

BIBLIOTECA DE ABSORTÂNCIA DE TELHAS

BASE DE DADOS PARA
ANÁLISE DE DESEMPENHO
TERMOENERGÉTICO DE
EDIFÍCIOS

Kelen Almeida Dornelles



BIBLIOTECA DE ABSORTÂNCIA DE TELHAS

BASE DE DADOS PARA
ANÁLISE DE DESEMPENHO
TERMOENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS

DOI: 10.11606/9786586810103

Kelen Almeida Dornelles

2021
TROPICUS | IAU-USP



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

VAHAN AGOPYAN [REITOR]

ANTONIO CARLOS HERNANDES [VICE-REITOR]

INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

JOUBERT JOSÉ LANCHÁ [DIRETOR]

MIGUEL ANTÔNIO BUZZAR [VICE-DIRETOR]

TOMÁS ANTONIO MOREIRA [PRESIDENTE DA COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO IAU]

KARIN MARIA S. CHVATAL [PRESIDENTE DA COMISSÃO DE PESQUISA IAU]

Catálogo na Publicação

Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

D713b Dornelles, Kelen Almeida

Biblioteca de absorção de telhas [recurso eletrônico] : base de dados para análise de desempenho termoenergético de edifícios / Kelen Almeida Dornelles. -- São Carlos: IAU/USP, 2021. 57 p.

ISBN 978-65-86810-10-3

DOI: 10.11606/9786586810103

1. Conforto térmico. 2. Telhas. 3. Coberturas. 4. Edifícios.
5. Arquitetura bioclimática. I. Título.

CDD 720.47

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação da publicação de acordo com a AACR2:
Brianda de Oliveira Ordonho Sígolo - CRB - 8/8229



“Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e autoria e respeitando a *Licença Creative Commons* indicada”

INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

AV. TRABALHADOR SÃO-CARLENSE, 400, CENTRO

CEP 13566-590, SÃO CARLOS – SP

WWW.IAU.USP.BR

FOTOS: ANA CAROLINA HIDALGO

PROJETO GRÁFICO/EDIÇÃO: KELEN ALMEIDA DORNELLES

REVISÃO: MARIELI AZOIA LUKIANTCHUKI

BIBLIOTECA DE ABSORTÂNCIA DE TELHAS

**BASE DE DADOS PARA
ANÁLISE DE DESEMPENHO
TERMOENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS**

DOI: 10.11606/9786586810103

Kelen Almeida Dornelles

SUMÁRIO

7	APRESENTAÇÃO
9	1. INTRODUÇÃO
11	ABSORTÂNCIA SOLAR DE REVESTIMENTOS E O AMBIENTE CONSTRUÍDO
14	IMPORTÂNCIA DA MEDIÇÃO DA ABSORTÂNCIA SOLAR DE REVESTIMENTOS
17	2. MÉTODOS DE MEDIÇÃO
19	MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA E ABSORTÂNCIA SOLAR
21	MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COR HSL
23	3. BASE DE DADOS DE ABSORTÂNCIA SOLAR
26	TELHAS DE FIBROCIMENTO
27	TELHAS CERÂMICAS NATURAIS
29	TELHAS CERÂMICAS RESINADAS
30	TELHAS CERÂMICAS ESMALTADAS
32	TELHAS DE CONCRETO
33	4. CURVAS DE REFLETÂNCIA ESPECTRAL
35	TELHAS DE FIBROCIMENTO
37	TELHAS CERÂMICAS NATURAIS
41	TELHAS CERÂMICAS RESINADAS
43	TELHAS CERÂMICAS ESMALTADAS
46	TELHAS DE CONCRETO
49	5. REFERÊNCIAS
57	AGRADECIMENTOS

APRESENTAÇÃO

Este livro apresenta uma compilação de dados de Absortância Solar de telhas para cobertura de edificações, a partir de produtos disponíveis comercialmente no Brasil. Os dados foram obtidos através de medições em laboratório com o uso de um espectrofotômetro com esfera integradora, como parte de diversas pesquisas desenvolvidas no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, entre os anos de 2016 e 2020.

O Capítulo 1 fundamenta o tema, com breve contextualização da relação entre a absortância solar do envelope construtivo e o desempenho termoenergético de edifícios. Diversas pesquisas têm demonstrado a influência da absortância solar de revestimentos sobre as condições de conforto térmico no interior de edifícios, assim como sua contribuição para a geração do fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (ICU's), principalmente em regiões de clima quente. Complementarmente, os três principais métodos normatizados para medição da refletância ou absortância solar de revestimentos são discutidos de forma simplificada, em função de características específicas das amostras avaliadas (material, rugosidade, dimensão da amostra, entre outros) e o tipo de equipamento utilizado.

O capítulo 2 refere-se ao método utilizado para a medição das propriedades de absorção e reflexão da radiação solar das telhas desta biblioteca, o qual atende às recomendações da norma ASTM E903-20 (ASTM, 2020a). Para cada telha são apresentadas as absortâncias por faixas do espectro, considerando-se as regiões do Visível (380 a 780 nm) e o espectro solar total (300 a 2500 nm), sendo esta última chamada de Absortância Solar. As medições foram realizadas para telhas novas e os dados podem variar conforme o lote de produção, homogeneidade do acabamento superficial, rugosidade, entre outras características de fabricação das mesmas.

No Capítulo 3 apresenta-se uma compilação dos dados de absortância solar obtidos para cinco diferentes grupos de telhas, entre elas: telhas de fibrocimento, cerâmica com acabamento natural, cerâmica com acabamento resinado, cerâmica esmaltada e telhas de concreto. No total, a biblioteca reúne dados de absortância solar de 72 diferentes telhas.

As telhas foram selecionadas conforme disponibilidade no comércio do estado de São Paulo durante o desenvolvimento das pesquisas, sendo algumas doadas diretamente pelos fabricantes, buscando-se reunir maior variedade de tipos e cores. As imagens incluídas nos Quadros 1 a 5 do Capítulo 3 são das telhas originais avaliadas nas pesquisas, sendo que a aparência pode não representar com exatidão a cor da telha em situação real. Para facilitar a identificação das cores, foram medidos os parâmetros de cor HSL (H: tonalidade, S: saturação, L: Luminosidade) para cada telha com o uso de um colorímetro portátil, segundo método apresentado na norma ASTM D2244-16 (ASTM, 2016), conforme detalhado no Capítulo 2.

Complementarmente, no Capítulo 4 são apresentadas as curvas de refletância espectral de cada telha, obtidas a partir das medições em laboratório com o uso do espectrofotômetro com esfera integradora, segundo método descrito na norma ASTM E903-20 (ASTM, 2020a). Os gráficos podem servir de base para análises comparativas de comportamento das telhas para diferentes faixas do espectro solar, quando expostas à radiação solar. As absortâncias médias por faixa do espectro (UV, VIS, IV, Solar) também são apresentadas em conjunto com os gráficos.

Esta biblioteca de dados de absortância solar, em caráter informativo, poderá ser utilizada como referência para pesquisas e simulações computacionais na área de conforto térmico e desempenho termoenergético de edifícios, assim como projetos de Arquitetura e Engenharia. O objetivo é divulgar dados medidos de alguns produtos disponíveis comercialmente no Brasil. Informações adicionais sobre as pesquisas que originaram os dados de absortância solar para a biblioteca podem ser consultadas nas referências citadas no Capítulo 5.

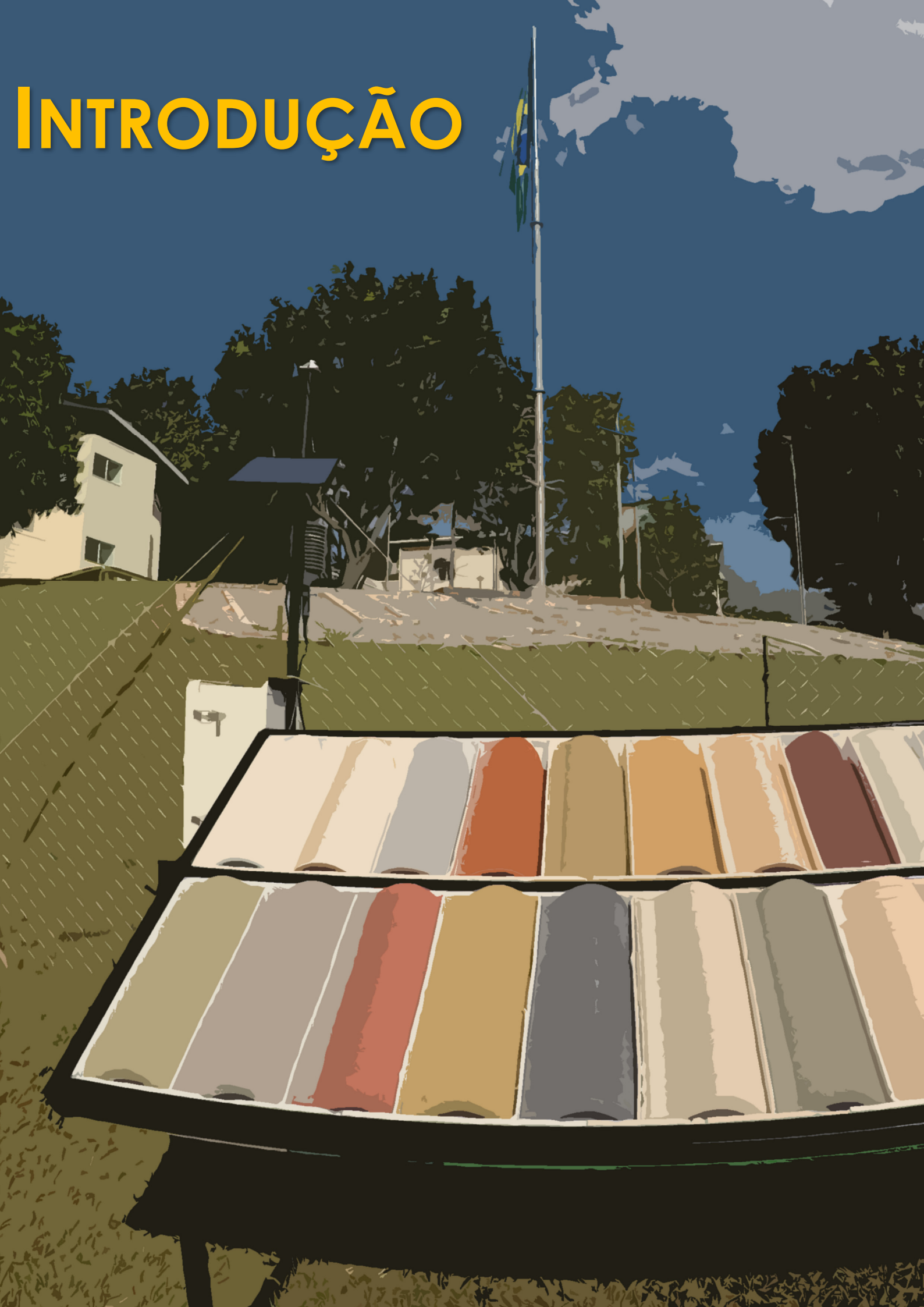
Para casos em que seja necessária a comprovação da propriedade de um produto específico a partir de laudos técnicos, deve-se recorrer aos procedimentos normativos para medição da absortância solar por laboratórios e profissionais capacitados. Ressalta-se que esta publicação não apresenta nenhum tipo de vínculo comercial com as empresas fabricantes das telhas, sendo exclusivamente de caráter acadêmico-científico e informativo.

O Instituto de Arquitetura e Urbanismo e a Universidade de São Paulo não fazem qualquer garantia, expressa ou implícita, ou assumem qualquer responsabilidade legal ou responsabilidade pela exatidão das propriedades aqui apresentadas. Referência a qualquer produto comercial específico neste documento não necessariamente constituem ou implicam seu endosso, recomendação ou favorecimento por parte da Universidade de São Paulo. O nome da Universidade de São Paulo não pode ser utilizado em nenhuma publicidade que implica endosso ou promoção de qualquer produto, serviço ou entidades comerciais.

Profa. Dra. Kelen Almeida Dornelles
Instituto de Arquitetura e Urbanismo – IAU/USP

TROPICUS | IAU USP
| Grupo de pesquisa em Conforto, Energia e Ambiente Construído |
2021

INTRODUÇÃO



1 INTRODUÇÃO

ABSORTÂNCIA SOLAR DE REVESTIMENTOS E O AMBIENTE CONSTRUÍDO

O rápido desenvolvimento das cidades tem contribuído de forma significativa para a formação das Ilhas de Calor Urbanas (ICU's), fenômeno responsável por diferenças de até 10°C acima da temperatura do ar em zonas nos arredores da cidade, resultado principalmente do adensamento urbano, com substituição de áreas verdes e espaços abertos por edificações e superfícies pavimentadas (GARTLAND, 2010).

As consequências já reconhecidas do rápido adensamento urbano, com a consequente diminuição da paisagem natural, levam a questionamentos importantes devido à modificação massiva do balanço energético local, resultado da adoção de superfícies impermeáveis e altamente absorventes de radiação térmica. Essas superfícies tendem a minimizar a capacidade de reflexão do calor muito mais do que florestas e áreas vegetadas e, por consequência, sendo responsáveis pelo aumento drástico das temperaturas superficiais e do ar em áreas urbanas (SANTAMOURIS; KOLOKOTSA, 2015).

Neste contexto, a ilha de calor urbana é reconhecida como o maior fenômeno relacionado às mudanças climáticas, o qual tem sido documentado através de uma ampla variedade de estudos experimentais e por simulação (KUSAKA; KIMURA, 2004; NEOPHYTOU *et al.*, 2014; RICHIARDONE; BRUSASCA, 1989), com o objetivo de investigar o sobreaquecimento das temperaturas urbanas em relação às condições relativamente mais frias de áreas suburbanas (CHEN *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2016). Este fenômeno também tem sido reconhecido por ser responsável por sérios problemas socioeconômicos e de saúde, tornando os moradores das cidades mais vulneráveis às mudanças climáticas e menos resilientes às suas consequências (SANTAMOURIS; KOLOKOTSA, 2015; HEAVISIDE *et al.*, 2016; PYRGOU *et al.*, 2017).

A situação torna-se ainda mais urgente ao se constatar a rápida concentração da população em áreas urbanas e a conseqüente necessidade por habitações de menor custo e rapidamente disponíveis, onde a baixa qualidade do ambiente interno e a menor disponibilidade de energia demonstraram comprometer enormemente as condições de saúde e de conforto dos ocupantes durante eventos climáticos extremos (HATVANI-KOVACS *et al.*, 2016a, 2016b, 2016c), como por exemplo, as ondas de calor (GRAHAM *et al.*, 2016; WARD *et al.*, 2016).

Estratégias diversas podem ser adotadas para minimizar os efeitos nocivos oriundos do fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas, como o aumento de áreas verdes nas cidades e a diminuição da absorção de calor por superfícies construídas. Segundo Gartland (2010), a maioria dos materiais de construção é impermeável e, portanto, a água da chuva não é absorvida pelas superfícies, o que promoveria a dissipação do calor por meio da evaporação. Além disso, a cor predominantemente escura dos revestimentos incrementa os ganhos de calor das superfícies urbanas, podendo ficar entre 27 °C e 50 °C mais quentes do que o ar. Neste caso, o uso de materiais de baixa absorção solar como revestimento seria uma alternativa eficaz e simples de ser aplicada. A adoção desta estratégia permite minimizar o aumento das temperaturas nas superfícies expostas ao Sol (seja nos pavimentos urbanos ou no envelope construtivo) e por conseqüência a temperatura do ar em áreas externas e ambientes internos das edificações.

A *Absortância Solar* (α) é definida como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005). Segundo Taha *et al.* (1988) e Berdhal e Bretz (1997), diminuir a absorção dos revestimentos em uma comunidade inteira permite reduzir a temperatura do ar no bairro e minimizar a magnitude das ilhas urbanas de calor. Para Hien e Yu (2003), essas estratégias seriam importantes também para ajudar a cidade a se adaptar às mudanças do clima e aos impactos ambientais causados por este fenômeno, além de diminuir o desperdício de energia com climatização artificial em edificações.

Globalmente, os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia anual total e por um terço das emissões de gases do efeito estufa (KRIMPALIS; KARAMANIS, 2015). Uma parcela significativa desta energia é utilizada para iluminação e sistemas de condicionamento artificial em edificações. Infelizmente, espera-se um aumento da tendência já crescente do uso da energia no futuro devido às mudanças climáticas, ao crescimento populacional e ao aumento dos padrões de vida da população.

Dados do Balanço Energético Nacional de 2020 (EPE, 2020) indicam que as edificações brasileiras já são responsáveis por 52% de toda a energia elétrica utilizada no país. Tanto em edifícios residenciais (26,1%), como comerciais (17,4%) e públicos (8,5%), este consumo pode ser explicado pela necessidade cada vez maior de utilização de sistemas de climatização que facilitem o desenvolvimento das atividades humanas dentro dos espaços construídos. Apesar da diversidade climática do Brasil, relacionada principalmente por sua vasta extensão continental, o país apresenta a quase totalidade de seu território exposta à intensa e abundante insolação durante a maior parte do ano. Desta forma, as cidades estão suscetíveis à incidência direta da radiação solar e aos efeitos por ela provocados, como o sobreaquecimento das superfícies do envelope construtivo de edificações e de pavimentos urbanos.

