (ASTM, 2012);

ρ_{medido} é a refletância solar obtida através do espectrofotômetro.

3.3. Medições de refletâncias com espectrômetro ALTA II

O equipamento ALTA II, que vem sendo estudado como alternativa para a determinação dos índices de absorvância e refletância solar de superfícies opacas, é de fácil manuseio, havendo apenas alguns cuidados que devem ser tomados durante o processo de medição.

Para um resultado satisfatório é necessário, segundo Pereira *et. al* (2015), que o conjunto de lâmpadas presente na parte posterior do equipamento seja posicionado de forma que a superfície da amostra cubra-o totalmente, não permitindo que haja fuga da energia emitida pelo aparelho. Além disso, para que a luz externa não tenha influência nos resultados obtidos, o ideal é que as medições sejam realizadas em locais sem iluminação excessiva e com a utilização de um aparato que impeça a entrada dessa luz na região a ser iluminada pelas lâmpadas correspondentes a cada comprimento de onda disponível no ALTA II. Nesta pesquisa foi utilizado um tecido preto cobrindo o equipamento, permitindo apenas a visualização do visor.

O espectrômetro ALTA II faz a leitura de onze comprimentos de onda do espectro solar, sendo sete destes dentro da região de luz visível e quatro na região do infravermelho. Ele possui onze botões, correspondentes a cada um dos comprimentos de onda, que devem ser pressionados individualmente para acionar a luz referente a ele, dentre as onze lâmpadas existentes na parte posterior do equipamento. O resultado mostrado no visor é dado em milivolts e, conforme apresentado por Dornelles (2008), através de

uma equação matemática e da posse de dados de uma amostra de referência, que deve ter sua refletância medida em espectrofotômetro, é possível alcançar o valor do índice de refletância do material analisado para cada comprimento de onda disponível no aparelho. Neste trabalho foi utilizado o papel branco como amostra de referência.

Antes que sejam iniciadas as leituras dos índices de refletância das amostras, é feita a calibração do aparelho, fazendo a aferição da voltagem de fundo, dado que será necessário ao fazer os cálculos para transformação do valor em milivolts informado pelo equipamento, e o valor de refletância que se quer conhecer.

Assim como no espectrofotômetro, há a necessidade de realizar um ajuste do índice de refletância alcançado a partir do aferido com o espectrômetro com relação à intensidade da radiação solar, pois esta não se dá de forma constante ao longo do espectro, conforme já explanado neste artigo.

3.4. Medições das temperaturas superficiais e imagens termográficas

As medições das temperaturas superficiais das amostras foram realizadas no Laboratório de Construção Civil (LCC) – IAU/USP inicialmente com a montagem de uma bancada em madeira (MDF) onde as telhas foram apoiadas, visando evitar a ocorrência de troca de calor entre os componentes. As telhas ficaram expostas ao sol no dia 25 de novembro de 2016, por um período de três horas, entre 10 e 13h, buscando um maior aproveitamento da incidência solar (Figura 2).

A partir das 10h30min foram realizadas medições das temperaturas superficiais das telhas a cada 30 minutos até o tempo final de exposição das amostras, às 13h. Este processo foi realizado tomando como base uma linha horizontal no meio das telhas e três pontos demarcados da seguinte maneira, um na parte plana, um segundo ponto no encontro da região plana com a curva e por fim no ponto mais alto (Figura 3). Foi utilizado o termômetro de infravermelho Testo S30-T1 com resolução de 0,1°C para tal medição.

Neste mesmo intervalo de tempo eram realizadas imagens termográficas com uma câmera termográfica modelo Testo 870, com resolução de 120X160 pixels e sensibilidade térmica <100 mK a +30°C.



Figura 2 - Telhas expostas à radiação solar para medições de temperaturas superficiais.



Figura 3 - Representação da linha imaginária utilizada para medida da temperatura superficial.

