

Utilização do espectrômetro Alta II para obtenção da absortância solar de superfícies opacas

RESUMO

As propriedades térmicas dos materiais da envoltória de uma edificação influenciam o seu comportamento térmico. O método mais preciso para obter a absortância de uma amostra é por meio da medição de sua refletância mediante o uso de um espectrofotômetro. No entanto, este equipamento possui um custo elevado e não permite a realização de medições em campo. Uma alternativa para esse método é a utilização do espectrômetro Alta II, equipamento mais acessível e que permite a medição de radiações em onze diferentes comprimentos de onda, entre 470 nm e 940 nm. Este artigo apresenta a metodologia utilizada para a utilização do espectrômetro Alta II em campo e os procedimentos de cálculo para obtenção da absortância solar de superfícies opacas. Como resultado, são apresentados valores para a radiação solar absorvida e refletida para materiais comumente utilizados na construção civil, que podem servir como referência para pesquisas futuras.

PALAVRAS-CHAVE: Refletância solar. Absortância solar. Espectrômetro Alta II.

Adriana Rodrigues Pereira
adrianaengivil@hotmail.com
Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais
(CEFET-MG)

Simone Queiroz da Silveira
Hirashima
simonehirashima@cefetmg.br
Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais
(CEFET-MG)

Raquel Diniz Oliveira
raqueldo@gmail.com
Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais
(CEFET-MG)

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tornou-se mais frequente a realização de estudos sobre o desempenho térmico e o consumo energético em edificações, principalmente devido ao desenvolvimento de programas de simulação mais efetivos. O comportamento térmico das edificações é afetado, principalmente, pela radiação solar, responsável pela maior parte do ganho de calor no ambiente construído (DUARTE et al., 2014).

Uma parte da energia radiante que incide em uma superfície opaca é refletida e outra parte é absorvida. A parcela da radiação refletida, está relacionada à propriedade da superfície denominada refletância, enquanto a parcela absorvida está relacionada à absorptância. O somatório dessas duas parcelas equivale à energia total incidente. Dessa forma, caso seja conhecida uma dessas propriedades da superfície opaca, é possível determinar a outra (PEREIRA et al., 2015). Em superfícies consideradas opacas, o somatório das parcelas referentes à absorptância e à refletância é igual a uma unidade (DORNELLES; RORIZ, 2007).

Apesar da importância da absorptância e da refletância solar das superfícies para o desempenho termo-energético das edificações, poucos estudos têm sido conduzidos com a finalidade de obter e difundir dados mais precisos e atualizados sobre essas propriedades. As publicações normalmente mostram dados genéricos, obtidos por meio de uma mesma base de dados internacional. O erro mais comum é supor que a absorptância das superfícies depende da cor. As cores não são capazes de fornecer uma indicação precisa sobre a quantidade de energia absorvida ou refletida pelas superfícies (DORNELLES; RORIZ, 2007).

A NBR 15220-2 (ABNT, 2005) apresenta valores para a absorptância de alguns materiais construtivos, entretanto os dados são apenas indicativos. Para a obtenção desse dado, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) sugere a adoção de procedimentos de acordo com as normas E1918:16 (ASTM, 2016) e E903:12 (ASTM, 2012) da ASTM (American Society for Testing and Materials). Não obstante, essas normas recomendam a utilização de equipamentos que costumam ser caros e que requerem mão de obra especializada para manuseio. Nesse contexto, surgem estudos utilizando o Espectrômetro Alta II, equipamento empregado para a medição de refletância espectral. O Alta II realiza medições em onze comprimentos de onda, entre 470nm e 940nm, sendo sete deles na região visível e quatro na região do infravermelho próximo (PEREIRA et al., 2017). Uma das vantagens desse equipamento é o fato de ser portátil e de custo reduzido, quando comparado a um espectrofotômetro ou um refletômetro (PEREIRA et al., 2015).

Estudos realizados pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (PEREIRA et al., 2015) demonstraram que o equipamento gera resultados que podem servir como um indicativo da real refletância solar da superfície. Os resultados apresentaram incerteza de $\pm 0,10$ nos valores absolutos de refletância solar.

Silva, Almeida e Ghisi (2017) apontaram a absorptância solar da cobertura de uma edificação residencial localizada em Florianópolis - SC, como um dos parâmetros de maior incerteza para a simulação termo-energética. Essa variável resultou em um impacto relevante no resultado de desconforto por calor da

simulação computacional. Assim, é importante que seja realizada medição em campo da absorvância solar para a obtenção de resultados mais precisos nas simulações computacionais de edificações.