Para Taha *et al.* (1988), o uso de materiais com baixa absorptância solar (ou alta refletância) no envelope construtivo de edificações sem isolamento térmico, caso típico das construções no Brasil, é uma forma eficaz de diminuir o consumo de energia com refrigeração. Diversos estudos já demonstraram economias de energia para refrigeração acima de 20% com o aumento da refletância de coberturas de 0,10 a 0,20 iniciais para cerca de 0,60 (final). Além disso, o aumento da refletância solar de superfícies construídas permite reduzir a temperatura ambiente no período de verão e melhorar a qualidade do ar em áreas urbanas (TAHA 2001, 2002; TAHA *et al.*, 2000; ROSENFELD *et al.*, 1998; AKBARI *et al.*, 2001a, 2001b; POMERANTZ *et al.*, 1999). Quanto menor a absorptância solar de superfícies urbanas, maior a reflexão da radiação solar global que chega à superfície terrestre, minimizando os efeitos provocados pelo aquecimento global (AKBARI *et al.*, 2009).

Pesquisas desenvolvidas nas últimas décadas evidenciam o impacto das propriedades do envelope construtivo nas cargas térmicas das edificações (AKBARI *et al.*, 1997, 1999, 2003, 2005; PISELLO, 2015; PISELLO *et al.*, 2016; SANTAMOURIS *et al.*, 2007; SUEHRCKE *et al.*, 2008; SYNNEFA *et al.*, 2006, 2007; YU *et al.*, 2008; MUSELLI, 2010; SHEN *et al.*, 2011; SHI; ZHANG, 2011), inclusive no Brasil (BRITO FILHO *et al.*, 2011; CÂNDIDO; DORNELLES; LUKIANTCHUKI, 2020; CAVALCANTI, 2020; DORNELLES *et al.*, 2011; FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2017; MELO, 2012; UEMOTO *et al.*, 2010; WESTPHAL, 2007). Em estudo realizado por Cavalcanti (2020) a relação entre os parâmetros construtivos do envelope construtivo e o consumo de energia em uma edificação habitacional foi analisada através de simulação computacional. Os resultados indicaram que a absorptância solar das superfícies externas foi o parâmetro mais influente para o aumento do consumo de energia com climatização artificial nos casos avaliados.

Assim, estudos diversos já comprovaram que as absortâncias de superfícies expostas à radiação solar exercem grande influência sobre suas temperaturas. O fluxo de calor através da envoltória de edifícios dependerá das temperaturas superficiais e das propriedades termofísicas dos respectivos elementos construtivos. O conhecimento, portanto, dessas propriedades, é indispensável para a avaliação do desempenho térmico e do consumo energético de edifícios, assim como a especificação de produtos adequados conforme suas características térmicas e as necessidades de projeto de acordo com o clima de cada lugar.

IMPORTÂNCIA DA MEDIÇÃO DA ABSORTÂNCIA SOLAR DE REVESTIMENTOS

Nos Estados Unidos, a especificação de revestimentos para paredes e coberturas com baixa absortância solar é promovida por administrações e organizações públicas, cujos resultados positivos de diversos estudos têm encorajado o desenvolvimento de normas para medição das propriedades térmicas dos materiais (refletância solar e emitância térmica) e a certificação de produtos comerciais. Recomendações específicas têm sido incluídas nos códigos de obras das edificações e apoios financeiros são também oferecidos. Por outro lado, sistemas de certificação para edifícios como o LEED (*U. S. Green Building Council's Leadership in Energy and Environmental Design*) e o *Green Globes* reconhecem o uso de produtos de baixa absortância solar para paredes e coberturas como uma solução adequada para reduzir os ganhos de calor em edifícios e minimizar os efeitos das ilhas urbanas de calor.

Para a especificação adequada de produtos que atendam essas recomendações, existem programas de certificação para coberturas que fornecem dados de refletância solar, assim como permitem a análise comparativa das diferentes opções de coberturas. Nos Estados Unidos existem dois programas de classificação de coberturas refletivas: o *Cool Roofing Rating Council's (CRRC) Product Rating Program* e o *Environmental Protection Agency's Energy Star Reflective Roof Program* (CRRC, 2010). No programa *Energy Star Roof Product Program*, por exemplo, os produtos para uso em coberturas são classificados a partir da avaliação do valor da refletância, que deve ser medida de acordo com a norma ASTM E903-20 (ASTM, 2020a) e apresentar valor igual ou superior a 0,65. Além disso, para a certificação do produto, o valor da refletância não pode ser inferior a 0,50 após três anos de exposição às intempéries.

Além das certificações ambientais, diversos organismos têm desenvolvido códigos e normas para sua implantação em edificações. As normas ASHRAE 90.1-2019 (para edifícios comerciais e residenciais multipavimentos) e ASHRAE 90.2-2018 (edificações residenciais), por exemplo, oferecem créditos para a instalação de coberturas com alta refletância solar (ASHRAE, 2019; 2018). Especificamente no estado da Califórnia (EUA), a norma "*Title 24' Building Energy-Efficiency Standards*" de 2019 prescreve refletância solar mínima de 0,63 e emitância térmica mínima de 0,75 para coberturas, desde que estas propriedades dos revestimentos tenham sido certificadas pelo "*Cool Roofing Rating Council*" - CRRC (Conselho de Certificação de Coberturas Refletivas). Neste caso, o CRRC utiliza as normas ASTM E903-20 (ASTM, 2020a), ASTM C1549 (ASTM, 2016) ou ASTM E1918 (ASTM, 2016) para determinação da refletância solar conforme o caso.

No Brasil, a norma de Desempenho de Edificações Habitacionais - NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta, dentre as exigências a serem cumpridas, uma especificamente relacionada ao desempenho térmico das edificações. Em seu procedimento simplificado, verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas (partes 4 e 5 da NBR 15575), onde os valores da Transmitância Térmica (U) das vedações estão condicionados à absorptância solar de suas superfícies.

Ainda no Brasil, o Selo Procel Edifica, Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para edificações comerciais, de serviços, públicas e residenciais, também limita os valores de absorptância solar do envelope construtivo para a certificação do nível de eficiência energética dessas edificações. No documento "Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais" (RTQ-R), no qual se baseia a etiquetagem, recomenda-se utilizar valores de absorptância (ou refletância) de revestimentos resultantes de medições segundo as normas da ASTM E1918-06, ASTM E903-20, ASHRAE 74-1988 (prescrita), ou no caso da impossibilidade de medição, valores indicativos de absorptância publicados na NBR 15220 (ABNT, 2005) podem ser utilizados (INMETRO, 2010). A mesma recomendação para obtenção da absorptância solar dos revestimentos é feita na NBR 15575 (ABNT, 2013).

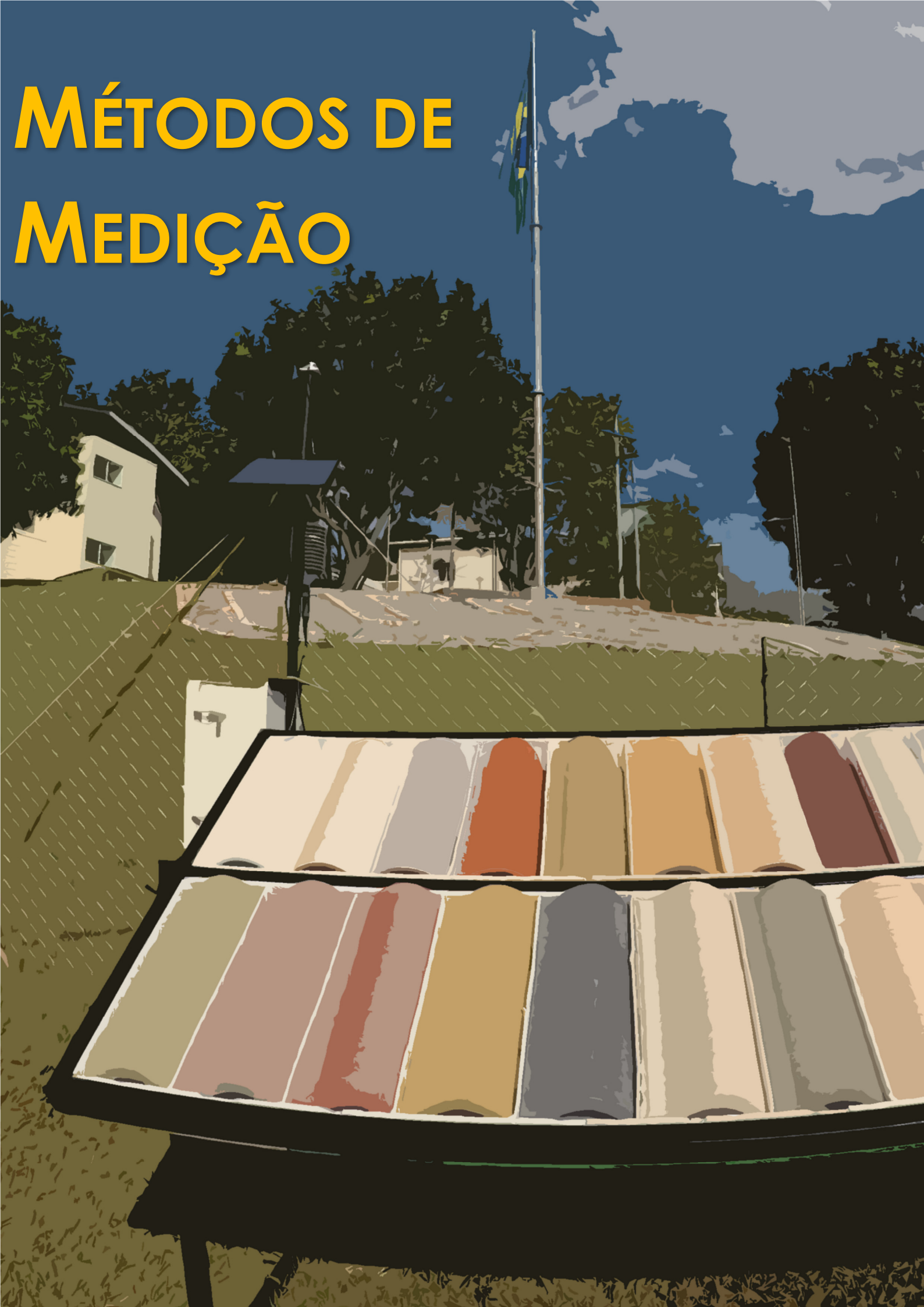
Neste contexto, torna-se primordial facilitar o acesso a informações relativas aos índices de absorção e reflexão dos revestimentos para o envelope construtivo de edificações no cenário brasileiro. O principal desafio enfrentado por pesquisadores e profissionais é que, para a especificação da absorptância solar de telhas e revestimentos, ainda é comum a associação dessa propriedade às cores das superfícies, sendo adotado o conceito de que cores escuras absorvem mais radiação solar do que cores claras. Apesar de ser um indicador, estudos já comprovaram que cores não

representam com precisão o quanto efetivamente uma superfície absorve ou reflete de energia solar, uma vez que a cor é apenas uma sensação visual (DORNELLES; RORIZ, 2007). Este conceito torna-se mais importante no contexto de atendimento às normativas e certificações, à medida que se compreendem os fenômenos físicos envolvidos nos processos de reflexão e absorção de energia solar por superfícies construtivas e a complexidade da interação radiação-matéria nos diferentes comprimentos de onda do espectro solar (não apenas radiação visível).

Apesar da importância dessa propriedade para o desempenho termoenergético das edificações, por muito tempo grande parte da literatura especializada a tratou de forma superficial, ou mesmo equivocada. As publicações da área geralmente apresentam dados genéricos, reunidos a partir de uma mesma base de dados internacional, consagrada há décadas no meio acadêmico. Por outro lado, diversos autores apresentam uma pequena relação de absortâncias e refletâncias em função, principalmente, das cores superficiais. Essa simplificação, embora equivocada, ainda é adotada em documentos considerados referência internacional e nacional.

Assim, torna-se necessária a divulgação de dados de absortância solar de revestimentos disponíveis no mercado nacional, medidos de forma precisa e confiável, para sua adequada especificação por profissionais e pesquisadores da área. É neste contexto que este documento pretende preencher uma lacuna importante da área na atualidade, onde dados de absortância solar de diversos tipos de telhas foram obtidos a partir de medições em laboratório e são apresentados para consulta à comunidade acadêmica e profissional como referência para estudos de desempenho termoenergético de edifícios.

MÉTODOS DE MEDIÇÃO



2 MÉTODOS DE MEDIÇÃO

MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA E ABSORTÂNCIA SOLAR

Diferentes métodos de medição já foram desenvolvidos para obter valores de refletância e absorptância solar de superfícies. A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) regulamentou três destes métodos que utilizam diferentes equipamentos para medição, sendo indicados para avaliação de acordo com as características específicas de cada superfície. Nos três métodos a absorptância solar (α) é obtida a partir da refletância (ρ), sendo $\alpha=1-\rho$.

A norma ASTM E903-20 "*Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres*" especifica o uso de um espectrofotômetro com esfera integradora para medição em laboratório de refletância espectral de superfícies planas e homogêneas com pequena área (ASTM, 2020a). Os valores medidos devem ser ajustados a um espectro solar padrão para o cálculo da refletância ou absorptância solar - ASTM G173-20 (ASTM, 2020b). É o método mais consagrado e difundido internacionalmente para obtenção de forma precisa da refletância espectral e solar, assim como a absorptância solar de materiais opacos em superfícies planas.

Na norma ASTM C1549-16 "*Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature using a Portable Solar Reflectometer*", utiliza-se um refletômetro portátil para medição da refletância solar de superfícies planas com dimensões maiores que 3x3cm (ASTM, 2016). O equipamento permite medições em laboratório ou em campo assim como a obtenção da refletância e absorptância solar de revestimentos com superfícies rugosas. A refletância e absorptância solar obtida com esse equipamento também é ajustada ao espectro solar padrão.

O terceiro método, descrito na norma ASTM E1918-16 "*Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field*", é recomendado para avaliações em campo utilizando um piranômetro ou albedômetro¹ (ASTM, 2016). Este método é específico para medição da absorvância solar de superfícies com área mínima de 4 m de diâmetro ou quadrados com no mínimo 4 m de lado. Também é utilizado para o caso de superfícies muito rugosas ou curvas e na impossibilidade de remoção de uma amostra de campo para ensaio em laboratório.

Esses três métodos, por serem normatizados, garantem a confiabilidade dos resultados obtidos quando se considera suas particularidades e aplicabilidades em função da superfície a ser caracterizada. Especificamente o método indicado pela ASTM E903 tem sido o mais utilizado para obtenção de dados precisos de refletância e absorvância solar para materiais no Brasil, com destaque para os trabalhos de Castro (2002), Ferreira e Prado (2003), Dornelles (2008) e Couto (2019).

Para a elaboração desta **Biblioteca de Absorvância de Telhas**, foram realizadas medidas de reflexão espectral a partir de ensaios laboratoriais em espectrofotômetro com esfera integradora, segundo o método apresentado na ASTM E903-20 (2020a). Foi utilizado o espectrofotômetro Varian modelo CARY 5G, no intervalo de 300 a 2500 nm, que é a região do espectro solar com maior concentração de energia proveniente do Sol, de acordo com o espectro solar padrão definido pela ASTM G173-20 (ASTM, 2020b).

As curvas de refletância espectral das telhas foram ajustadas ao espectro solar padrão segundo o procedimento apresentado na norma ASTM G173-20 (ASTM, 2020b). Assim, considerando-se que a absorvância $\alpha=1-\rho$, por comprimento de onda, tem-se:

- a) Obtém-se a curva de intensidade relativa do espectro solar padrão (Eq. 1):

$$IR_{\lambda} = \frac{I_{(\lambda)}}{I_{MÁX}} \times 100 \quad \text{[Equação 1]}$$

Sendo:

IR_{λ} = Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda;

$I_{(\lambda)}$ = Irradiância solar global, para cada comprimento de onda (W/m^2);

$I_{MÁX}$ = Irradiância solar global máxima do espectro solar padrão (W/m^2).

- b) Calcula-se a absorvância relativa das amostras, por comprimento de onda (Equação 2):

¹ Equipamento composto de dois piranômetros, sendo um superior para medição da radiação solar global, e outro inferior para medição da radiação solar refletida.

$$\alpha_{\text{Rel}(\lambda)} = IR_{\lambda} \times \alpha_{\lambda} \quad [\text{Equação 2}]$$

Onde:

$\alpha_{\text{Rel}(\lambda)}$ = Absortância relativa, por comprimento de onda;

IR_{λ} = Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda;

α_{λ} = Absortância medida em espectrofotômetro, por comprimento de onda.

c) Calcula-se a média das Absortâncias Relativas ($\text{Med}\alpha_{\text{Rel}}$) de cada amostra e a média da intensidade relativa da Irradiância Solar Global ($\text{Med}IR$), através da integração das curvas. Assim, obtém-se a Absortância Solar Ajustada ao espectro solar padrão, para cada telha avaliada, conforme a equação 3:

$$\alpha_{\text{Ajust}} = \frac{\text{Med}\alpha_{\text{Rel}}}{\text{Med}IR} \quad [\text{Equação 3}]$$

Sendo:

α_{Ajust} = Absortância ajustada ao espectro solar padrão;

$\text{Med}\alpha_{\text{Rel}}$ = Média das absortâncias relativas da telha;

$\text{Med}IR$ = Média da Intensidade Relativa da Irradiância Solar Global.