4. RESULTADOS

A partir das medições de refletância espectral realizadas em laboratório com o espectrofotômetro, percebe-se que as telhas com acabamento esmaltado e de cores mais claras (TE-1, TE-2, TE-3) apresentaram maior índice de refletância nos comprimentos de onda correspondentes à luz visível do espectro solar (Figura 4), e por consequência, maiores refletâncias solares, acima de 60% (Tabela 1). Por outro lado, as telhas que apresentaram as menores refletâncias solares apresentaram cores mais escuras (TE-8, TE-9, TE-10, TNE-7 e a telha de Fibrocimento), com refletâncias inferiores a 40% (Tabela 1). Este comportamento comprova o conhecimento geral que cores mais claras apresentam maiores refletâncias, e cores mais escuras menores refletâncias. Um dado interessante de se observar, a partir das curvas de refletância espectral apresentadas na Figura 5, é que as telhas cerâmicas não esmaltadas apresentaram comportamento muito semelhante frente à exposição à radiação solar (variação de no máximo 10% absoluto na refletância solar), sendo a maior diferença observada para a telha TNE-7, cuja refletância na faixa visível do espectro foi inferior às demais, o que está diretamente relacionado com a coloração da mesma, levemente mais escura que as demais telhas não esmaltadas. Também se observa a mudança de comportamento da reflexão das telhas não esmaltadas ao passar da faixa visível para o infravermelho próximo, com aumento significativo da refletância espectral a partir dos 900 nm, o que pode ser bastante positivo do ponto de vista térmico.

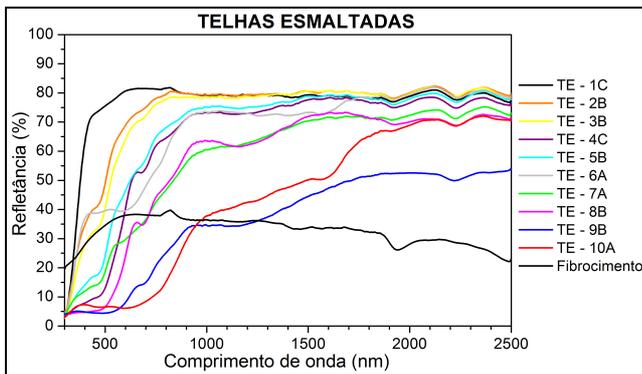


Figura 4 - Refletância espectral para telhas esmaltadas (TE).

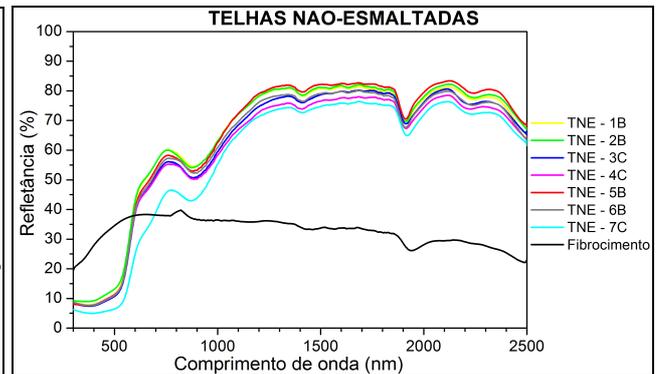


Figura 5 - Refletância espectral para telhas não esmaltadas (TNE).

Na Tabela 1 e Figura 6 são apresentadas as refletâncias calculadas a partir das medições com o espectrômetro ALTA II. Com os dados obtidos neste método, mostra-se a proximidade entre os índices de refletância obtidos pelo espectrofotômetro, método já reconhecido e normalizado, e os atingidos com o aparelho ALTA II, aqui proposto como alternativa. As maiores diferenças ocorreram nas amostras TE-6 (9,2% absoluto) e TE-10 (8,2% absoluto). Os resultados indicaram correlação pouco discrepante entre os dados medidos com os dois métodos, conforme se observa na Figura 7 ($R^2=0,95$) e desvio padrão (SD) de apenas 2,65%. Os resultados encontrados para este grupo de amostras permite identificar o potencial do espectrômetro ALTA II para medições de refletância solar de telhas cerâmicas. Dornelles (2008) já havia apresentado resultados satisfatórios para diferentes tintas. Pereira et al. (2015), no entanto, encontrou valores não satisfatórios para medições do ALTA II para superfícies rugosas. Estas pesquisas indicam a importância de novas pesquisas com diferentes materiais de revestimentos para o envelope construtivo.