Existem estudos sobre os procedimentos a serem adotados para medir a refletância de superfícies de forma confiável, mediante a utilização do Alta II, e que apresentam a absorvância obtida para alguns materiais (DORNELLES; RORIZ, 2007; SANTOS; MARINOSKI; LAMBERTS, 2009; DORNELLES; RORIZ, 2006; PEREIRA et al., 2017; SANGOI; RAMOS; LAMBERTS, 2010). Entretanto, ainda há muitos materiais utilizados comumente no setor da construção civil que ainda não foram ensaiados. Dessa forma, os projetistas e a comunidade acadêmica costumam adotar valores genéricos disponíveis em normas e outras publicações.

Este trabalho, além de apresentar metodologia de medição de refletância com o espectrômetro portátil Alta II, apresenta valores obtidos em campo para superfícies de referência utilizadas como envoltória em edifícios residenciais, e deduz deles a absorvância. A utilização deste equipamento de medição permite a realização de ensaios em edificações (e não apenas em amostras) e torna os resultados obtidos mais práticos.

METODOLOGIA

Para obter as refletâncias das amostras ensaiadas, foram adotados procedimentos metodológicos e de cálculo abordados em pesquisas anteriores (SANTOS; MARINOSKI; LAMBERTS, 2009; DORNELLES; RORIZ, 2007; PEREIRA et al., 2017).

O espectrômetro Alta II realiza espectroscopia diferencial e foi utilizado nessa pesquisa para obter a refletância de superfícies opacas de uma edificação residencial. Posteriormente, mediante cálculos, foi possível obter valores para a absorvância das superfícies ensaiadas. O ensaio descrito neste trabalho foi realizado para fins de simulação de desempenho térmico.

Os experimentos foram desenvolvidos considerando a realização de medições de refletância *in loco* das paredes e piso de uma edificação real. Foram ensaiadas superfícies com os seguintes revestimentos: tinta acrílica fosca cor branco gelo, tinta acrílica fosca cor branco neve, tinta acrílica fosca cor branco, tinta acrílica fosca cor cinza urbano, porcelanato cor *off white* e argamassa (utilizada em piso da área externa). Todas as superfícies pintadas com tinta acrílica possuem acabamento liso.

Durante as medições, foram adotados os seguintes cuidados com o intuito de minimizar a imprecisão do ensaio:

- Os botões referentes a cada comprimento de onda foram pressionados de maneira uniforme;
- Aguardou-se a estabilização do valor da voltagem durante a medição das amostras;
- Para eliminar a diferença de altura entre o sensor e a amostra, foi utilizada uma espuma em torno do perímetro da abertura inferior do Alta II (Figura 1a). Assim, evitou-se que a radiação emitida pelo equipamento se propagasse para o meio externo ou que a radiação externa infiltrasse pelas bordas do mesmo;

Figura 1 - a) Face inferior do equipamento; b) Face superior do equipamento



Fonte: As autoras

- Foi utilizada uma proteção que consistiu em um tecido preto, grosso e opaco (feltro preto), de modo a minimizar a incidência de luz (Figura 2). Além disso, as bordas do tecido foram fixadas na superfície a ser analisada mediante a utilização de fita crepe.

Figura 2 - Medição em campo da refletância espectral utilizando o Alta II

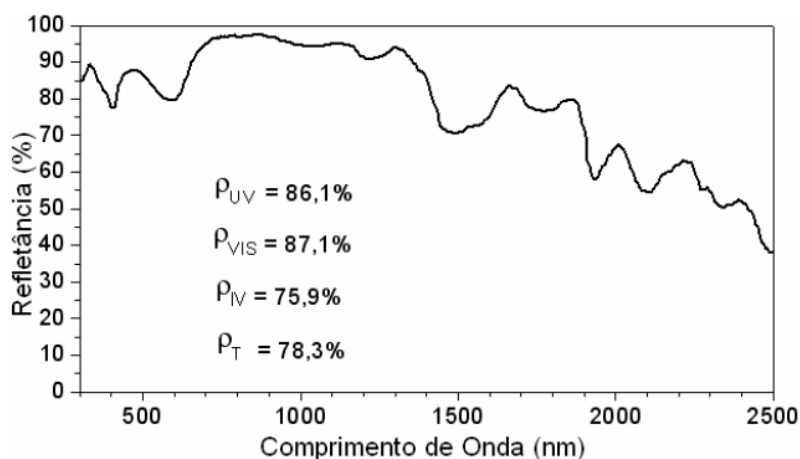


Fonte: As autoras

Inicialmente, o Alta II foi ligado e posicionado sobre a amostra de referência. Como amostra de referência, foi utilizada uma folha de papel branco no formato A4 de 75 g/m², dobrada ao meio (para que a superfície sob ela não influenciasse o resultado).