Para as telhas selecionadas para este livro, são apresentadas as absortâncias médias para dois intervalos do espectro solar: visível (380 a 780 nm) e espectro solar total (300 a 2500 nm), com variação absoluta entre 0 e 1.

MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COR HSL

As cores podem ser descritas por nomes ou designações numéricas. A identificação através de nomes, no entanto, não apresenta precisão suficiente. Assim, procura-se utilizar a caracterização da cor de um objeto através de dados numéricos, cujos resultados de comparações visuais de diferentes cores são traduzidos por um conjunto de três números, os quais se referem às características cromáticas de matiz, claridade e saturação. Com base nessas características e se utilizando um sistema de referência, é possível identificar objetivamente uma cor.

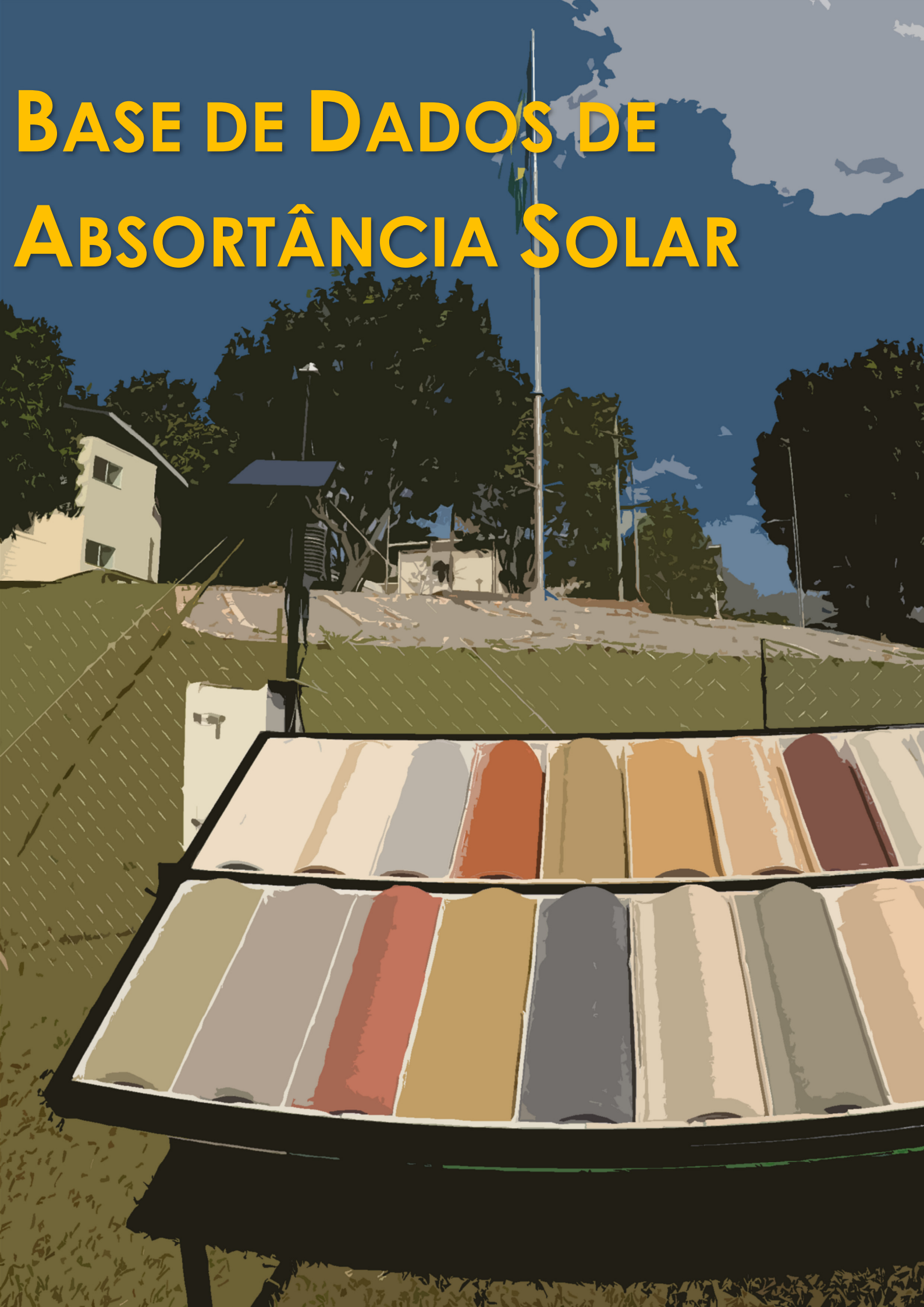
As cores variam de acordo com o observador e com a fonte de luz nela incidente. Assim, para a análise dos parâmetros de cor, padrões precisam ser estabelecidos. A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) estabelece padrões conhecidos como CIELAB, através das coordenadas colorimétricas retangulares L^* , a^* , b^* e polares L^* , C^* e h^* , onde h^* corresponde à tonalidade, C^* à saturação (S) e L^* à luminosidade (sistema HSL).

No CIELAB, conforme estabelecido pela norma ISO 11664-4 (ISO, 2019), a cor é identificada por três valores em coordenadas retangulares, sendo: L, para a luminosidade, expressa em porcentagem, variando de zero para o preto a 100 para o branco; a e b, para as coordenadas que vão, respectivamente, do verde ao vermelho e do azul ao amarelo. Já considerando coordenadas polares (CIELCh), os parâmetros são L para luminosidade, C para saturação e H para tonalidade.

Para esta biblioteca de telhas, foi realizado o ensaio de determinação da cor das telhas analisadas conforme a norma ASTM D2244-16 "*Calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates*" (ASTM, 2016), usando um colorímetro marca Delta Color modelo Colorium2, com geometria 0/45, juntamente ao *software* de colorimetria Lab7 Delta Color. Para realizar essa medição, o equipamento é calibrado utilizando padrões de fábrica normatizados, que representam as cores branco e preto de referência.

Essa medição teve como principal objetivo caracterizar através do sistema HSL as cores das telhas apresentadas nessa biblioteca. Além disso, o parâmetro luminosidade (L) pode ser comparado aos valores de absorptância solar obtidos, visto que esse parâmetro diz respeito à quantidade de branco presente na composição da cor da superfície, buscando-se estabelecer uma relação entre ele e a quantidade de radiação absorvida pela telha.

BASE DE DADOS DE ABSORTÂNCIA SOLAR



3 BASE DE DADOS DE ABSORTÂNCIA SOLAR

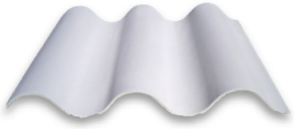
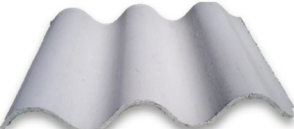



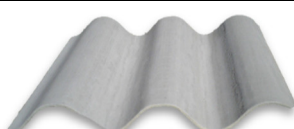
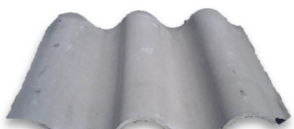


Os dados de absorvência solar das telhas são apresentados nos Quadros 1 a 4, conforme o material, sendo classificadas em: **Telhas de Fibrocimento** (Quadro 1), **Telha Cerâmica Natural** (Quadro 2), **Telha Cerâmica Resinada** (Quadro 3), **Telha Cerâmica Esmaltada** (Quadro 4) e **Telha de Concreto** (Quadro 5). No total, a biblioteca reúne dados de absorvência solar de 72 diferentes telhas.

As telhas foram selecionadas conforme disponibilidade no comércio do estado de São Paulo durante o desenvolvimento das pesquisas entre os anos de 2016 e 2020, sendo algumas doadas diretamente pelos fabricantes.² Buscou-se reunir maior variedade de tipos e cores, sendo que a denominação da cor apresentada na biblioteca segue a indicação dos catálogos dos fabricantes. As imagens apresentadas nos Quadros 1 a 4 são das telhas originais avaliadas nas pesquisas, sendo que a aparência pode não representar com exatidão a cor da telha em situação real. Para facilitar a identificação das cores, foram medidos os parâmetros de cor HSL (H: tonalidade, S: saturação, L: Luminosidade) para cada telha, segundo método apresentado na norma ASTM D2244-16 (ASTM, 2016), com o uso de um colorímetro portátil.

Para as telhas desta biblioteca, são apresentadas as absorvências médias para dois intervalos do espectro solar: visível (α_{vis} : 380 a 780 nm) e espectro solar total (α_{solar} : 300 a 2500 nm). As curvas de reflexão espectral para cada telha medidas em espectrofotômetro com esfera integradora são apresentadas no capítulo 4.

² A telha de fibrocimento TFC1, apresentada no Quadro 1, não estava disponível comercialmente no momento de publicação dessa base de dados.













Quadro 1: Absortâncias de telhas de FIBROCIMENTO.

TIPO	Telha (ID)	APARÊNCIA		INFORMAÇÕES ADICIONAIS	ABSORTÂNCIA (α)	
		Imagem	Cor (HSL)		α_{vis}	α_{solar}
FIBROCIMENTO	TFC01		Branco H: 143,95 S: 4,00 L: 99,32	Espessura: 4 mm Telha refletiva com pintura branca Obs.: Telha em fase de desenvolvimento pelo fabricante.	0,04	0,07
	TFC02		Branco H: 122,28 S: 8,99 L: 92,71	Espessura: 5 mm Telha refletiva com pintura branca	0,22	0,23
	TFC03		Cinza claro H: 105,68 S: 10,54 L: 74,23	Espessura: 4 mm Acabamento natural	0,46	0,46
	TFC04		Cinza claro H: 103,72 S: 8,67 L: 68,41	Espessura: 6 mm Acabamento natural	0,46	0,47
	TFC05		Cinza claro H: 120,17 S: 7,59 L: 73,93	Espessura: 4 mm Acabamento natural	0,47	0,49
	TFC06		Cinza claro H: 130,26 S: 6,25 L: 68,58	Espessura: 4 mm Acabamento natural	0,52	0,52
	TFC07		Cinza claro H: 127,66 S: 6,49 L: 67,81	Espessura: 5 mm Acabamento natural	0,56	0,57
	TFC08		Cinza claro H: 133,39 S: 6,09 L: 68,28	Espessura: 8 mm Acabamento natural	0,56	0,58
	TFC09		Cinza claro HSL: ausente	Espessura: 6 mm Acabamento natural	0,64	0,64

* As imagens das telhas não representam com exatidão seu acabamento superficial em situação real.

Fonte: ABILE (2016); COUTO (2019).




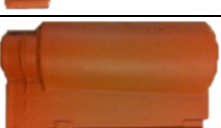






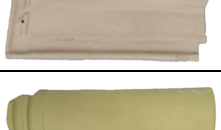
Quadro 2: Absortâncias de telhas CERÂMICAS com acabamento NATURAL.

TIPO	Telha (ID)	APARÊNCIA		INFORMAÇÕES ADICIONAIS	ABSORTÂNCIA (α)	
		Imagem	Cor (HSL)		α_{vis}	α_{solar}
CERÂMICA NATURAL	TCN01		Cerâmica vermelha H: 48,76 S: 37,19 L: 59,78	Telha do tipo Italiana	0,61	0,45
	TCN02		Cerâmica vermelha H: 49,15 S: 37,67 L: 60,02	Telha do tipo Americana	0,61	0,46
	TCN03		Cerâmica vermelha H: 50,78 S: 36,44 L: 59,43	Telha do tipo Romana	0,62	0,47
	TCN04		Cerâmica vermelha H: 49,13 S: 37,56 L: 60,03	Telha do tipo Portuguesa	0,62	0,47
	TCN05		Cerâmica vermelha H: 48,07 S: 39,30 L: 55,78	Telha do tipo Americana	0,64	0,48
	TCN06		Cerâmica vermelha H: 47,56 S: 36,83 L: 54,75	Telha do tipo Paulistinha	0,64	0,48
	TCN07		Cerâmica vermelha H: 47,37 S: 40,18 L: 56,36	Telha do tipo Francesa	0,65	0,49
	TCN08		Cerâmica vermelha HSL: ausente	Telha do tipo Portuguesa	0,67	0,51
	TCN09		Cerâmica vermelha HSL: ausente	Telha do tipo Portuguesa	0,66	0,51
	TCN10		Cerâmica vermelha H: 48,19 S: 37,95 L: 56,50	Telha do tipo Italiana	0,66	0,51
	TCN11		Cerâmica vermelha H: 48,57 S: 39,23 L: 56,66	Telha do tipo Portuguesa	0,66	0,51
	TCN12		Cerâmica vermelha HSL: ausente	Telha do tipo Portuguesa	0,69	0,52

(continua)

BIBLIOTECA DE ABSORTÂNCIA DE TELHAS












(conclusão)

TIPO	Telha (ID)	APARÊNCIA		INFORMAÇÕES ADICIONAIS	ABSORTÂNCIA (α)	
		Imagem	Cor (HSL)		α_{vis}	α_{solar}
CERÂMICA NATURAL	TCN13		Cerâmica vermelha H: 49,17 S: 37,88 L: 55,46	Telha do tipo Romana	0,67	0,52
	TCN14		Cerâmica vermelha HSL: ausente	Telha do tipo Portuguesa	0,69	0,53
	TCN15		Cerâmica vermelha HSL: ausente	Telha do tipo Portuguesa	0,70	0,54
	TCN16		Cerâmica vermelha HSL: ausente	Telha do tipo Portuguesa	0,70	0,55
	TCN17		Cerâmica vermelha H: 54,43 S: 33,88 L: 55,13	Telha tipo Romana hidrofugada com silicone	0,70	0,55
	TCN18		Cerâmica vermelha H: 46,34 S: 34,13 L: 50,27	Telha do tipo Romana	0,72	0,57
	TCN19		Cerâmica vermelha H: 48,68 S: 34,29 L: 51,60	Telha do tipo Romana	0,76	0,59
	TCN20		Cerâmica vermelha escura HSL: ausente	Telha do tipo Romana	0,78	0,61
	TCN21		Branca H: 85,32 S: 22,35 L: 81,33	Telha do tipo Americana engobada colorida	0,39	0,35
	TCN22		Marfim H: 82,48 S: 18,78 L: 77,64	Telha do tipo Mediterrânea engobada colorida	0,51	0,44
	TCN23		Vigo (Verde) H: 88,04 S: 19,76 L: 53,89	Telha do tipo Mediterrânea engobada colorida	0,74	0,56

* As imagens das telhas não representam com exatidão seu acabamento superficial em situação real.

Fonte: ABILE (2016); COUTO (2019); HIDALGO ARAUJO; DORNELLES (2019).











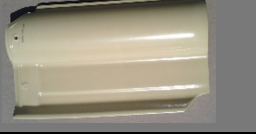
Quadro 3: Absortâncias de telhas CERÂMICAS com acabamento RESINADO.

TIPO	Telha (ID)	APARÊNCIA		INFORMAÇÕES ADICIONAIS	ABSORTÂNCIA (α)	
		Imagem	Cor (HSL)		α_{vis}	α_{solar}
CERÂMICA RESINADA	TCR01		Cerâmica vermelha H: 47,46 S: 39,41 L: 53,82	Telha do tipo Francesa resinada	0,67	0,50
	TCR02		Cerâmica vermelha H: 47,33 S: 39,11 L: 54,82	Cumeeira resinada	0,66	0,50
	TCR03		Cerâmica vermelha H: 47,15 S: 40,58 L: 54,49	Telha do tipo Paulistinha resinada	0,66	0,50
	TCR04		Cerâmica vermelha H: 47,81 S: 39,26 L: 54,65	Telha do tipo Italiana resinada	0,67	0,51
	TCR05		Cerâmica vermelha H: 49,25 S: 39,34 L: 54,46	Telha do tipo Romana resinada	0,67	0,52
	TCR06		Cerâmica vermelha H: 46,60 S: 39,40 L: 53,63	Telha do tipo Portuguesa resinada	0,67	0,52
	TCR07		Cerâmica vermelha H: 49,23 S: 38,18 L: 54,14	Telha do tipo Americana resinada	0,67	0,52
	TCR08		Cerâmica vermelha H: 47,41 S: 41,32 L: 54,50	Cumeeira resinada	0,68	0,53
	TCR09		Cerâmica vermelha H: 50,03 S: 31,02 L: 50,78	Telha do tipo Romana resinada	0,74	0,57
	TCR10		Cerâmica vermelha H: 52,63 S: 27,55 L: 52,88	Telha do tipo Romana resinada	0,73	0,58
	TCR11		Cerâmica vermelha H: 52,52 S: 32,67 L: 52,46	Telha do tipo Portuguesa resinada	0,74	0,60

* As imagens das telhas não representam com exatidão seu acabamento superficial em situação real.

Fonte: COUTO (2019); HIDALGO ARAUJO; DORNELLES (2019).