Tabela 1 – Valores de refletância solar das telhas, medidas com o espectrofotômetro e o espectrômetro ALTA II (%).

AMOSTRA	R _{solar} (%) Espectrofotômetro	R _{solar} (%) ALTA II	AMOSTRA	R _{solar} (%) Espectrofotômetro	R _{solar} (%) ALTA II
TE – 1C	77,5	75	TNE – 1B	48,5	43,9
TE – 2B	68,9	61,6	TNE – 2B	49,0	44,6
TE – 3B	65,6	64,9	TNE – 3C	45,8	40,5
TE – 4C	50,8	50,8	TNE – 4C	45,2	40,7
TE – 5B	55,3	52,2	TNE – 5B	47,8	43,1
TE – 6A	55,2	46,0	TNE – 6B	46,6	40,5
TE – 7A	42,2	38,2	TNE – 7C	38,8	32,6
TE – 8B	39,6	35,2	Fibrocimento	35,5	36,0
TE – 9B	21,7	17,6			
TE – 10A	21,8	13,6			

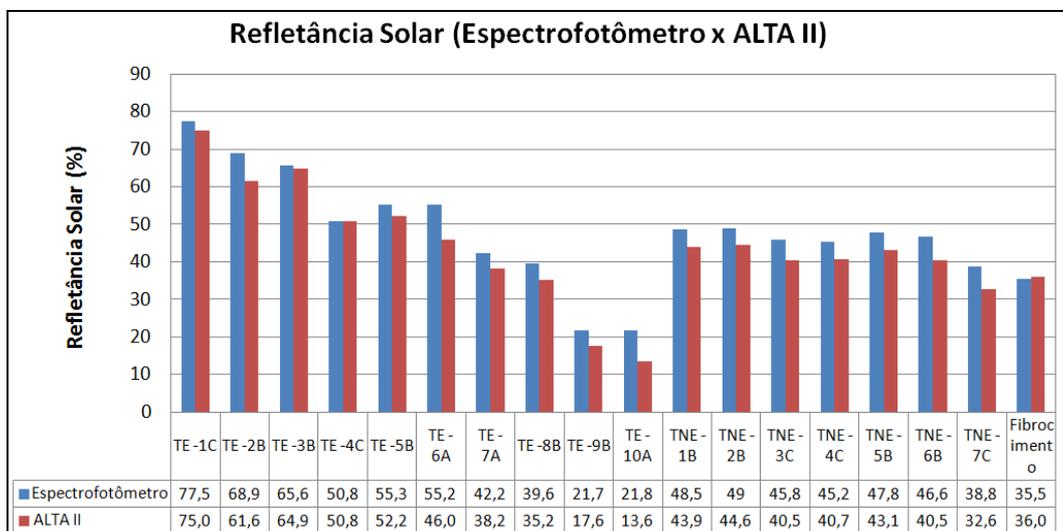


Figura 6 - Valores de refletância solar (%) medidas em espectrofotômetro e com o ALTA II.

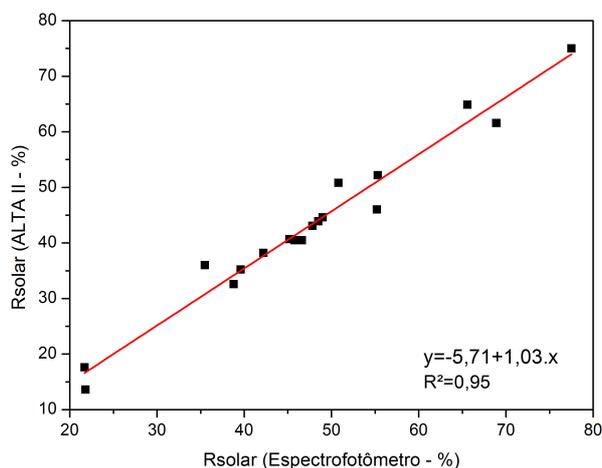


Figura 7 - Correlação entre as refletâncias solares obtidas com o Espectrofotômetro e o espectrômetro ALTA II.

Os resultados das medições de temperaturas superficiais são apresentados nas Figuras 8 e 9, com os dados coletados no período entre 10h30min e 13h do dia 25/11/2016, para as telhas esmaltadas e não esmaltadas, respectivamente, em comparação com a telha de fibrocimento e a temperatura do ar no dia da medição.