A Figura 3 apresenta a curva de refletância espectral para uma amostra de papel branco, obtida em estudos realizados por Dornelles e Roriz (2007).

Figura 3 - Curva de refletância espectral do papel branco Ripax 75 g/m²



Fonte: DORNELLES; RORIZ, 2007

Após ocorrer a estabilização, foi anotada a voltagem de fundo (valor fornecido pelo equipamento sem selecionar os botões referentes aos onze comprimentos de onda), seguido pelos valores obtidos para cada um dos onze comprimentos de onda.

Depois de obter os resultados para a amostra de referência, foram realizadas as medições para as superfícies referentes à envoltória da edificação. Para estas, mediu-se a voltagem de fundo e as voltagens referentes a cada comprimento de onda três vezes (foi utilizada a média dos valores para o cálculo da refletância).

Então, procedeu-se o cálculo da refletância (Equação 1), conforme apresentado por Pereira et al. (2017):

$$\rho_{amostra} = \left(\frac{V_{amostra} - V_{fundo}}{V_{referencia} - V_{fundo}} \right) \times \rho_{referencia} \quad (1)$$

Sendo:

$\rho_{amostra}$ = refletância da amostra, para cada comprimento de onda (%);

$V_{amostra}$ = voltagem da amostra (mV);

V_{fundo} = voltagem de fundo (mV);

$V_{referencia}$ = voltagem da amostra de referência (mV);

$\rho_{referencia}$ = refletância da amostra de referência, para cada comprimento de onda (%).

Os valores de refletância obtidos para cada amostra foram corrigidos conforme a intensidade da radiação solar, para cada comprimento de onda, a partir do espectro solar padrão adotado pela ASTM G173 – 03 (2012).

A partir do espectro solar padrão adotado, é possível obter o valor da irradiação solar padrão¹ refletida para cada amostra, em cada intervalo de comprimento de onda, obtida por meio da Equação 2, conforme apresentado por Santos et. al (2009):

$$I_{(\lambda)refle} = I_{(\lambda)} \times \rho_{(\lambda)amostra} \quad (2)$$

Em que:

$I_{(\lambda)refle}$ = irradiação do espectro solar padrão refletida pela amostra, por comprimento de onda ($W/m^2.nm$);

$I_{(\lambda)}$ = irradiação solar global, por comprimento de onda ($W/m^2.nm$);

$\rho_{(\lambda)amostra}$ = refletância da amostra, por comprimento de onda (%).

Então, calculou-se a intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra, por intervalo de comprimento de onda (Equação 3), conforme apresentado por Santos et. al (2009):

$$IR_{(\lambda_{b-a})refle} = \frac{I_{(\lambda_a)refle} + I_{(\lambda_b)refle} \times \Delta\lambda_{b-a}}{2} \quad (3)$$

Em que:

$IR_{(\lambda_{b-a})refle}$ = intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra, por intervalo de comprimento de onda (W/m^2)

$I_{(\lambda)refle}$ = irradiação no espectro solar padrão refletida pela amostra, por comprimento de onda ($W/m^2.nm$);

$\Delta\lambda_{b-a}$ = intervalo de comprimento de onda analisado (nm).

Posteriormente, calculou-se a intensidade de irradiação solar refletida total para cada amostra (Equação 4), conforme apresentado por Santos et. al (2009):

$$IR_{refle,total} = \sum_{\lambda=470}^{\lambda=940} (IR_{(\lambda+1)-\lambda}) \quad (4)$$

Em que:

$IR_{refle,total}$ = intensidade de irradiação solar global total refletida pela amostra (W/m^2);

$IR_{(\lambda+1)-\lambda}$ = intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra, por intervalo de comprimento de onda (W/m^2);