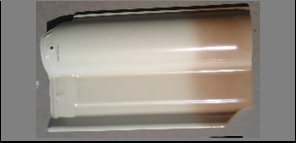






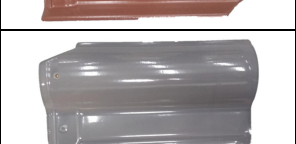


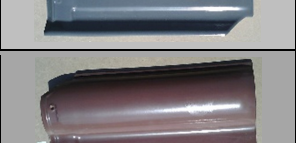
Quadro 4: Absortâncias de telhas CERÂMICAS ESMALTADAS.

TIPO	Telha (ID)	APARÊNCIA		INFORMAÇÕES ADICIONAIS	ABSORTÂNCIA (α)	
		Imagem	Cor (HSL)		α_{vis}	α_{solar}
CERÂMICA ESMALTADA	TCE01		Branca H: 122,16 S: 9,10 L: 96,16	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,15	0,16
	TCE02		Branca H: 113,32 S: 9,80 L: 91,65	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,26	0,26
	TCE03		Areia H: 100,54 S: 16,39 L: 88,76	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,29	0,27
	TCE04		Cinza claro H: 88,87 S: 27,16 L: 80,34	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,41	0,34
	TCE05		Marfim H: 89,23 S: 25,91 L: 80,05	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,42	0,36
	TCE06		Marfim H: 82,44 S: 30,55 L: 76,73	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,46	0,37
	TCE07		Palha H: 81,34 S: 31,13 L: 75,72	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,49	0,39
	TCE08		Palha H: 82,27 S: 29,98 L: 74,89	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,47	0,39
	TCE09		Cinza H: 122,40 S: 5,22 L: 67,65	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,48	0,40
	TCE10		Ravena H: 79,23 S: 33,13 L: 64,29	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,58	0,44
	TCE11		Ravena H: 80,17 S: 34,79 L: 64,81	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,61	0,47

(continua)

BIBLIOTECA DE ABSORTÂNCIA DE TELHAS



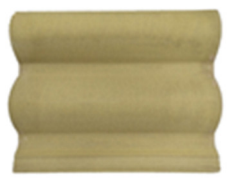
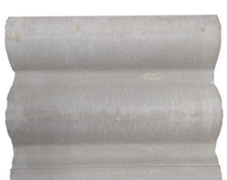


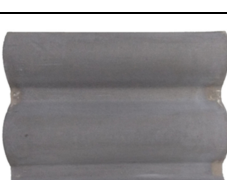
(conclusão)

TIPO	Telha (ID)	APARÊNCIA		INFORMAÇÕES ADICIONAIS	ABSORTÂNCIA (α)	
		Imagem	Cor (HSL)		α_{vis}	α_{solar}
CERÂMICA ESMALTADA	TCE12		Palha Mesclada H: 123,95 S: 4,78 L: 67,10	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,60	0,47
	TCE13		Cinza H: 116,20 S: 6,66 L: 75,11	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,58	0,47
	TCE14		Verde Claro H: 85,74 S: 23,40 L: 57,38	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,72	0,56
	TCE15		Verde Oliva H: 88,63 S: 21,42 L: 57,82	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,73	0,59
	TCE16		Caramelo H: 48,89 S: 29,43 L: 45,66	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,79	0,62
	TCE17		Caramelo H: 46,21 S: 26,83 L: 44,12	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,80	0,62
	TCE18		Bordô H: 35,88 S: 13,89 L: 39,05	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,87	0,71
	TCE19		Grafite H: 178,94 S: 1,81 L: 43,25	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,88	0,73
	TCE20		Café H: 34,94 S: 8,50 L: 37,97	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,90	0,77
	TCE21		Grafite H: 162,07 S: 1,85 L: 38,92	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,92	0,78
	TCE22		Bordô H: 34,85 S: 7,09 L: 37,68	Telha do tipo Americana Esmaltada	0,91	0,79

* As imagens das telhas não representam com exatidão seu acabamento superficial em situação real.

Fonte: ABILE (2016); COUTO (2019); HIDALGO ARAUJO; DORNELLES (2019).

Quadro 5: Absortâncias de telhas de CONCRETO.

TIPO	Telha (ID)	APARÊNCIA		INFORMAÇÕES ADICIONAIS	ABSORTÂNCIA (α)	
		Imagem	Cor		α_{vis}	α_{solar}
CONCRETO	TCON01		Marfim H: 88,24 S: 15,93 L: 75,62	Telha de concreto colorida	0,54	0,51
	TCON02		Damasco H: 98,21 S: 15,18 L: 61,04	Telha de concreto colorida	0,66	0,65
	TCON03		Mostarda H: 89,70 S: 25,69 L: 61,85	Telha de concreto colorida	0,75	0,72
	TCON04		Cristal H: 112,54 S: 7,10 L: 60,09	Telha de concreto colorida	0,73	0,73
	TCON05		Cinza H: 98,35 S: 8,06 L: 54,93	Telha de concreto natural, sem pintura	0,74	0,73
	TCON06		Vermelho H: 35,96 S: 20,68 L: 45,27	Telha de concreto colorida	0,79	0,74
	TCON07		Canela H: 185,91 S: 2,25 L: 43,64	Telha de concreto colorida	0,90	0,91

* As imagens das telhas não representam com exatidão seu acabamento superficial em situação real.

Fonte: HIDALGO ARAUJO; DORNELLES (2019).

CURVAS DE REFLETÂNCIA ESPECTRAL



4 CURVAS DE REFLETÂNCIA ESPECTRAL

TELHAS DE FIBROCIMENTO

As curvas de refletância espectral das telhas de fibrocimento são apresentadas nas Figuras 1 a 5, a partir das medições em laboratório com espectrofotômetro, assim como os valores médios de absorptância por faixa do espectro (UV, VIS, IV, Solar).

Figura 1: Curvas de refletância espectral das telhas de fibrocimento TFC01 e TFC02.

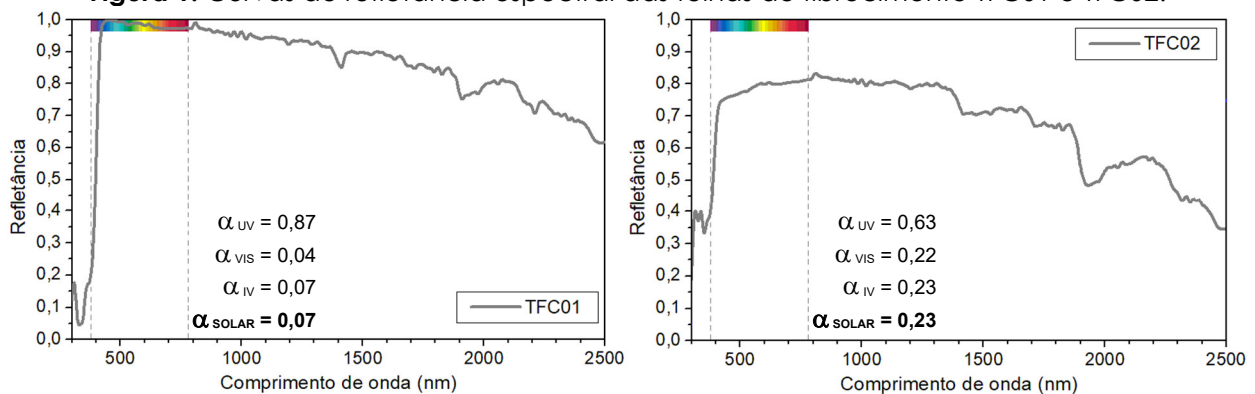


Figura 2: Curvas de refletância espectral das telhas de fibrocimento TFC03 e TFC04.

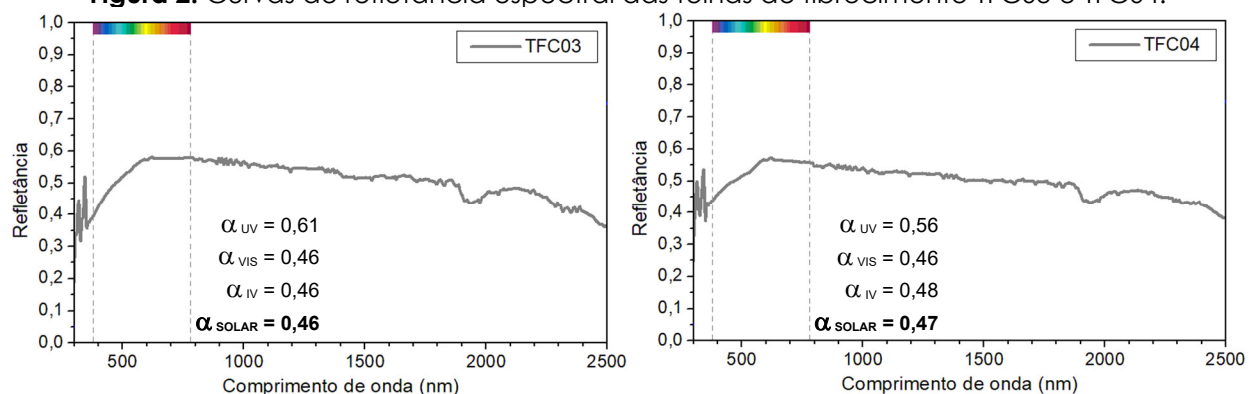


Figura 3: Curvas de refletância espectral das telhas de fibrocimento TFC05 e TFC06.

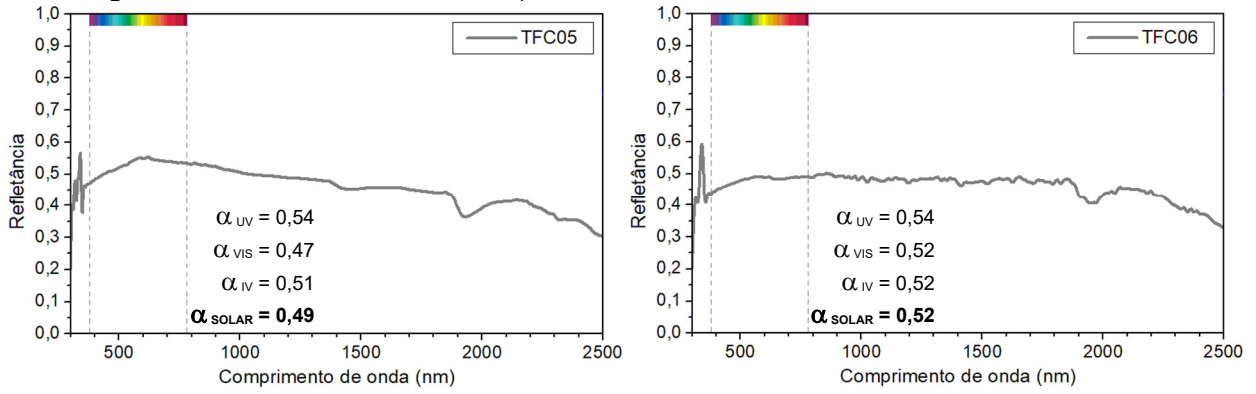


Figura 4: Curvas de refletância espectral das telhas de fibrocimento TFC07 e TFC08.

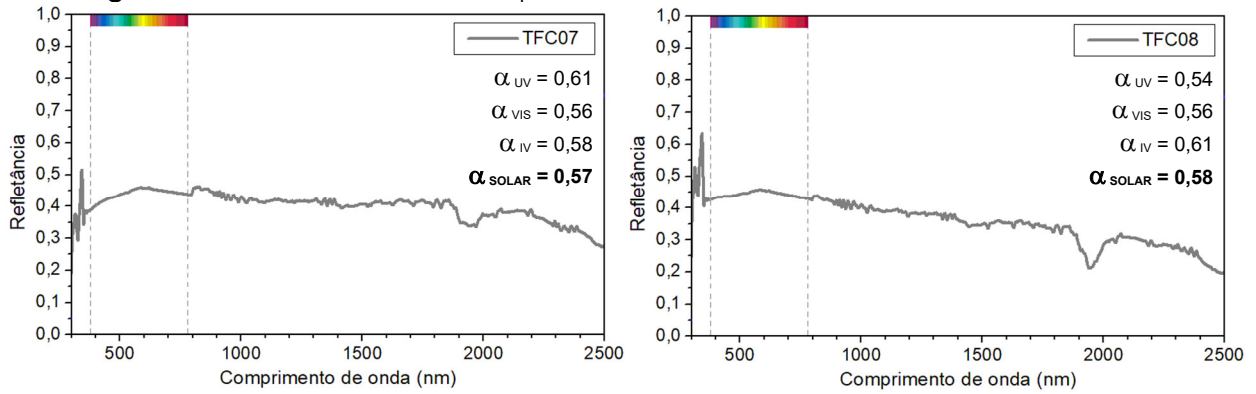
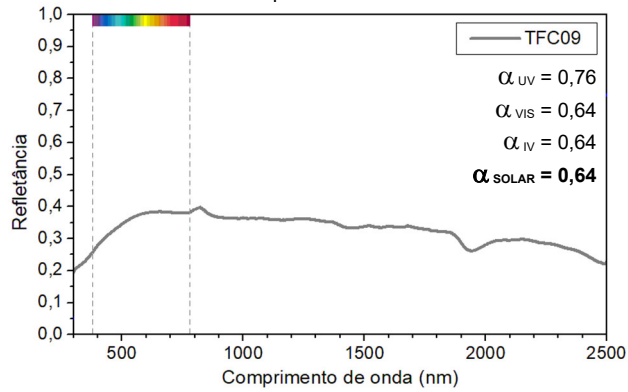


Figura 5: Curva de refletância espectral da telha de fibrocimento TFC09.



TELHAS CERÂMICAS NATURAIS

As curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas com acabamento natural são apresentadas nas Figuras 6 a 17, a partir das medições com espectrofotômetro, assim como os valores médios de absorptância por faixa do espectro (UV, VIS, IV, Solar).

Figura 6: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN01 e TCN02.

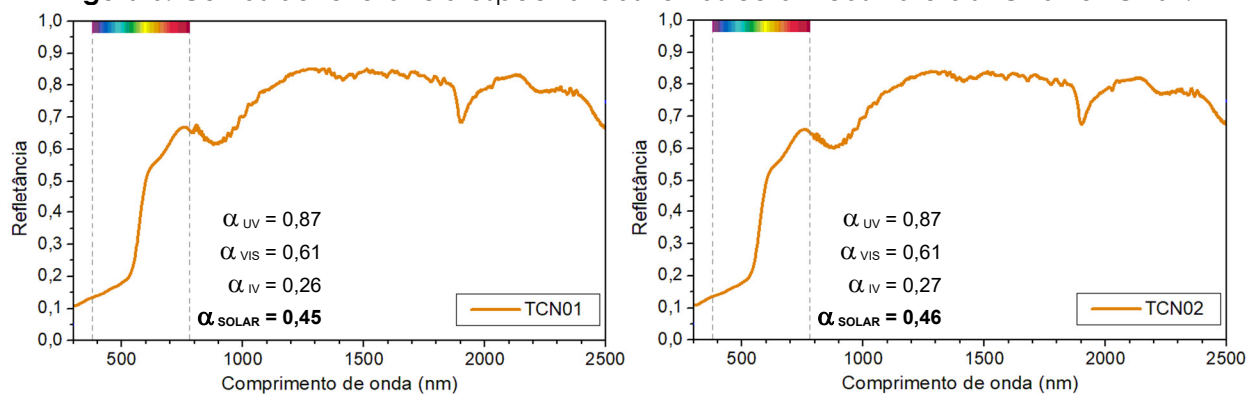


Figura 7: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN03 e TCN04.

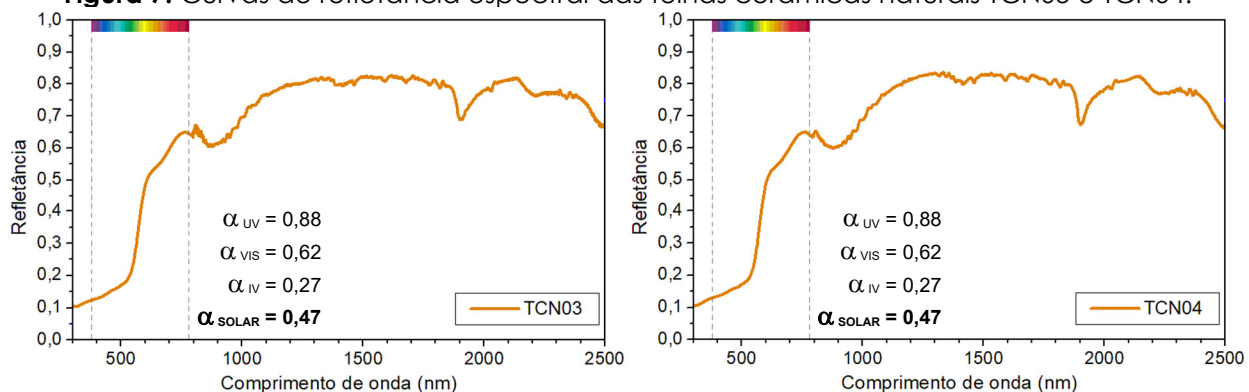


Figura 8: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN05 e TCN06.