Pode-se constatar na análise desses resultados que as temperaturas superficiais das amostras variam de forma crescente, porém com comportamento não linear, havendo oscilações neste aquecimento.

Constatou-se também que, de acordo com o proposto na literatura atual, a telha branca com acabamento esmaltado (TE-1) obteve a menor temperatura superficial e maior índice de refletância solar. A telha TE-10 foi a que apresentou as maiores temperaturas superficiais, levemente superiores à telha TE-9. Importante destacar que ambas apresentaram refletâncias solares praticamente iguais (21,8% e 21,7%, respectivamente), comprovando o comportamento térmico das superfícies frente à exposição à radiação solar. Entre a amostra que apresentou as maiores temperaturas superficiais (TE-10, $R_{solar}=21,8\%$) e a de menores temperaturas (TE-1, $R_{solar}=77,5\%$), observou-se diferenças de $15,2^{\circ}\text{C}$ em média. As temperaturas médias obtidas para cada telha ao longo do período de medição são apresentadas na Tabela 2.

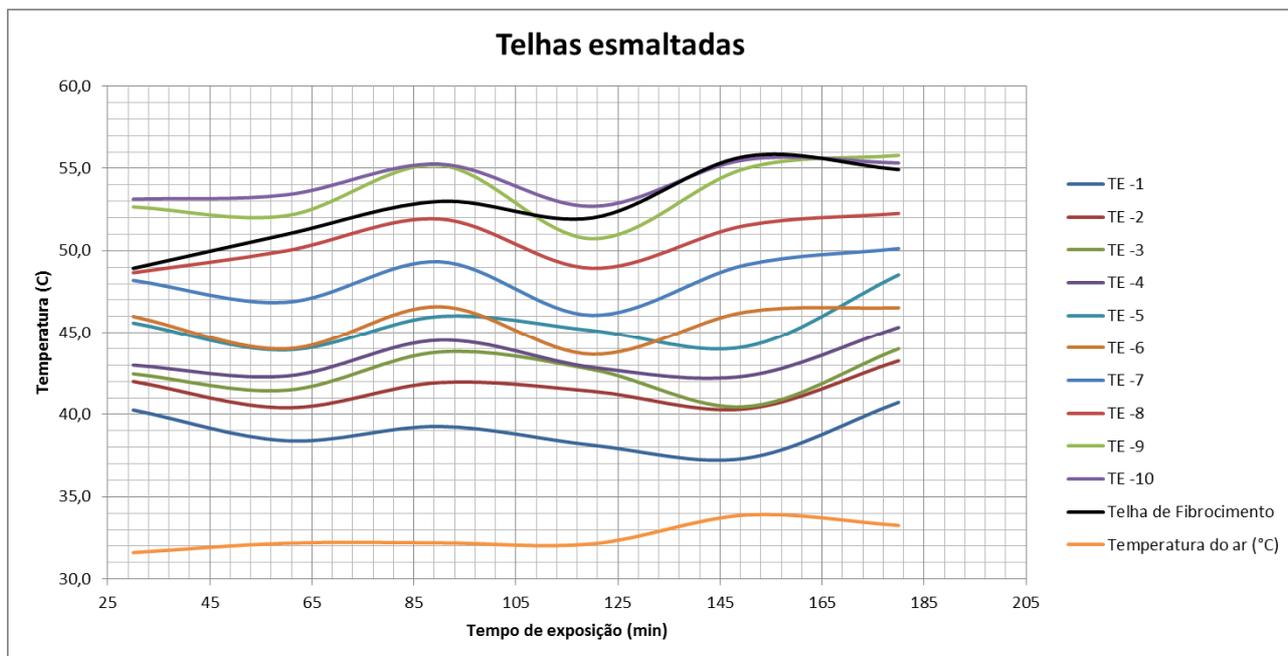


Figura 8 - Temperaturas superficiais vs. tempo de exposição para telhas esmaltadas.