Então, foi obtida a intensidade total da irradiação no espectro solar padrão, ao longo da faixa espectral de interesse (Equação 5), conforme apresentado por Santos et. al (2009):

$$IR_{(\Delta\lambda)Total} = \sum_{\lambda=470}^{\lambda=940} \frac{(I_{(\lambda)} + I_{(\lambda+1)})_{Global} \times (\Delta\lambda_{(\lambda+1)-\lambda})}{2} \quad (5)$$

Sendo:

$IR_{(\Delta\lambda)Total}$ = intensidade total da irradiação solar padrão, por intervalo de comprimento de onda (W/m^2);

$I_{(\lambda)}$ = irradiação solar global, por comprimento de onda ($W/m^2.nm$);

$\Delta\lambda$ = intervalo de comprimento de onda (nm).

Por fim, calculou-se a refletância total (Equação 6) e a absortância total (Equação 7) para cada superfície.

$$\rho_{amostra} = \frac{IR_{refle,total}}{IR_{(\Delta\lambda)total}} \times 100 \quad (6)$$

$$\alpha_{amostra} = 100 - \rho_{amostra} \quad (7)$$

DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

A Tabela 1 apresenta a média das três leituras coletadas em campo, para cada comprimento de onda. As amostras mais claras apresentaram maiores variações nas voltagens obtidas para cada comprimento de onda, assim como observado por Sangoi, Ramos e Lamberts (2010).

Tabela 1 - Média das medições, em milivolts, das três leituras em cada comprimento de onda, para cada uma das superfícies ensaiadas

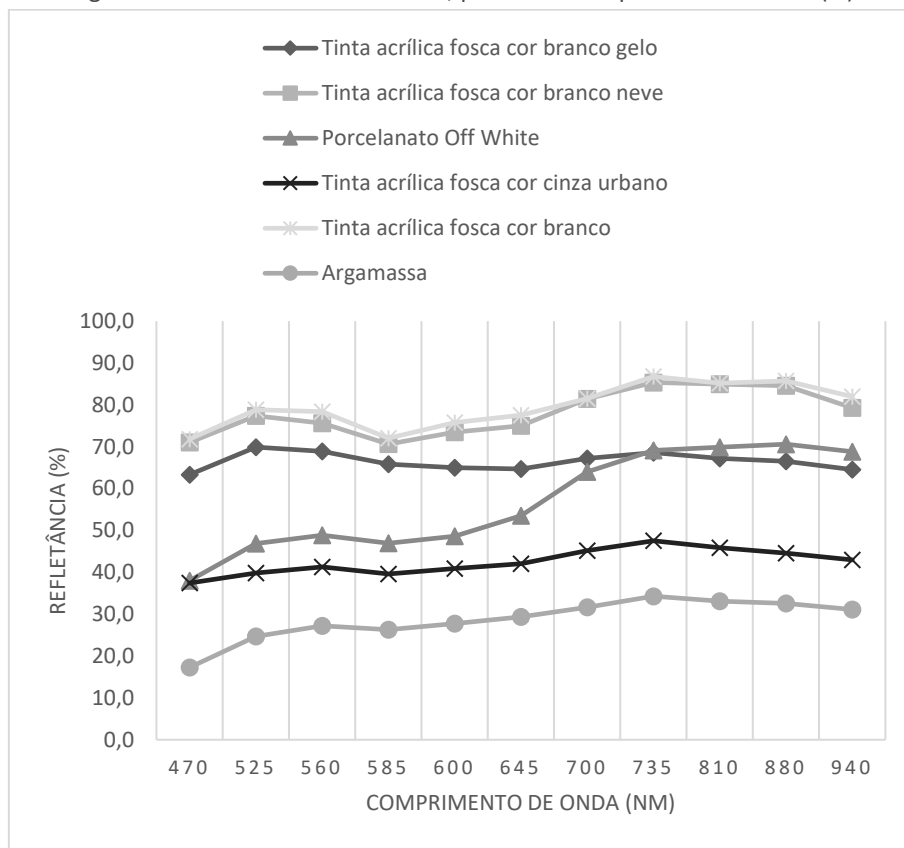
Amostra	Comprimento de onda (nm)											
	470	525	560	585	600	645	700	735	810	880	940	Fundo
Referência (papel)	698	728	666	595	711	781	782	758	783	769	588	28
Tinta acrílica fosca cor branco gelo	516	604	564	489	583	588	562	544	551	536	400	28
Tinta acrílica fosca cor branco neve	575	665	616	522	655	677	674	670	689	674	486	28
Porcelanato Off White	321	414	408	356	443	491	536	548	572	567	425	28
Tinta acrílica fosca cor cinza urbano	316	356	349	305	377	392	386	386	385	368	276	28
Tinta acrílica fosca cor branco	581	677	638	532	675	699	675	681	691	683	501	28
Argamassa	161	231	240	212	265	282	279	286	285	277	208	28