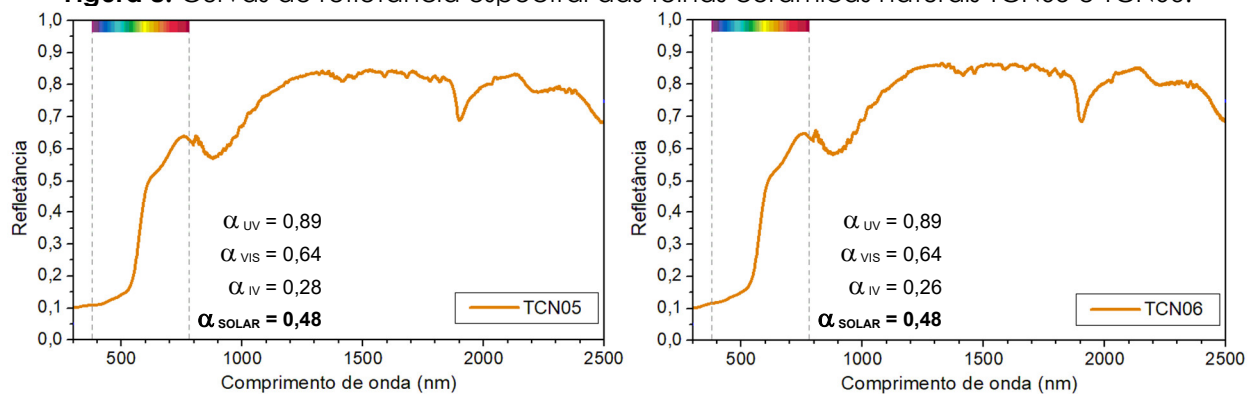


Figura 9: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN07 e TCN08.

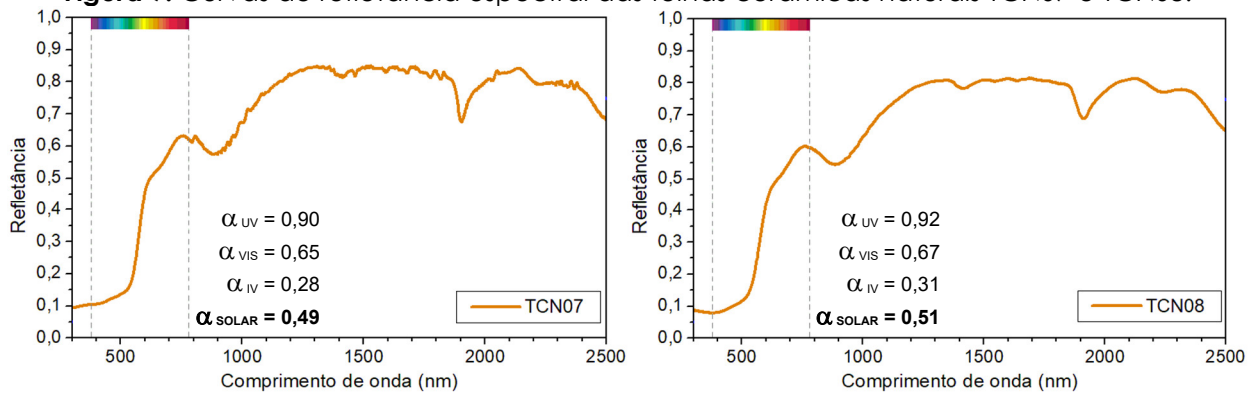


Figura 10: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN09 e TCN10.

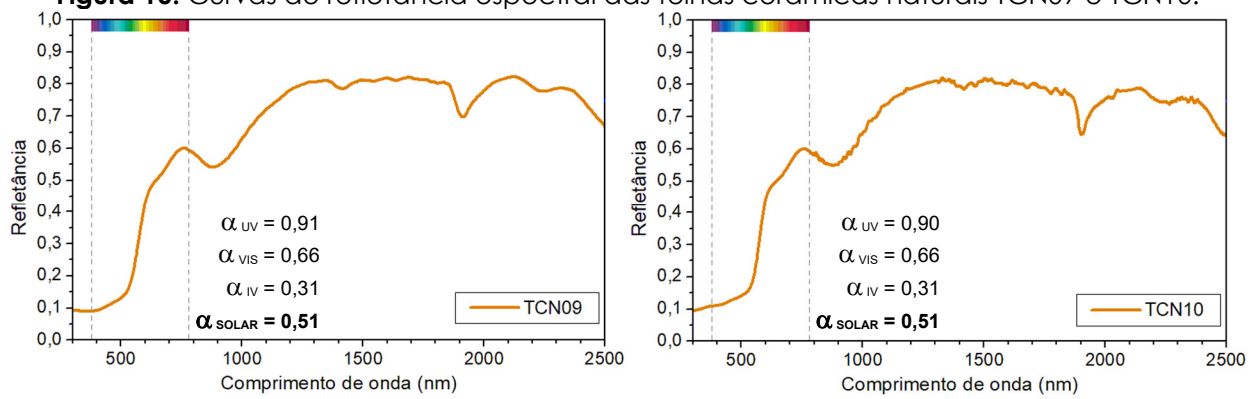


Figura 11: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN11 e TCN12.

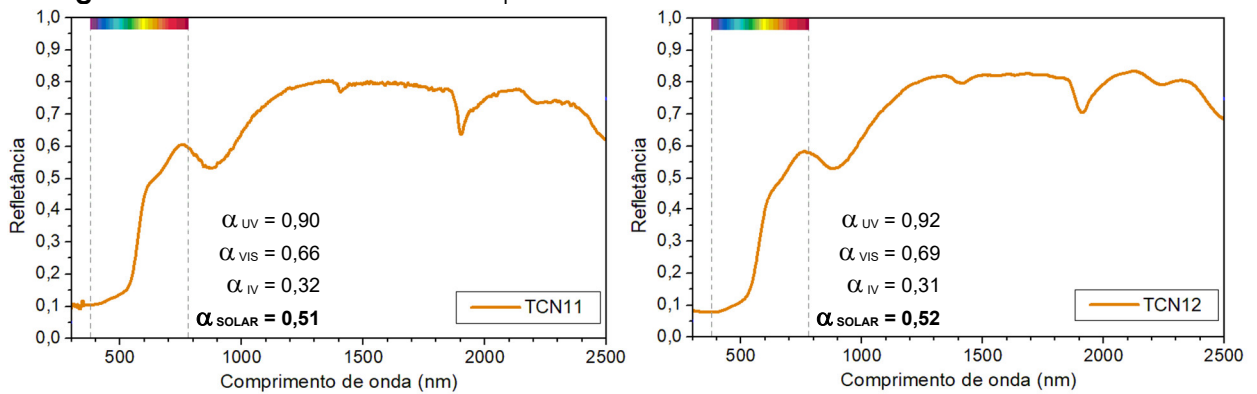


Figura 12: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN13 e TCN14.

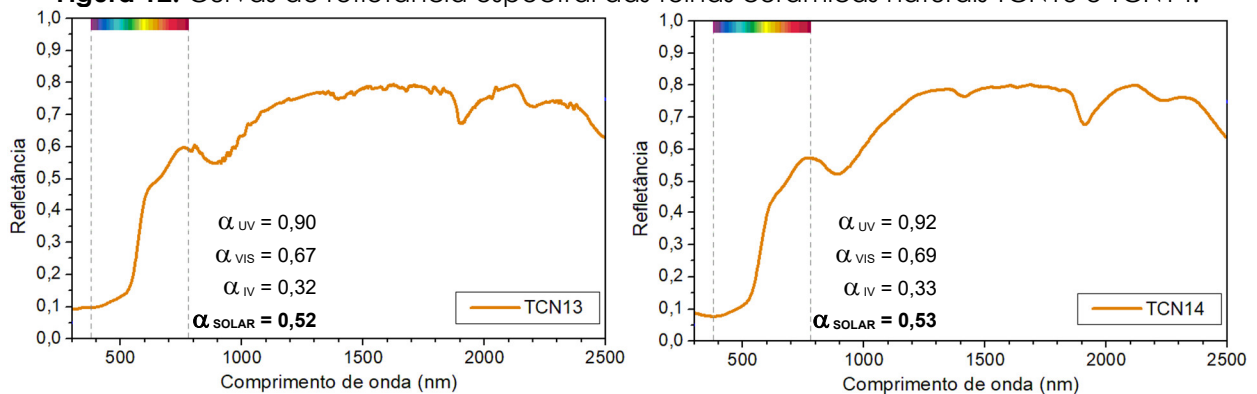


Figura 13: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN15 e TCN16.

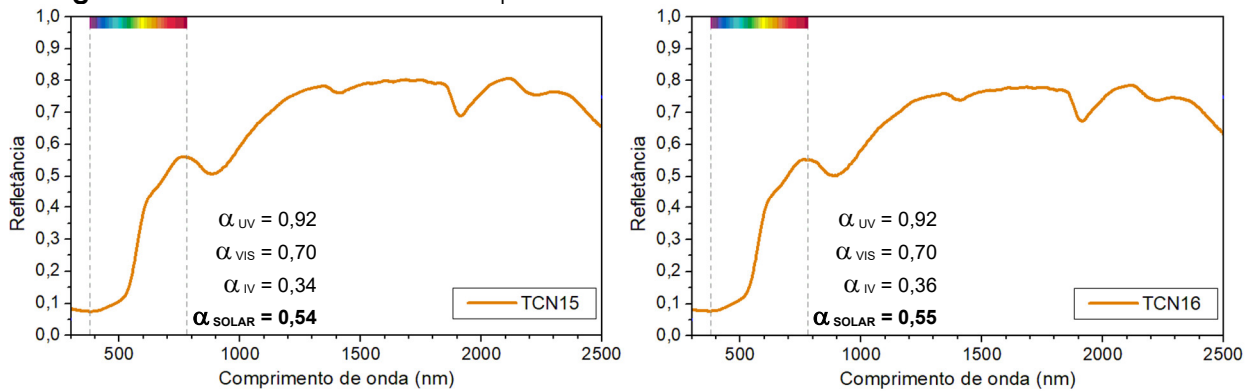


Figura 14: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN17 e TCN18.

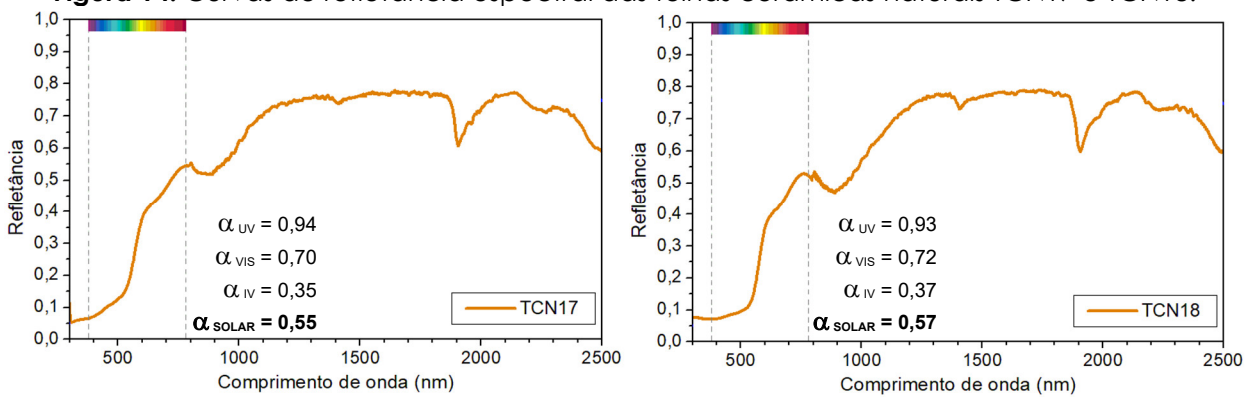


Figura 15: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN19 e TCN20.

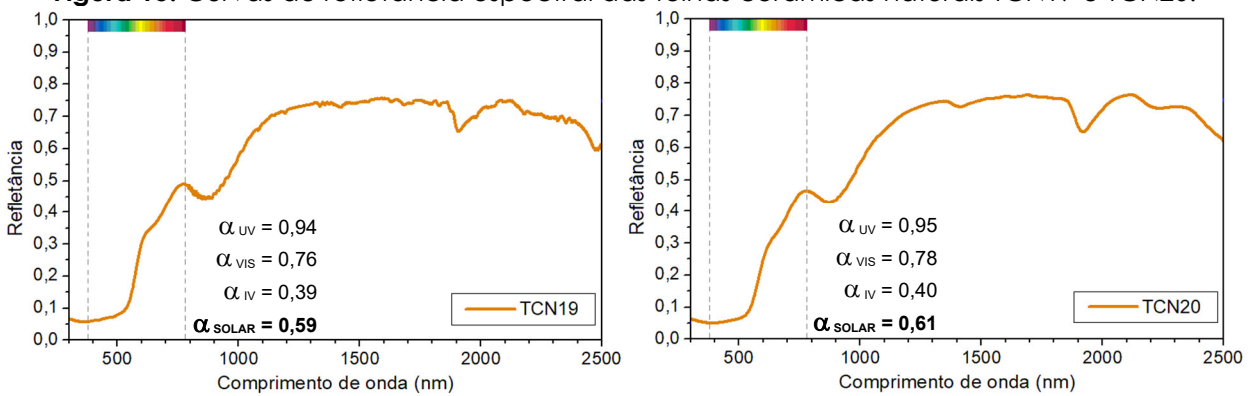


Figura 16: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas naturais TCN21 e TCN22.

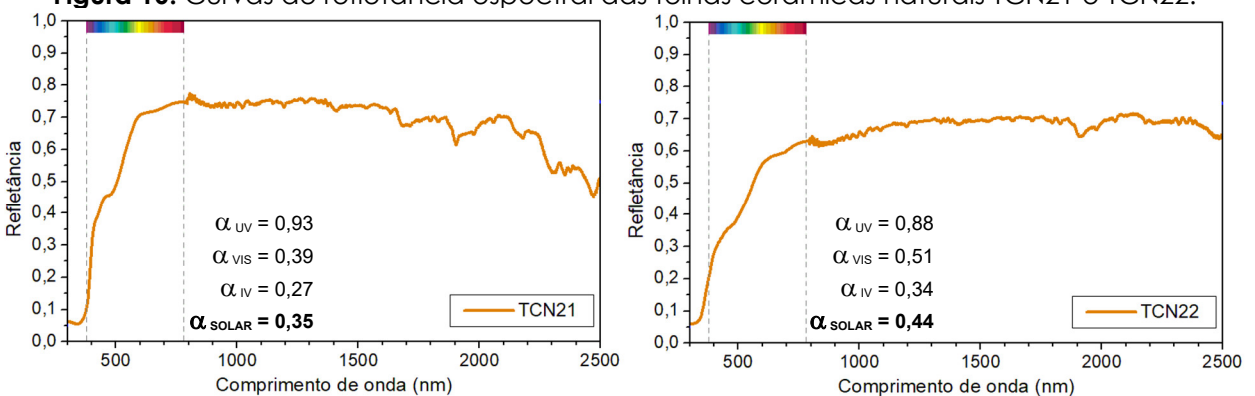
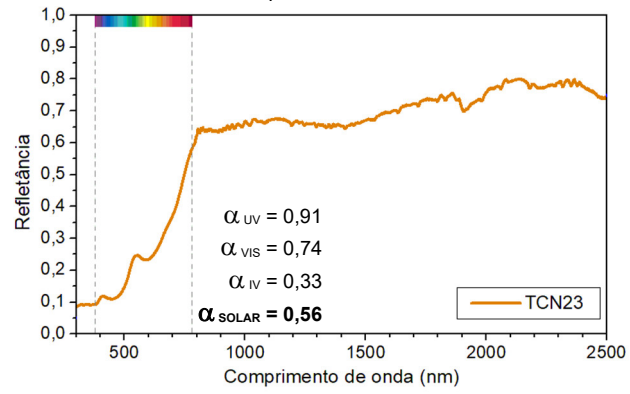


Figura 17: Curva de refletância espectral da telha cerâmica natural TCN23.



TELHAS CERÂMICAS RESINADAS

As curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas com acabamento resinado são apresentadas nas Figuras 18 a 23, a partir das medições em laboratório, assim como os valores médios de absorptância por faixa do espectro (UV, VIS, IV, Solar).

Figura 18: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas resinadas TCR01 e TCR02.

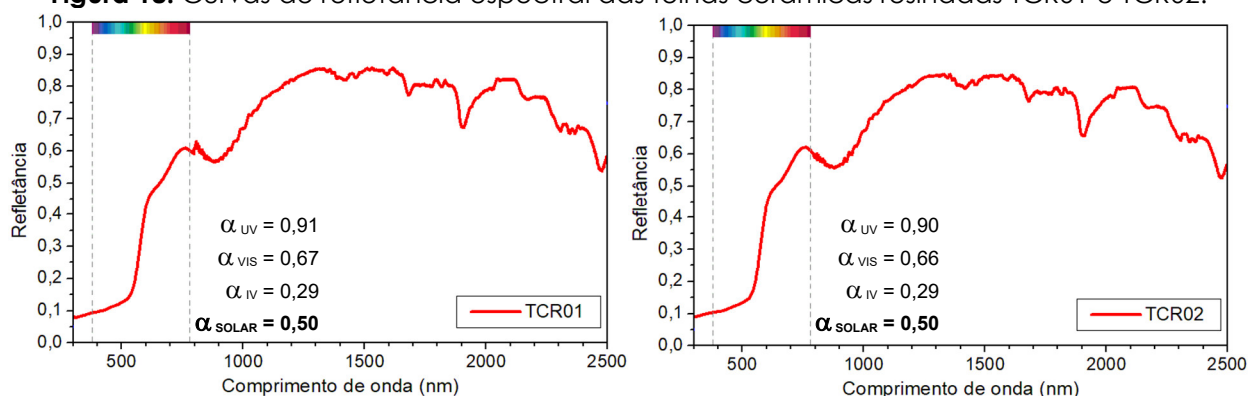


Figura 19: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas resinadas TCR03 e TCR04.