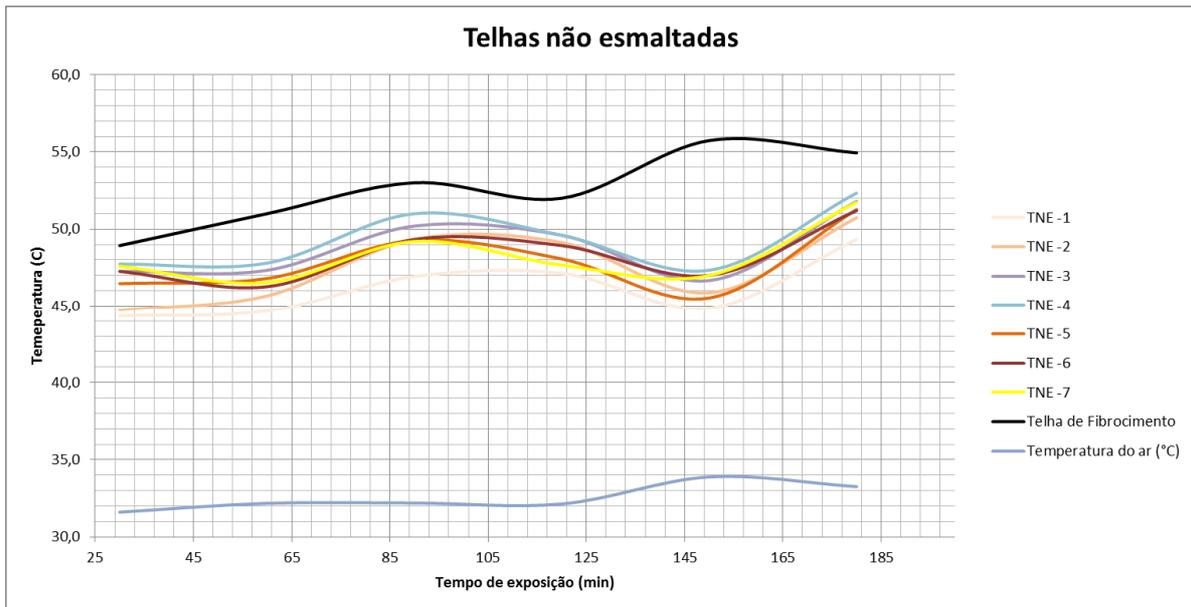


Figura 9 - Temperaturas superficiais vs. tempo de exposição para telhas esmaltadas.

De posse dos valores de refletância obtidos a partir do espectrofotômetro e das temperaturas superficiais das amostras, pode-se calcular o *Solar Reflectance Index* (SRI) das telhas selecionadas para este experimento. Considerando-se a emissividade das telhas cerâmicas $\epsilon=0,9$ (segundo dados da NBR 15220-2, Anexo B - Tabela B2), calculou o SRI para cada telha segundo método apresentado na norma ASTM E1980 (2011). Os valores obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de refletância solar (Espectrofotômetro e ALTA II), temperatura superficial média e SRI para cada telha.

AMOSTRA	R _{solar} (%) Espectrofotômetro	R _{solar} (%) ALTA II	Temperatura Superficial Média (°C)	SRI
TE – 1C	77,5	75,0	39,0	96
TE – 2B	68,9	61,6	41,6	84
TE – 3B	65,6	64,9	42,5	80
TE – 4C	50,8	50,8	43,4	59
TE – 5B	55,3	52,2	45,5	66
TE – 6A	55,2	46,0	45,5	65
TE – 7A	42,2	38,2	48,3	48
TE – 8B	39,6	35,2	50,6	44
TE – 9B	21,7	17,6	53,6	21
TE – 10A	21,8	13,6	54,2	22
TNE – 1B	48,5	43,9	46,2	56
TNE – 2B	49,0	44,6	47,6	57
TNE – 3C	45,8	40,5	48,8	53
TNE – 4C	45,2	40,7	49,3	52
TNE – 5B	47,8	43,1	47,9	55
TNE – 6B	46,6	40,5	48,3	54
TNE – 7C	38,8	32,6	48,3	43
Fibrocimento	35,5	36,0	52,6	39

Nas figuras 10 e 11 são apresentadas as correlações entre as temperaturas superficiais médias de cada telha e: a refletância solar medida em espectrofotômetro (Figura 10) e o *Solar Reflectance Index* (Figura 11). Observa-se que os resultados encontrados nas medições indicaram, primeiramente, muito boa correlação entre as refletâncias e as temperaturas superficiais de cada amostra, comprovando a precisão no método de medição com o espectrofotômetro (Figura 10). O mesmo ocorre ao se comparar as temperaturas superficiais com os índices de refletância solar (SRI) calculados segundo método proposto pela norma ASTM E1980-2011 (ASTM, 2011).