Fonte: As autoras

A Figura 4 apresenta as curvas de refletância espectral para cada uma das superfícies ensaiadas, considerando energia constante ao longo de todo o espectro avaliado. Observa-se uma menor reflexão ao longo do espectro visível (470 nm a 780 nm) e uma maior reflexão ao longo do infravermelho-próximo (780 nm a 940 nm). As superfícies ensaiadas se comportaram distintamente nessas regiões do espectro solar. Tal fato corrobora que não é possível avaliar a quantidade de energia absorvida por uma superfície a olho nu, conforme concluído por Dornelles e Roriz (2007).

Como esperado, as superfícies de cores mais claras apresentaram uma maior refletância espectral. A argamassa foi o material que apresentou a menor refletância para os comprimentos de onda analisados.

Figura 4 - Refletância das amostras, para cada comprimento de onda (%)



Fonte: As autoras

Os resultados obtidos neste trabalho foram comparados com os resultados apresentados por Dornelles (2008) e com as recomendações para a absorvância de superfícies da NBR 15220 (2005), conforme apresentado pela Tabela 2.

Em relação aos resultados apresentados por Dornelles (2008), a tinta na cor cinza urbano foi comparada com a cor cinza BR (cinza claro) ensaiada pela autora e os resultados apontaram conformidade entre os estudos. Para as pinturas na cor branco, o resultado obtido para a absorvância da cor branco neve (21,04%) apresentou grande diferença em relação ao valor encontrado por Dornelles (2008) (10,20%). A diferença de tonalidade entre as superfícies ensaiadas pode ter ocorrido devido aos fabricantes distintos ou ao número de demãos de tinta. Além disso, a presença de sujeira e a rugosidade da superfície ensaiada também pode ter influenciado o resultado.

A NBR 15220 (2005) estabelece a absorvância de 20% para pinturas na cor branco. Entretanto, encontra-se no mercado tintas em diversos tons de branco e os resultados obtidos neste estudo para as cores branco, branco neve e branco gelo demonstram a diferença de absorvância entre elas. Tal fato corrobora a importância da medição da absorvância solar das superfícies da envoltória, para que seja assegurado o cumprimento dos critérios estabelecidos para esse parâmetro nas normativas brasileiras.

A NBR 15220 (2005) também sugere valores de absorvância para os rebocos claros de 30 a 50%, sendo que neste estudo, foi obtida a absorvância de 70,85% para a superfície argamassada, muito maior do que a faixa de valores apresentada

pela norma. A diferença pode ser justificada pela possibilidade de diferentes composições do traço da argamassa e pela sua rugosidade. De acordo com Seker e Tavit (1996), a cada 0,08mm de acréscimo na rugosidade, a absorvância das superfícies aumenta em 23%.

Tabela 2 – Comparação entre os valores de absorvância calculados e apresentados por Dornelles (2008) e pela NBR 15220 (ABNT, 2005)

Amostra	Absorvância (%)		
	Calculada	Dornelles (2008)	NBR 15220 (2005)
Tinta acrílica fosca cor branco	19,64	15,80	20
Tinta acrílica fosca cor branco neve	21,04	10,20	
Tinta acrílica fosca cor branco gelo	33,16	37,20	
Porcelanato cor Off White	42,32	-	-
Tinta acrílica fosca cor cinza urbano	57,10	61,10	-
Argamassa	70,85	-	30 - 50

Fonte: As autoras

Os resultados finais obtidos para a absorvância e a refletância das superfícies ensaiadas estão sumarizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados obtidos para as superfícies ensaiadas em campo

Amostra	Refletância (%)	Absorvância (%)
Tinta acrílica fosca cor branco	80,36	19,64
Tinta acrílica fosca cor branco neve	78,96	21,04
Tinta acrílica fosca cor branco gelo	66,84	33,16
Porcelanato cor Off White	57,68	42,32
Tinta acrílica fosca cor cinza urbano	42,90	57,10
Argamassa	29,15	70,85

Fonte: As autoras

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta a metodologia e os procedimentos para obter as absorvâncias e refletâncias solares de superfícies da envoltória de uma edificação residencial, mediante a utilização do espectrômetro ALTA II.