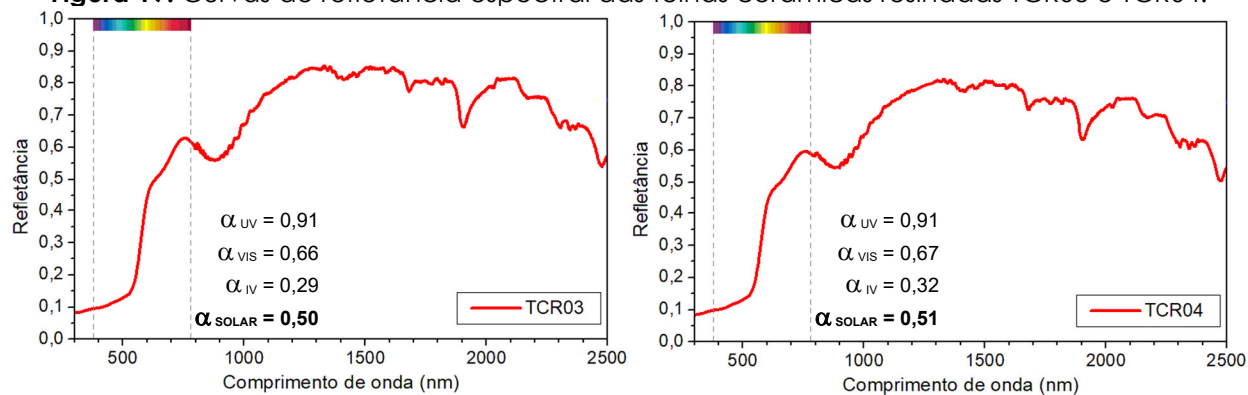


Figura 20: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas resinadas TCR05 e TCR06.

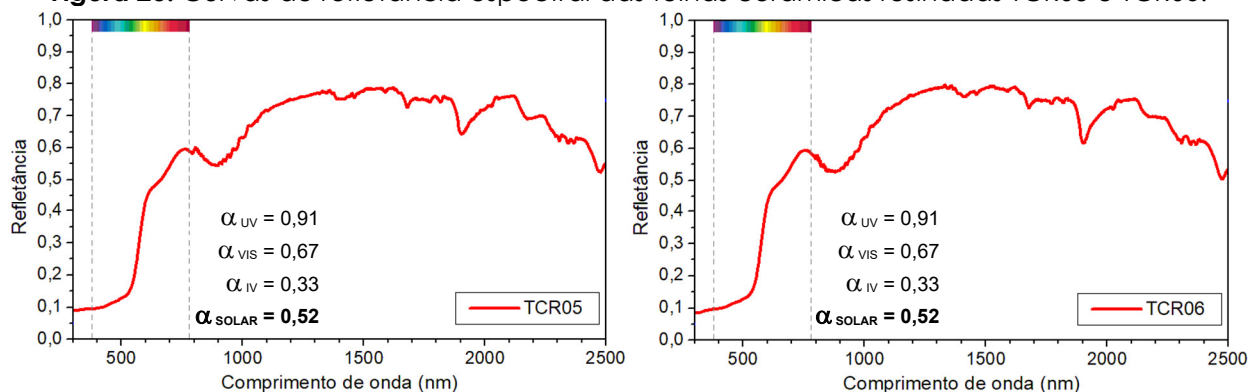


Figura 21: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas resinadas TCR07 e TCR08.

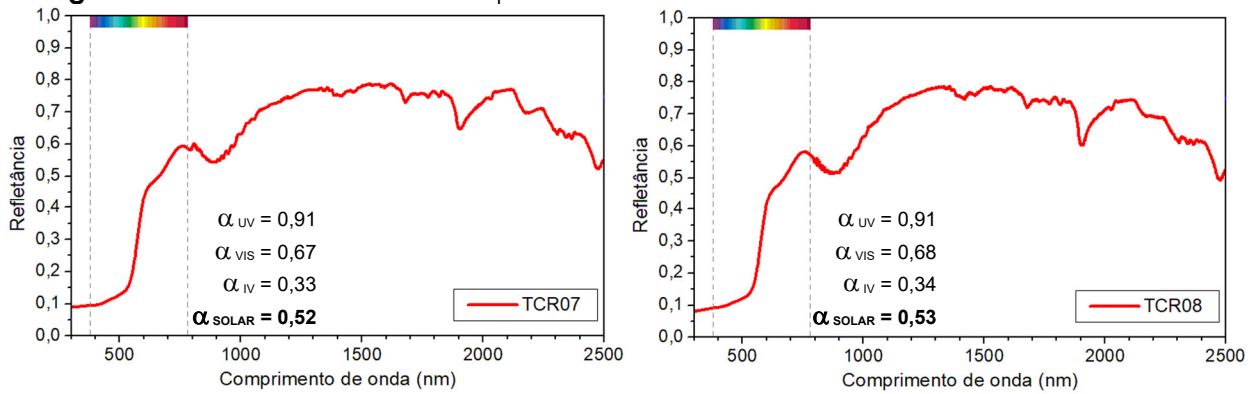


Figura 22: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas resinadas TCR09 e TCR10.

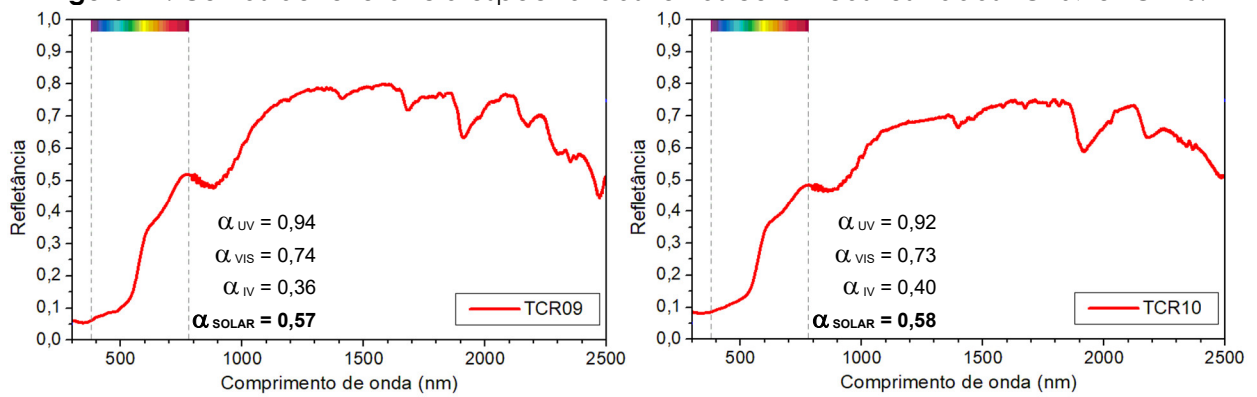
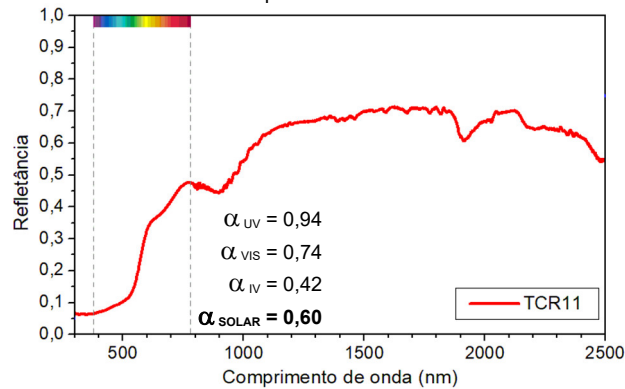


Figura 23: Curvas de refletância espectral da telha cerâmica resinada TCR11.



TELHAS CERÂMICAS ESMALTADAS

As curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas são apresentadas nas Figuras 24 a 34, a partir das medições com espectrofotômetro, assim como os valores médios de absorptância por faixa do espectro (UV, VIS, IV, Solar).

Figura 24: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE01 e TCE02.

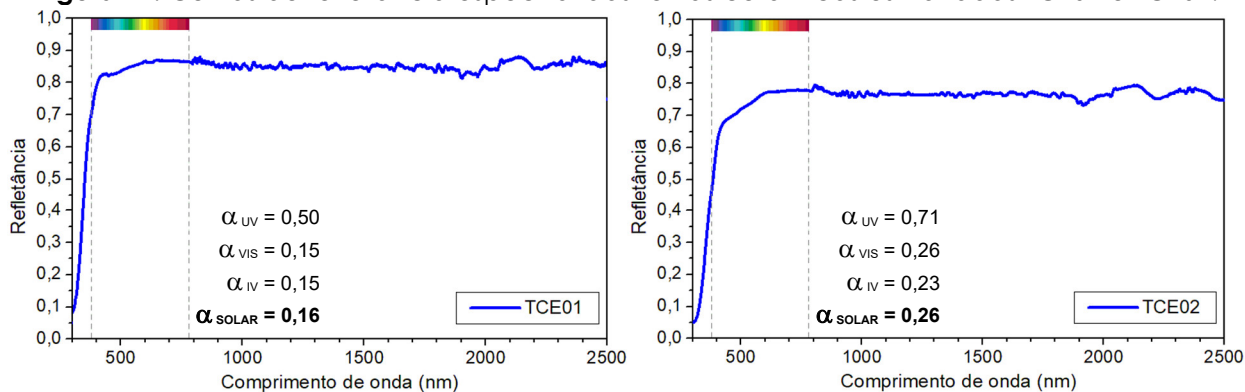


Figura 25: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE03 e TCE04.

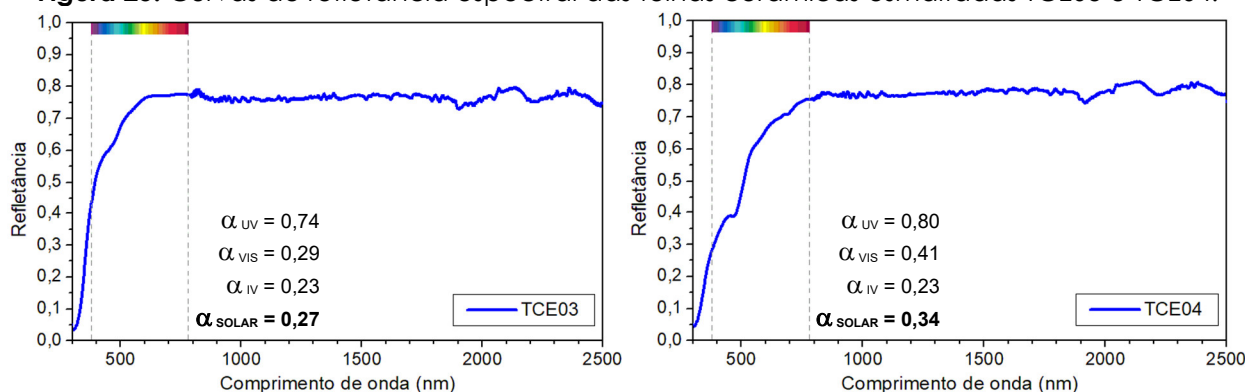


Figura 26: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE05 e TCE06.

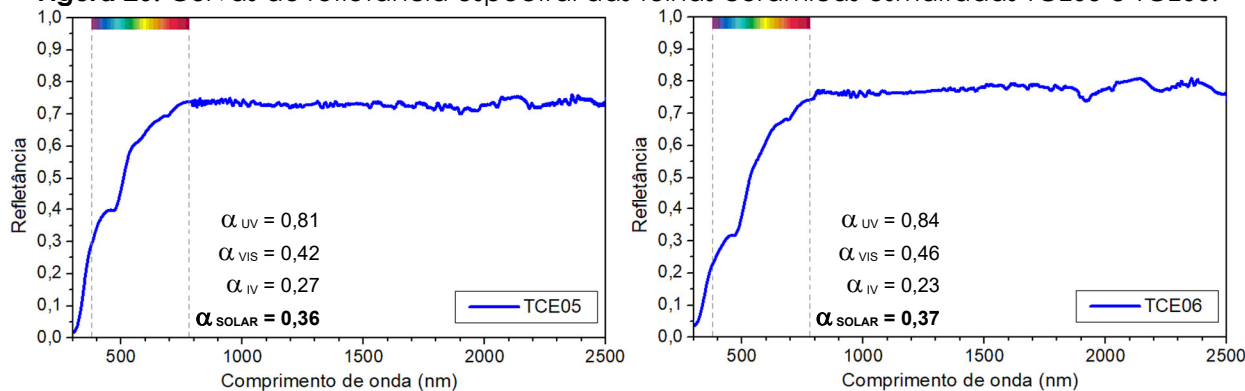


Figura 27: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE07 e TCE08.

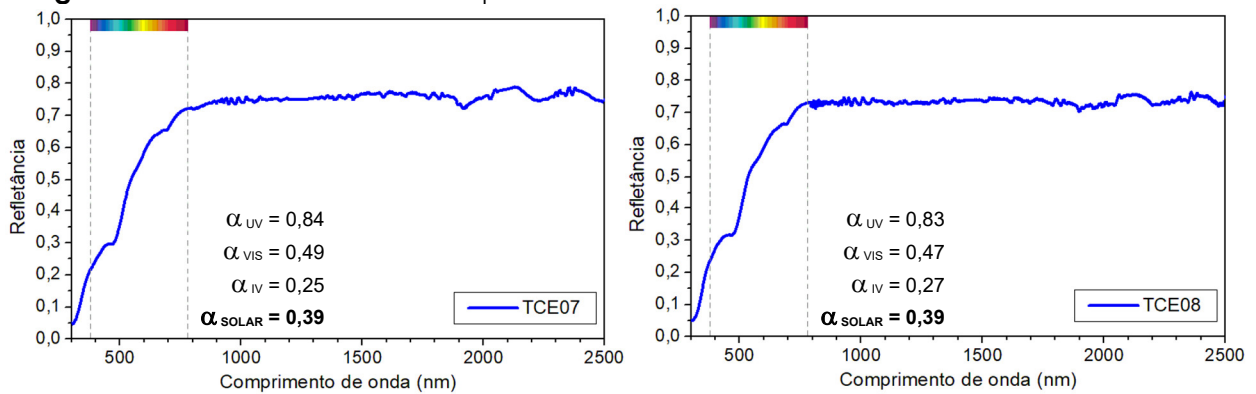


Figura 28: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE09 e TCE10.

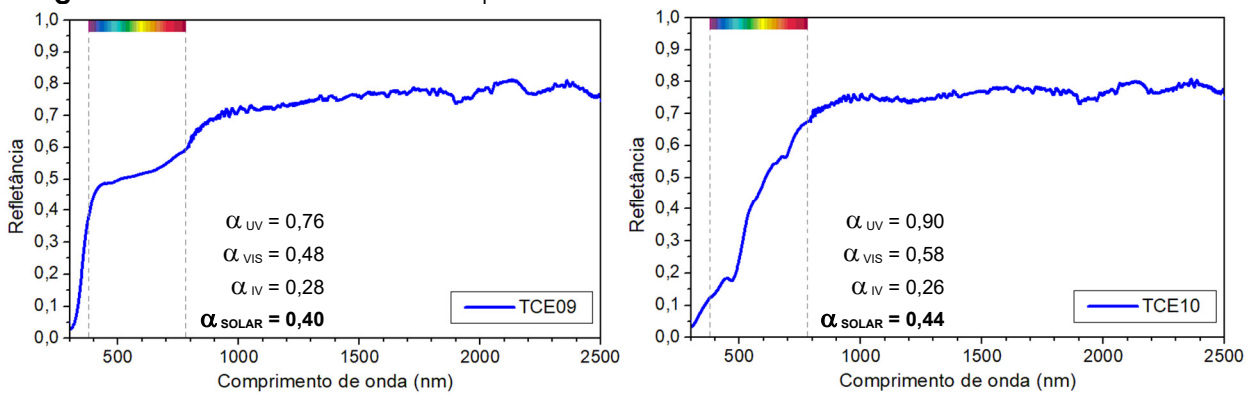


Figura 29: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE11 e TCE12.