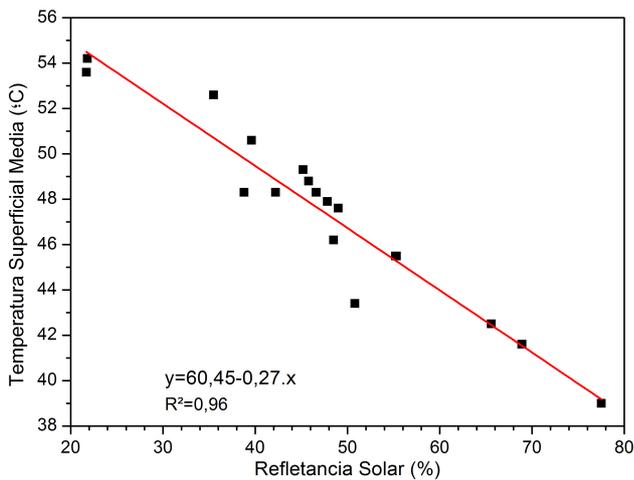


Figura 10 - Correlações entre temperaturas superficiais e a refletância solar das telhas com o espectrofotômetro.

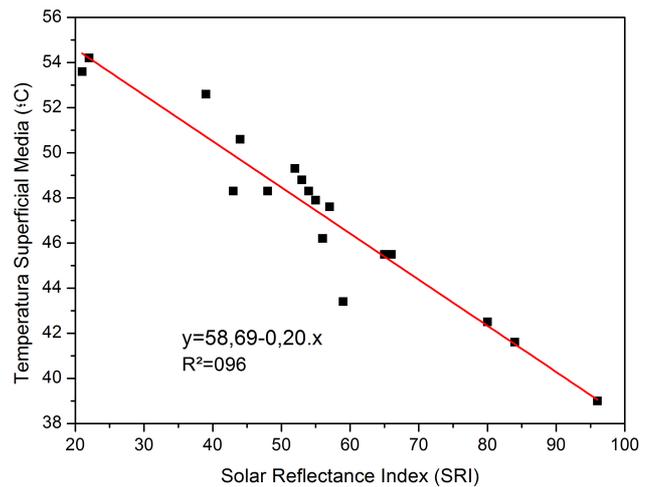


Figura 11 - Correlações entre temperaturas superficiais e Solar Reflectance Index (SRI) das telhas.

5. CONCLUSÕES

Após a análise dos dados coletados nesta pesquisa, pôde-se comprovar a confiabilidade nos resultados encontrados a partir das medições de refletância solar com o espectrômetro ALTA II em comparação com as medições realizadas no espectrofotômetro para telhas cerâmicas esmaltadas e não esmaltadas. Apesar do número relativamente restrito de amostras (17) frente à disponibilidade do mercado de telhas cerâmicas no Brasil, os resultados encontrados nesta pesquisa indicam a adequada precisão do equipamento para este tipo de medição (desvio padrão médio de 2,65% absoluto - ou 0,265 em relação às medições com o espectrofotômetro), considerando-se as características dos materiais aqui avaliados.

As medições de temperaturas superficiais indicaram coerência com os resultados de refletância solar inicialmente obtidos para cada telha, comprovando que as telhas com maiores índices de refletância apresentaram as menores temperaturas, e as com menores valores de refletância solar as maiores temperaturas superficiais. O cálculo do *Solar Reflectance Index* (SRI) também comprovou a relação existente entre as temperaturas superficiais e as refletâncias de cada telha avaliada nesta pesquisa.

Análises estatísticas complementares indicaram a confiabilidade no método de medição de refletância solar com o espectrômetro ALTA II, assim como as medições de temperaturas superficiais e cálculo do SRI para as telhas avaliadas nesta pesquisa.