O ALTA II é um equipamento portátil, que permite a realização de ensaios em campo. Dessa forma, esse equipamento pode ser utilizado para obter a refletância de superfícies opacas em avaliações pós-ocupação. Além disso, o equipamento possui baixo custo, sendo acessível para instituições de ensino. Apesar dessas vantagens, é importante reiterar que o ALTA II abrange uma faixa limitada de comprimentos de onda. Dessa forma, é possível calcular apenas um valor representativo de absorvância e refletância, uma vez que o equipamento não considera grande parte do espectro solar.

Os resultados mostraram que os valores indicativos para a absorvância de alguns materiais construtivos apresentados pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005) podem não corresponder à absorvância real do material. Assim, é recomendável que sejam realizados ensaios para a obtenção desse parâmetro. A absorvância solar das superfícies pode variar devido às diferenças de tonalidade, sujeira e

rugosidade dos materiais. Como não há um banco de dados completo sobre absorvência de materiais utilizados na envoltória de edificações, torna-se importante a realização de ensaios para a obtenção dos mesmos.

Using Alta II spectrometer to obtain solar absorptance of opaque surfaces

ABSTRACT

The thermal properties of building envelope influence its thermal behavior. The most accurate method for obtaining a sample's absorptance is by measuring its reflectance using a spectrophotometer. However, this equipment is expensive and does not allow field measurements. An alternative to this method is the Alta II spectrometer, which allows the measurement of radiation at eleven wavelengths, between 470 nm and 940 nm. This paper presents the methodology for the use of the Alta II spectrometer in the field and the calculation procedures to obtain the solar absorptance of opaque surfaces. As a result, values for absorbed and reflected solar radiation for materials commonly used were obtained, which may serve as reference for future researches.

KEYWORDS: Solar reflectance. Solar absorptance. Spectrometer Alta II.

NOTAS

¹ A nomenclatura e unidade utilizada para a irradiação solar global foi adotada conforme apresentado por Santos (2009).

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído (LABCON) pelo empréstimo do Espectrômetro Alta II.

REFERÊNCIAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E1918:16**: Standard test method for measuring solar reflectance of horizontal and low-sloped surfaces in the field. ASTM International, 2016.

_____. **E903:12**: Standard test method for solar absorptance, reflectance and transmittance of materials using integrating spheres. West Conshohocken, 2012.

_____. **G173:03** (Reapproved 2012): Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. ASTM International, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: 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.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Métodos alternativos para identificar a absortância solar de superfícies opacas. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 3, p. 109–127, 2007.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância 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.; RORIZ, M. Identificação da absortância solar de superfícies opacas por meio de espectrômetro de baixo custo. **ENTAC 2006 - XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**, n. 1, p. 314–323, 2006.

PEREIRA, C. D.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S.; GHISI, E. **Relatório de**

avaliação do espectrômetro portátil Alta II. Relatório de Pesquisa, CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, 2015. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_avaliacao_Alta%20II%20_CB3E.pdf>. Acesso em: 15 out. 2018.

PEREIRA, C.; MARINOSKI, D.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S.; GHISI, E. Avaliação experimental do espectrômetro Alta II e sua aplicação na normatização brasileira. **Ambiente Construído**, p. 197–213, 2017.

SANGOI, J.; RAMOS, G.; LAMBERTS, R. Análise Das Medições De Absortância Através Do Espectrômetro Alta li. **XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. 1, 2010.

SANTOS, E. I.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Influência do ambiente de medição sobre a verificação da absortância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil. **X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, p. 660–669, 2009.

SEKER, D. Z.; TAVIL, A. Ü. Evaluation of exterior building surface roughness degrees by photogrammetric methods. **Building and Environment**, v. 31, n. 4, p. 393-398, 1996.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; GHISI, E. Análise de incertezas físicas em simulação computacional de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 289–303, 2017.

Recebido: 25/02/2019
Aprovado: 31/08/2020
DOI: 10.3895/rts.v17n46.9663

Como citar: PEREIRA, A.R.; HIRASHIMA, S.Q.S.; OLIVEIRA, R.D. Utilização do espectrômetro Alta II para obtenção da absortância solar de superfícies opacas. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 17, n. 46, p.216-228, jan./mar..., 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9663>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