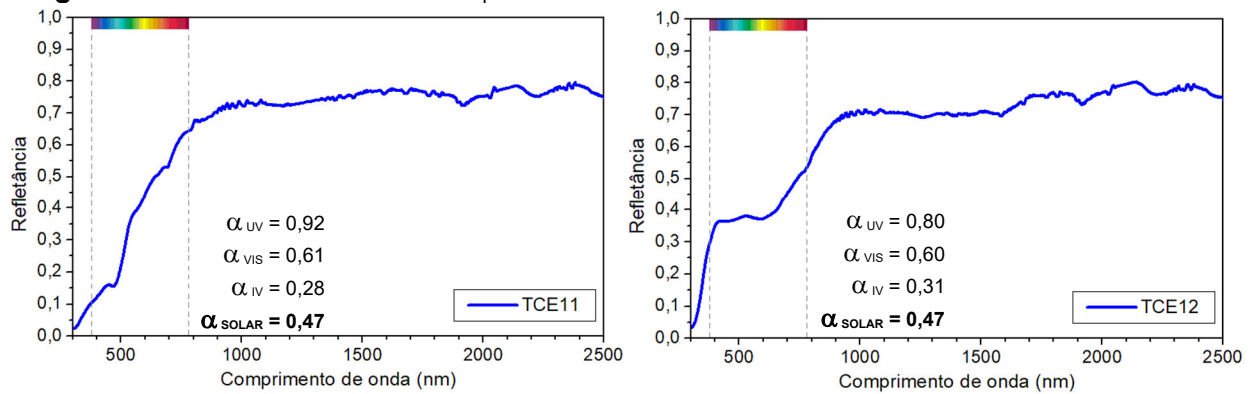


Figura 30: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE13 e TCE14.

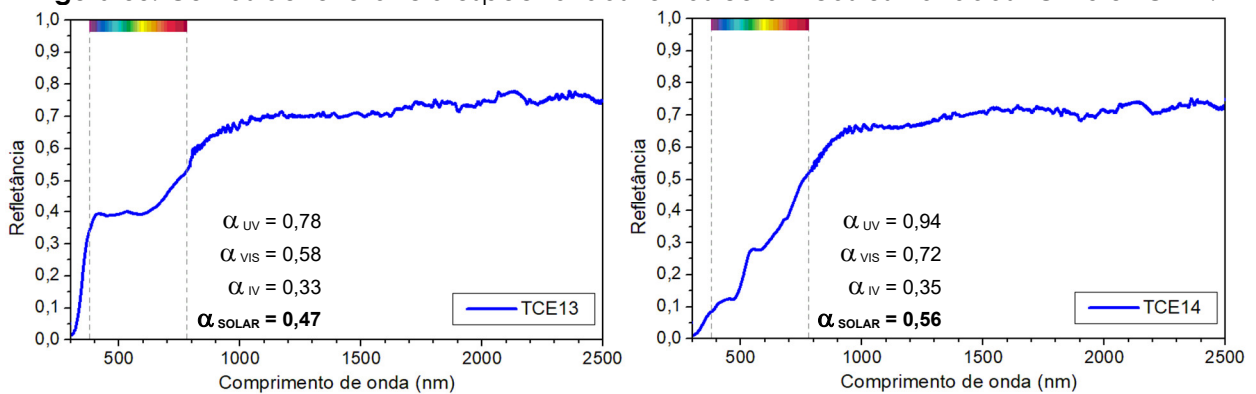


Figura 31: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE15 e TCE16.

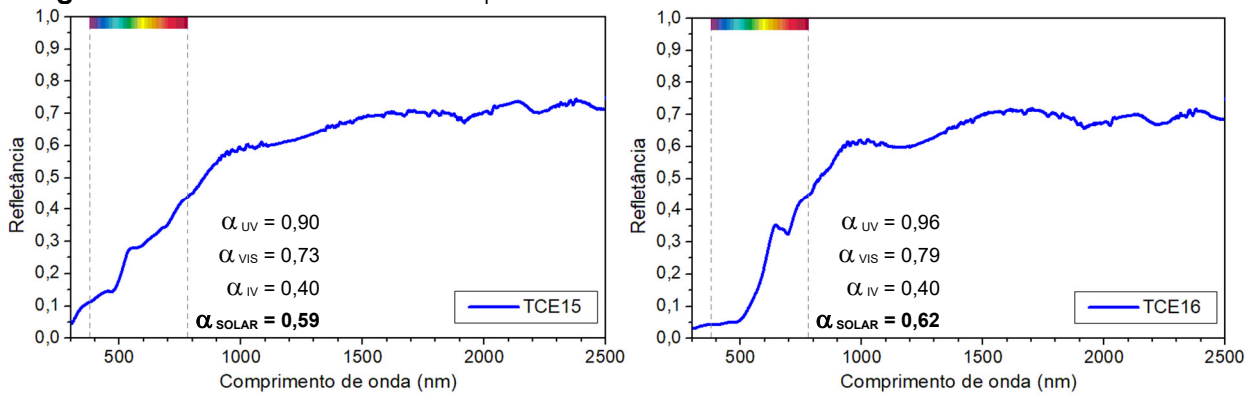


Figura 32: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE17 e TCE18.

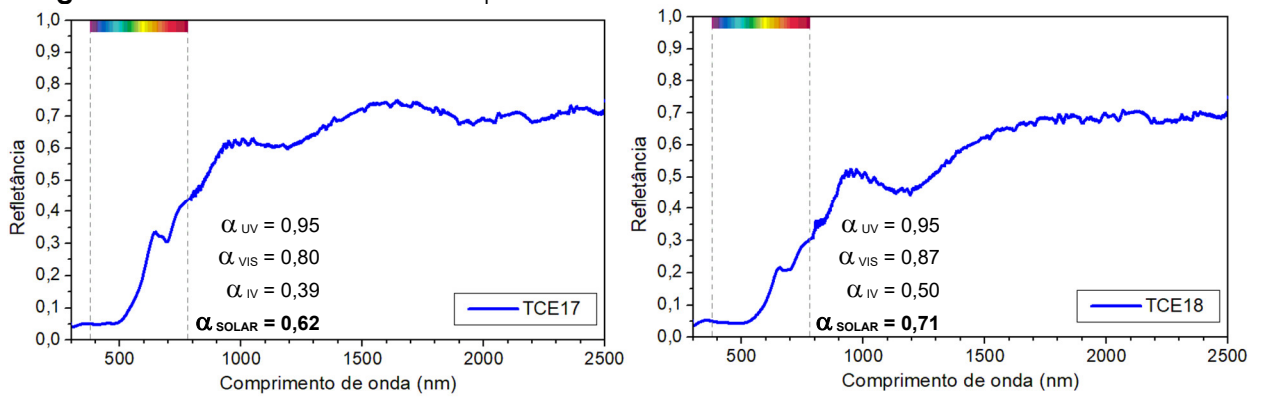


Figura 33: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE19 e TCE20.

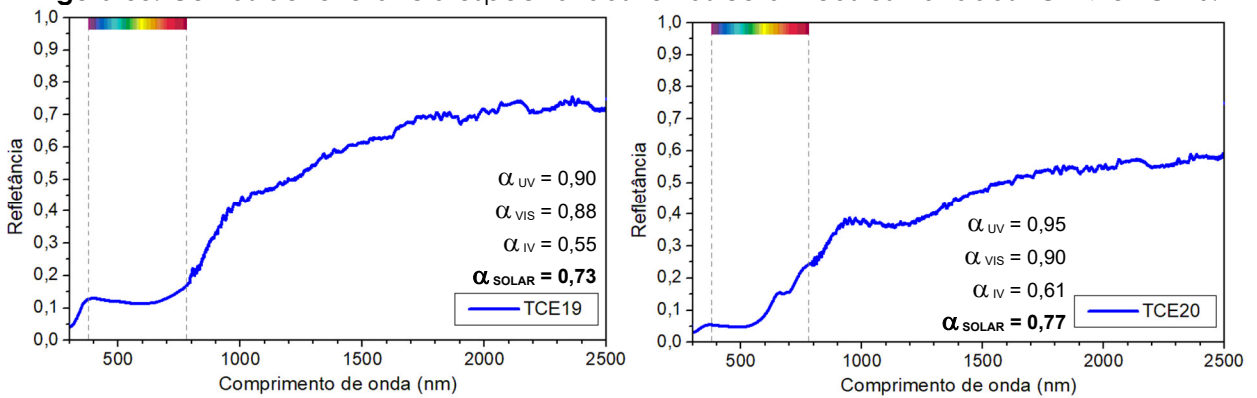
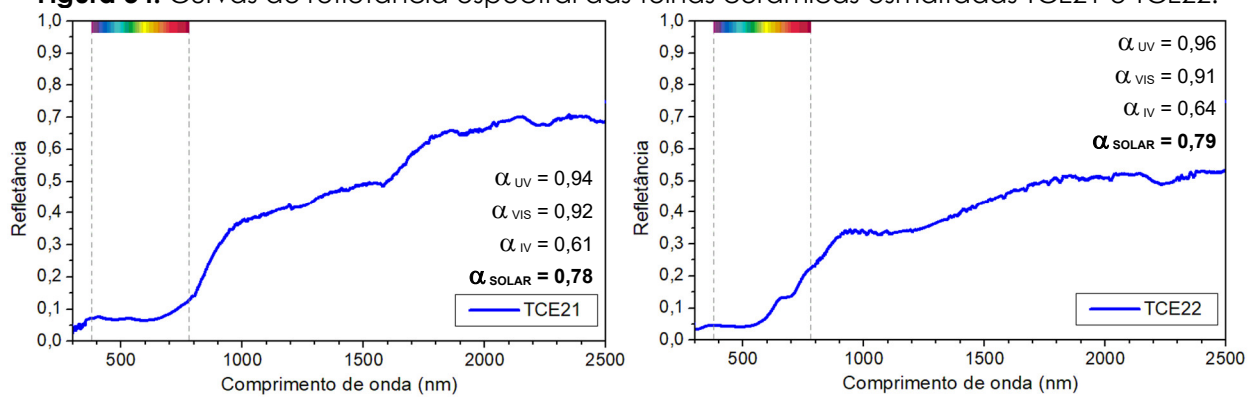


Figura 34: Curvas de refletância espectral das telhas cerâmicas esmaltadas TCE21 e TCE22.



TELHAS DE CONCRETO

As curvas de refletância espectral das telhas de concreto são apresentadas nas Figuras 35 a 38, a partir das medições com espectrofotômetro, assim como os valores médios de absorptância por faixa do espectro (UV, VIS, IV, Solar).

Figura 35: Curvas de refletância espectral das telhas de concreto TCON01 e TCON02.

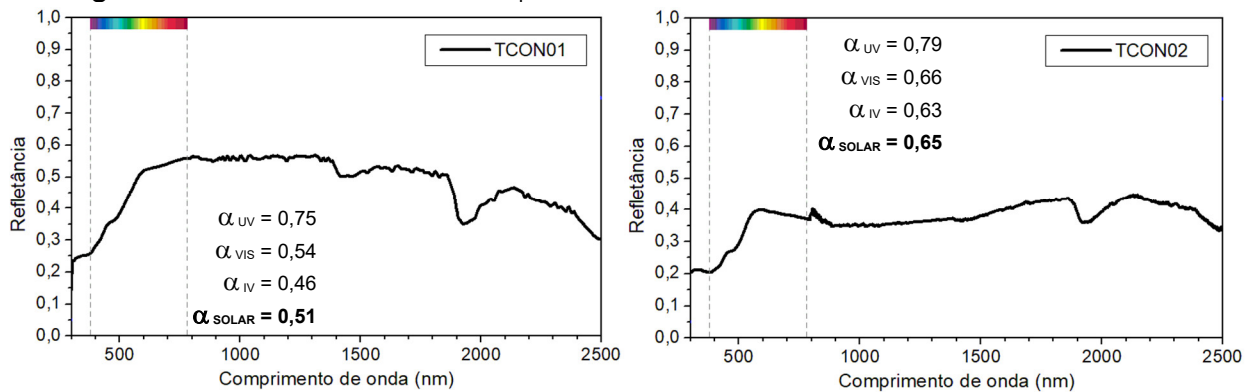


Figura 36: Curvas de refletância espectral das telhas de concreto TCON03 e TCON04.

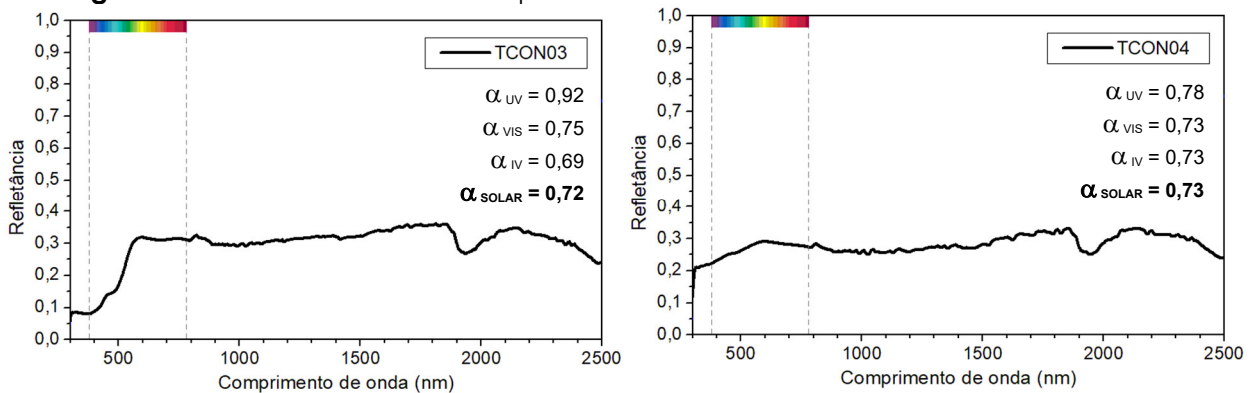


Figura 37: Curvas de refletância espectral das telhas de concreto TCON05 e TCON06.

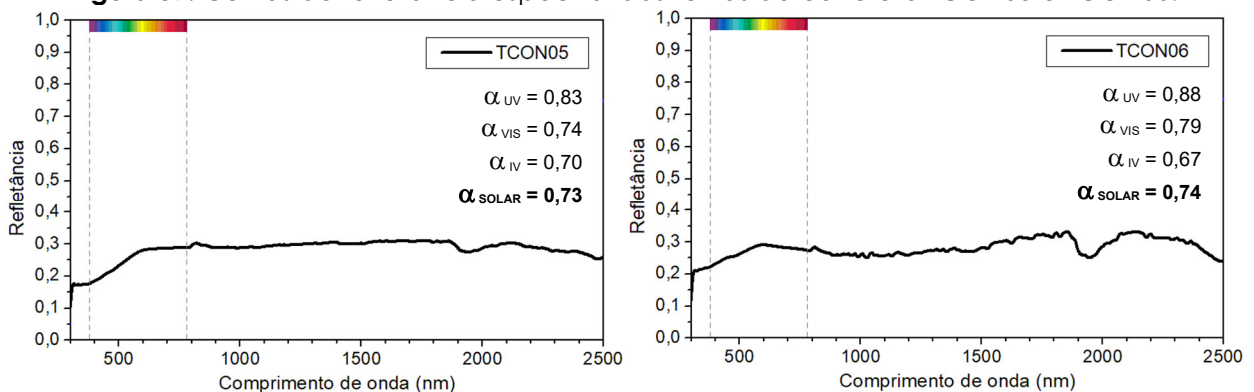
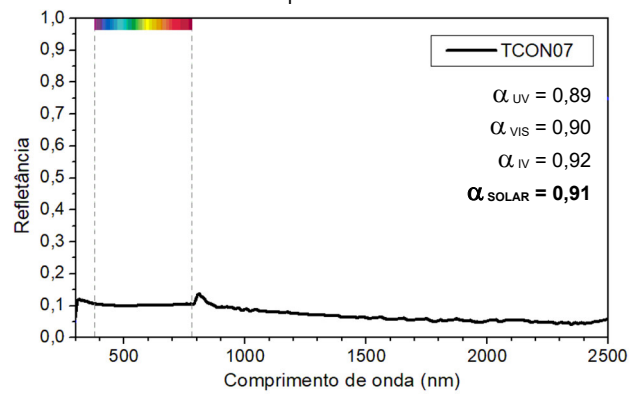
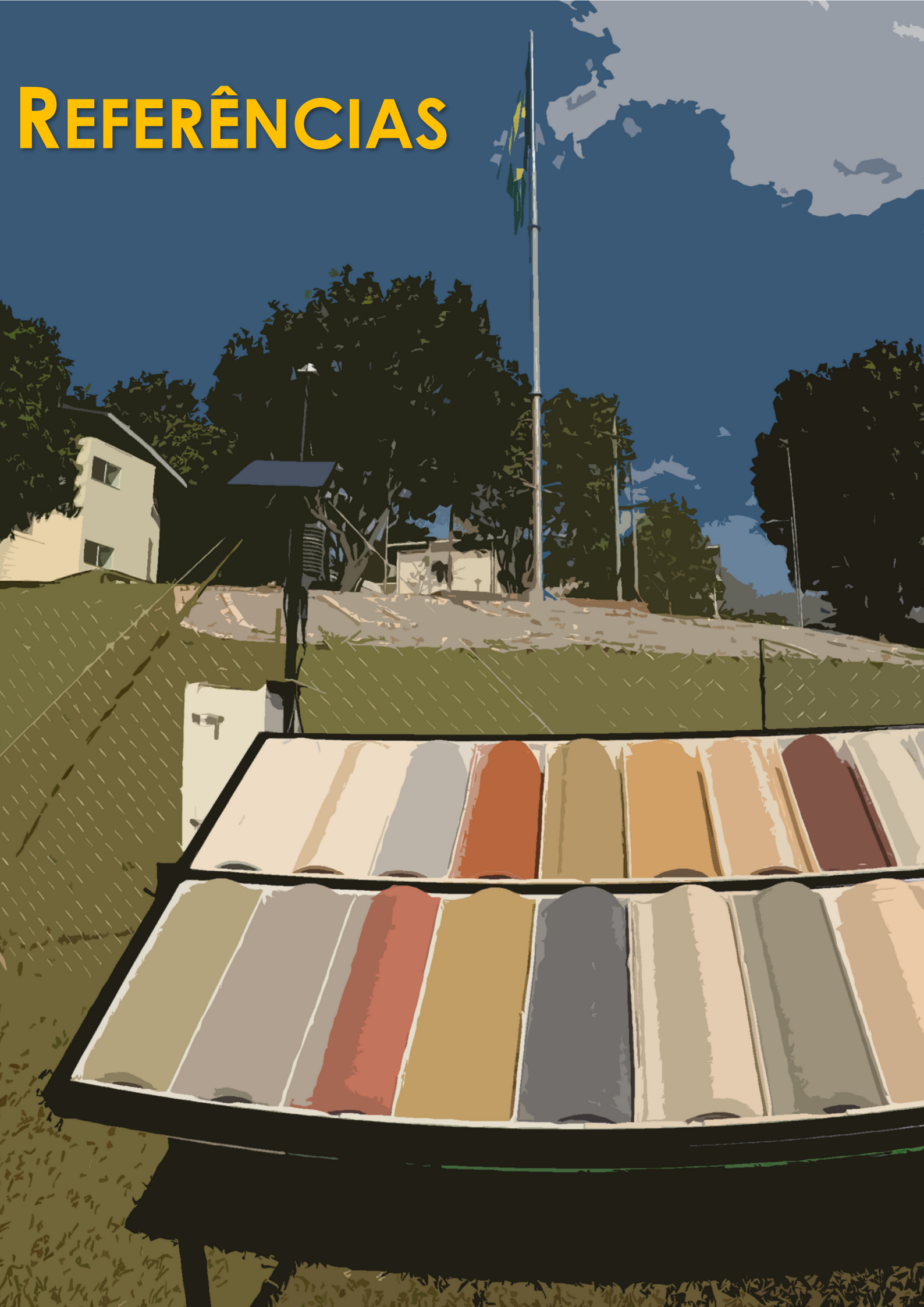


Figura 38: Curva de refletância espectral da telha de concreto TCON07.