Maior número de amostras e novas análises estatísticas podem aperfeiçoar o método e chegar a resultados precisos para adoção do espectrômetro para este tipo de telha. Novos estudos serão realizados para complementar os resultados encontrados até o momento, assim como ampliar o número e tipo de telhas a serem avaliadas por este método de medição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H.; ROSE, L. S. **Characterizing the fabric of the urban environment: a case study of metropolitan Chicago, Illinois.** Lawrence Berkeley National Laboratory Report, LBNL-49275, Berkeley, CA. 2001.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1549 – 09:** Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer. ASTM International, 2009.
- _____. **ASTM. E903 – 12:** Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM International, 2012.
- _____. **ASTM. E1918 – 06:** Standard test method for measuring solar reflectance of horizontal and low-sloped surfaces in the field. ASTM International, 2006.
- _____. **ASTM. E1980 – 11:** Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. ASTM International, 2006.
- _____. **ASTM. G173-12:** standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. ASTM International, 2012.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 90.1: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings.** Atlanta, 2013.
- _____. **ASHRAE 90.2: Energy-efficient design of low-rise residential buildings.** Atlanta, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.

- _____. ABNT. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico das edificações – Parte 02: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- DORNELLES, K. A. **Absortância Solar em Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex Acrílica e PVA**. Programa de Pós-Graduação em engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Tese de Doutorado. Campinas, 2008.
- _____. Refletância solar de tintas frias e convencionais para cobertura e os impactos da exposição ao intemperismo natural. ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2015, *Anais...* Campinas, 2015.
- _____. **Método de medição da absortância solar de revestimentos opacos para o ambiente construído**. 2017. (Projeto de pesquisa apresentado à FAPESP)
- DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. A ilusão das cores na identificação da absortância solar de superfícies opacas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto, 2007.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em: . Acesso em: 20 ago. 2015.
- INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética em edificações residenciais**. Rio de Janeiro, 2010.
- KRIMPALIS, S.; KARAMANIS, D. A novel approach to measuring the solar reflectance of conventional and innovative building components. **Energy and Buildings**, v.97, p.137-145, 2015.
- MUNIZ, L. P.; PEZZUTO, C. C. Medições de refletância através do espectrômetro portátil ALTA II. In: XIX Encontro de Iniciação Científica e IV Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. PUC-Campinas, 2014. *Anais...* Campinas, 2009.
- PEREIRA, C. D. ; MARINOSKI, D. L. ; LAMBERTS, R. ; GÜTHS, S; GHISI, E. **Relatório de avaliação do espectrômetro portátil Alta II**. 2015. (Relatório de pesquisa).
- POMERANTZ, M.; AKBARI, H.; BERDAHL, P.; KONOPACKI, S. J.; TAHA, H. Reflective surfaces for cooler buildings and cities. **Philos Mag B**, v.79, n.9, pp.1457–1476, 1999.
- ROSENFELD, A. H.; ROMM, J. J.; AKBARI, H.; POMERANTZ, M. Cool communities: strategies for heat islands mitigation and smog reduction. **Energy and Buildings**, v.28, n.1, pp.51–62, 1998.
- SANGOL, J. M.; RAMOS, G.; LAMBERTS, R. Análise das medições de absortância através do espectrômetro ALTA II. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2010. *Anais...* Canela, 2010.
- SANTOS, Elisiane I. ; MARINOSKI, D. L. ; LAMBERTS, Roberto ; CARLO, Joyce . Relatório: **Métodos para verificação de absortâncias em superfícies opacas (parte 1): Testes com o espectrômetro ALTA II**. 2009.
- TAHA, H. **Potential impacts of climate change on tropospheric ozone in California: a preliminary episodic modeling assessment of the Los Angeles Basin and the Sacramento Valley**. Lawrence Berkeley National Laboratory Report, Berkeley, CA, 2001.
- _____. **Meteorological and air quality impacts of increased urban surface albedo and vegetative cover in the Greater Toronto Area, Canada**. Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBNL-49210, Berkeley, CA, 2002.
- TAHA, H.; CHANG, S-C.; AKBARI, H. **Meteorological and air quality impacts of heat island mitigation measures in three U.S. Cities**. Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBL-44222, Berkeley, 2000.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto (Processo nº 2015/17038-6).