REFERÊNCIAS



5 REFERÊNCIAS

ABILE, V. D. **Potencial de uso de espectrômetro portátil para determinação da refletância solar de telhas cerâmicas para cobertura de edifícios.** Relatório final de bolsa de iniciação científica. São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo, 2016. Processo FAPESP Nº 15/17038-6.

AKBARI, H.; BRETZ, S.; KURN, D. M.; HANFORD, J. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. **Energy and Buildings**, v.25, n.2, p.117–126, 1997.

AKBARI, H.; LEVINSON, R.; MILLER, W.; BERDAHL, P. Cool colored roofs to save energy and improve air quality. In: PLEA, 2005, Santorini. **Proceedings...** Santorini, 2005.

AKBARI, H.; MENON, S.; ROSENFELD, A. Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. **Climatic Change**, v.95, 2009a.

AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Solar Energy**, v.70, p.295-310, 2001a.

AKBARI, H.; ROSE, L. S. Characterizing the fabric of the urban environment: a case study of Salt Lake City, Utah. **Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBNL-47851**, Berkeley, CA. 2001b.

AKBARI, H.; ROSE, L. S.; TAHA, H. Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. **Landscape and Urban Planning**, v.63, pp.1-14, 2003.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE fundamentals handbook**. Atlanta: ASHRAE, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 90.1**: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta: ASHRAE, 2019.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 90.2**: Energy-efficient design of low-rise residential buildings. Atlanta: ASHRAE, 2018.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 74-1988**: Method of measuring solar-optical properties of materials. Atlanta, 1988.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1549-16**: Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer. ASTM International, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E903-20**: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM International, 2020a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1918-06**: Standard test method for measuring solar reflectance of horizontal and low-sloped surfaces in the field. ASTM International, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G173-20**: Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. ASTM International, 2020b.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2244-16**: Calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. ASTM International, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575**: Edificações habitacionais: Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BERDHAL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, v.25, p.149-158, 1997.

BRITO FILHO, J. P.; HENRIQUEZ, J. R.; DUTRA, J. C. C. Effects of coefficients of solar reflectivity and infrared emissivity on the temperature and heat flux of horizontal flat roofs of artificially conditioned nonresidential buildings. **Energy and Buildings**, v.43, n.2-3, p.440-445, 2011.

CÂNDIDO, C.; DORNELLES, K. A.; LUKIANTCHUKI, M. A. O impacto da absorvância solar da cobertura no desempenho térmico de uma HIS na cidade de Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

CAVALCANTI, F. S. Impacto da absorvância e transmitância das fachadas na eficiência energética e conforto térmico para habitação de interesse social. **Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, 28, 2020.

CHEN, C.; YUE, Y.; JIANG, W. Numerical simulation on cooling effects of greening for alleviating urban heat island effect in north China. **Applied Mechanics and Materials**, 675-677, 1227-1233. 2014.

CHEN, G.; ZHAO, L.; MOCHIDA, A. Urban Heat Island simulations in Guangzhou, China, using the coupled WRF/UCM model with a land use map extracted from remote sensing data. **Sustainability**, v.8, n.7, 2016.

COUTO, L. S. B. **ALTA II**: uma alternativa aos métodos de medição de refletância solar para telhas cerâmicas e de fibrocimento. 2019. 84 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

COUTO, L. S. B.; ABILE, V. D.; DORNELLES, K. A. Potencial de uso de espectrômetro portátil para determinação da refletância solar de telhas cerâmicas para cobertura de edifícios. In: XIV ENCAC e X ELACAC, 2017, Balneário Camboriú. **Anais...**, XIV ENCAC e X ELACAC, Balneário Camboriú, 2017.

DORNELLES, K. A. **Absorvância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DORNELLES, K. A. **Refletância solar e ilhas de calor**: um método para determinação da refletância de revestimentos para o ambiente construído. Relatório final de pesquisa. São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo, 2020. Processo CNPq Nº 402720/2016-4.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. A ilusão das cores na identificação da absorvância solar de superfícies opacas. In: ENCAC, 9., ELACAC, 5., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007.

- DORNELLES, K. A.; RORIZ, M.; RORIZ, V.; CARAM, R. M. Desempenho térmico de tintas brancas com microesferas cerâmicas para uso em coberturas de edifícios. In: XI ENCAC, 2011. **Anais...**, Búzios, 2011.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2020**: Ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 24nov. 2020.
- FERREIRA, F; PRADO, R. T. A. Medição do albedo ou refletância dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. In: ENCAC, 7., CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2003.
- FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. de; ASSIS, E. S. de. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 183-200, jan./mar. 2017
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2010.
- HATVANI-KOVACS, G.; BELUSKO, M.; POCKETT, J.; BOLAND, J. Can the excess heat factor indicate heatwave-related morbidity? A case study in Adelaide, South Australia. **EcoHealth**, v.13, n.1, p.100-110. 2016a.
- HATVANI-KOVACS, G.; BELUSKO, M.; SKINNER, N.; POCKETT, J.; BOLAND, J. Drivers and barriers to heat stress resilience. **Science of The Total Environment**, v.571, p.603-614. 2016b.
- HATVANI-KOVACS, G.; BELUSKO, M.; SKINNER, N.; POCKETT, J.; BOLAND, J. Heat stress risk and resilience in the urban environment. **Sustainable Cities and Society**, v.26, p.278-288, 2016c.
- HEAVISIDE, C.; TSANGARI, H.; PASCHALIDOU, A.; VARDOULAKIS, S.; KASSOMENOS, P.; GEORGIU, K.E.; YAMASAKI, E.N. Heat-related mortality in Cyprus for current and future climate scenarios. **Science of The Total Environment**, 569-570, p.627-633, 2016.
- HIEN, W. N.; YU, C. Study of urban heat island in Singapore. In: PLEA, 20., 2003, Santiago do Chile. **Proceedings...** Santiago do Chile, 2003.
- HIDALGO ARAUJO, A. C.; DORNELLES, K. A. Refletância solar e o desempenho térmico de telhas expostas ao tempo. In: XV ENCAC e XI ELACAC, 2019, João Pessoa. **Anais...**, XV ENCAC e XI ELACAC. Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 3211-3216.
- 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.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/CIE 11664-4**. Colorimetry - Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space. 2019.
- 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.
- KUSAKA, H.; KIMURA, F. Thermal effects of urban canyon structure on the nocturnal heat island: numerical experiment using a mesoscale model coupled with an urban canopy model. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.43, n.12, p.1899-1910, 2004.
- MELO, A. P. **Desenvolvimento de um modelo simplificado para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- MUSELLI, M. Passive cooling for air-conditioning energy savings with new radiative low-cost coatings. **Energy and Buildings**, v.42, n.6, p.945-954, 2010.

NEOPHYTOU, M.K.-A.; FERNANDO, H.J.S.; BATCHVAROVA, E.; SANDBERG, M.; LELIEVELD, J.; TRYPHONOS, E. A scaling law for the urban heat island phenomenon: deductions from field measurements and comparisons with existing results from laboratory experiments. **American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication)**, FEDSM, 1D, 2014.

PISELLO, A. L. Thermal-energy analysis of roof cool clay tiles for application in historic buildings and cities. **Sustainable Cities and Society**, v.19, p.271-280, 2015.

PISELLO, A. L.; CASTALDO, V. L.; FABIANI, C.; COTANA, F. Investigation on the effect of innovative cool tiles on local indoor thermal conditions: finite element modeling and continuous monitoring. **Building and Environment**. v.97, p.55-68. 2016.

POMERANTZ, M.; AKBARI, H.; BERDAHL, P.; KONOPACKI, S. J.; TAHA, H. Reflective surfaces for cooler buildings and cities. **Philosophical Magazine B**, v.79, n.9, pp.1457-1476, 1999.

PYRGOU, A.; CASTALDO, V.L.; PISELLO, A.L.; COTANA, F.; SANTAMOURIS, M. On the effect of summer heatwaves and urban overheating on building thermal-energy performance in central Italy. **Sustainable Cities and Society**, v.28, p.187-200, 2017.

RICHIARDONE, R.; BRUSASCA, G. Numerical experiments on urban heat island intensity. **Q. J. Royal Meteorological Society**. v.115, n.488, p.983-995, 1989.

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.

SANTAMOURIS, M.; PAVLOU, K.; SYNNEFA, A.; NIACHOU, K.; KOLOKOTSA, D. Recent progress on passive cooling techniques – Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. **Energy and Buildings**, v.39, n.7, p.859-866, 2007.

SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA, D. On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe. **Energy and Buildings**, v.98, p.125-133. 2015.

SHEN, H.; TAN, H.; TZEMPELIKOS, A. The effect of reflective coatings on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption - an experimental study. **Energy and Buildings**, v.43, n.2-3, p.573-580, 2011.

SHI, Z.; ZHANG, X. Analyzing the effect of the longwave emissivity and solar reflectance of building envelopes on energy-saving in buildings in various climates. **Solar Energy**, v.85, n.1, p.28-37, 2011.

SUEHRCKE, H.; PETERSON, E. L.; SELBY, N. Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. **Energy and Buildings**, v.40, n.12, p.2224-2235, 2008.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v.81, p.488-497, 2007.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. A study of the thermal performance and of reflective coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v.80, p.968-981, 2006.

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.

TAHA, H. 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.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H.; HUANG, J. Residential cooling loads and the urban heat island: the effects of albedo. **Building and Environment**, v. 23, p. 271-283, 1988.

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.

UEMOTO, K. L.; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M. Estimating thermal performance of cool colored paints. **Energy and Buildings**, v.42, n.1, p.17-22, 2010.

WARD, K.; LAUF, S.; KLEINSCHMIT, B.; ENDLICHER, W. Heat waves and urban heat islands in Europe: a review of relevant drivers. **Science of The Total Environment**, v.569-570, p.527-539, 2016.

WESTPHAL, F. S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

YU, B.; CHEN, Z.; SHANG, P.; YANG, J. Study on the influence of albedo on building heat environment in a year-round. **Energy and Buildings**, v.40, n.5, p.945-951, 2008.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece às agências de fomento **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo** (FAPESP), **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico** (CNPq) e **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior** (CAPES) pelo financiamento das pesquisas através de uma bolsa de iniciação científica (Processo FAPESP nº 15/17038-6), um auxílio à pesquisa da Chamada Universal MCTI/CNPq Nº 01/2016 (Processo CNPq Nº 402720/2016-4) e duas bolsas de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do IAU-USP (PPGAU).

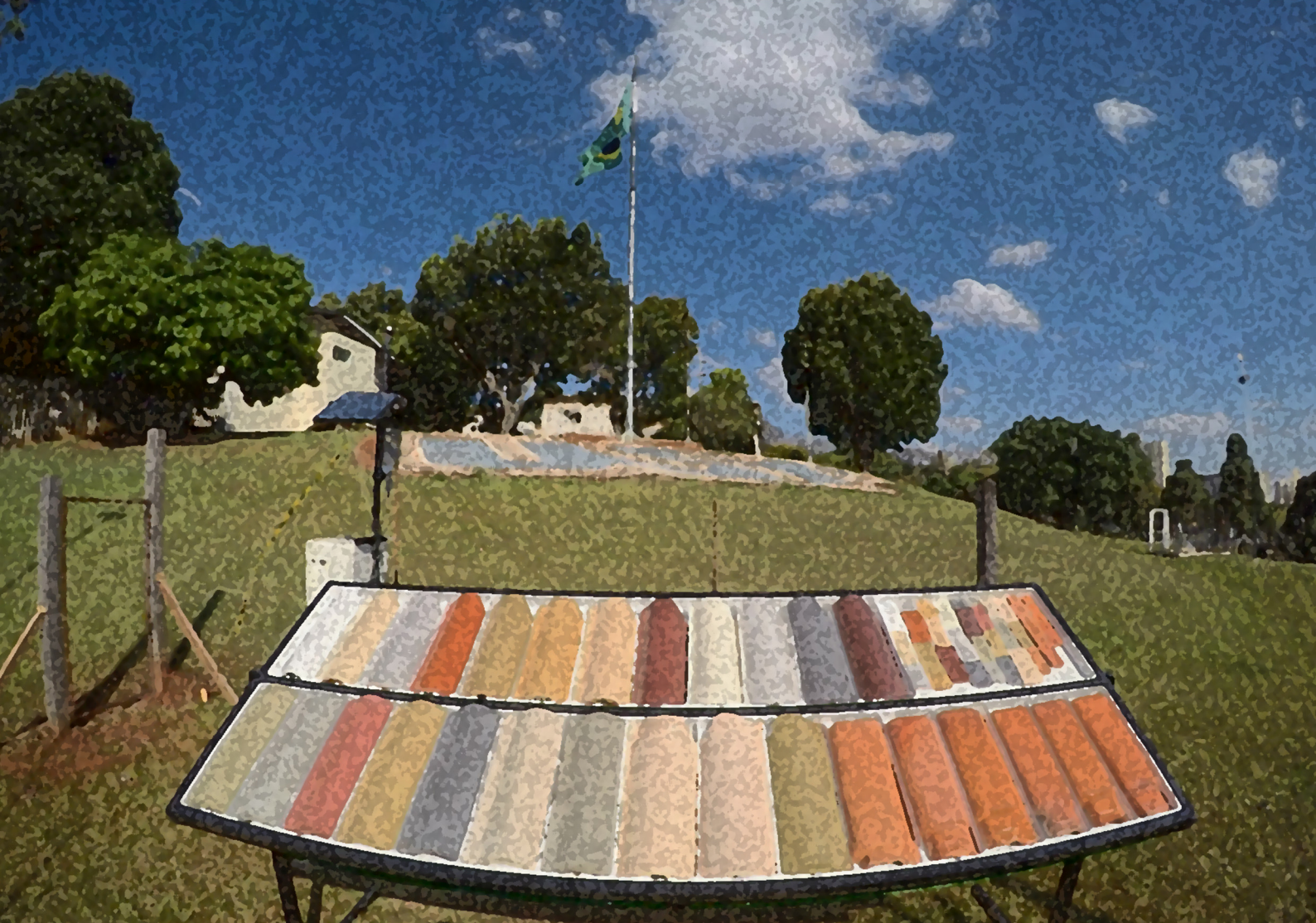
Os dados de absorção solar das telhas foram obtidos graças ao empenho e dedicação às pesquisas desenvolvidas por Victor Abile (aluno de graduação em Engenharia Civil da EESC-USP no ano de 2016, bolsista de Iniciação Científica da FAPESP), Lorena Couto (Arquiteta, Mestre e Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo do PPGAU-IAU/USP, bolsista CAPES) e Ana Carolina Hidalgo (Arquiteta e Engenheira Civil, Mestranda em Arquitetura e Urbanismo do PPGAU-IAU/USP, bolsista CAPES).

A autora agradece à Profa. Dra. Marieli A. Lukiantchuki pela cuidadosa revisão do texto e conteúdo apresentado neste documento, e à aluna de Mestrado Ana Carolina Hidalgo, que gentilmente compartilhou as fotos de sua autoria para ilustrar a capa, contracapa e divisão de capítulos do livro.

USP



2021



iau usp