



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



# CB3E

centro brasileiro de eficiência  
energética em edificações

[cb3e.ufsc.br](http://cb3e.ufsc.br)

**Guia de medição e cálculo para refletância e  
absortância solar em superfícies opacas (v.1)**

**Cláudia Donald Pereira; Deivis Luis Marinoski;  
Roberto Lamberts; Saulo Güths; Enedir Ghisi**

Florianópolis, maio de 2015





## SUMÁRIO

RESUMO.....	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE REFLETÂNCIA EM SUPERFÍCIES OPACAS.....	6
2.1 Métodos Normalizados.....	6
2.1.1 Espectrofotômetro (ASTM E903).....	6
2.1.2 Refletômetro Solar (ASTM C1549).....	8
2.1.3 Piranômetro (ASTM E1918).....	10
2.2 Método Alternativo (ALTA II).....	11
3. CÁLCULO DE REFLETÂNCIA E ABSORTÂNCIA SOLAR AJUSTADAS AO ESPECTRO SOLAR PADRÃO ....	15
3.1 Cálculo da refletância solar.....	16
3.2 Cálculo da absortância solar.....	18
4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DO MÉTODO ALTERNATIVO DE MEDIÇÃO DE REFLETÂNCIA (ALTA II) PARA FINS DE APLICAÇÃO ÀS NORMAS BRASILEIRAS.....	19
REFERÊNCIAS .....	21



## RESUMO

Parte considerável da energia elétrica fornecida em todo o mundo é consumida no condicionamento artificial de edificações. Esse consumo pode ser minimizado a partir da adoção de estratégias para melhoria do desempenho térmico e eficiência energética das edificações. A envoltória da edificação é protagonista nas trocas de calor com o ambiente externo. O acabamento das superfícies externas de paredes e coberturas é responsável por reduzir ou aumentar os ganhos de calor devido à incidência da radiação solar. Sendo um país de clima predominantemente tropical, o Brasil recebe intensa insolação ao longo de todo o ano. Isso faz com que as propriedades térmicas dos revestimentos externos sejam uma preocupação no que diz respeito a mitigar o impacto da incidência da radiação solar na carga térmica dos edifícios.

Apesar disso, a adoção de revestimentos não apenas por questões estéticas, mas também por critérios de desempenho, ainda é incipiente entre muitos projetistas. Dessa forma, os critérios estabelecidos em normas são de extrema relevância para auxiliar na avaliação do desempenho termo-energético das edificações. Recentemente alguns regulamentos brasileiros têm inserido a absorvância ou a refletância solar em seus critérios de análise<sup>1</sup>.

Para que os regulamentos possam ser aplicados na prática, é necessário conhecer a absorvância, ou a refletância solar, de tais revestimentos. Existem atualmente diferentes equipamentos e métodos desenvolvidos com a finalidade de obter valores de refletância/absorvância solar de superfícies. Alguns destes métodos estão indicados em normas internacionais. A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) normatiza três métodos para medição de refletância: através de espectrofotômetro com esfera integradora, utilizando refletômetro solar portátil e com uso de piranômetros. Além destes métodos, uma opção alternativa, não normatizada, que vem sendo utilizada de forma crescente no Brasil, é a aplicação do equipamento Alta II.

Este guia tem o objetivo de apresentar os métodos de medição de refletância/absorvância solar disponíveis para avaliar superfícies opacas. Também são propostos limites para o uso do equipamento Alta II em relação aos regulamentos nacionais de desempenho térmico e eficiência energética em edificações.

---

<sup>1</sup> Os regulamentos em vigência são: RTQ-C – “Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos” e RTQ-R – “Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais” publicados pelo INMETRO. Existe também a norma ABNT NBR 15575: “Edifícios habitacionais – Desempenho”, que inclui critérios de desempenho térmico.



## 1. INTRODUÇÃO

As edificações residenciais e comerciais são responsáveis pelo consumo de quase um quarto da energia total fornecida em todo o mundo (EIA, 2013). No Brasil, as edificações são responsáveis por mais de 40% do consumo de energia elétrica (EPE, 2013). A parcela deste consumo que é destinada ao condicionamento de ar poderia ser minimizada através da adoção de estratégias para melhoria do desempenho térmico das edificações. Os materiais de construção, especialmente os que constituem a envoltória do edifício, são essenciais na análise do seu desempenho térmico. A envoltória é o elemento de separação entre ambiente interno e externo, e por isso seus componentes são determinantes do clima interno da edificação e afetam a demanda por condicionamento artificial. Para selecionar materiais que possam contribuir com o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações é preciso conhecer suas propriedades térmicas.

As trocas de calor podem por ocorrer pelos processos de condução, convecção e radiação. Uma superfície emite calor por radiação quando estiver a qualquer temperatura acima do zero absoluto (zero Kelvin). O comportamento de determinado componente com relação à radiação térmica dependerá das propriedades radiantes de sua superfície. A energia radiante que atinge uma superfície opaca será parte refletida e parte absorvida. A fração da radiação que será refletida depende da refletância da superfície e a fração absorvida depende de sua absortância. A soma dessas duas parcelas é igual ao total incidente, de forma que basta conhecer a refletância da superfície opaca para também determinar a sua absortância (uma é o complemento da outra).

As propriedades radiantes superficiais dependem da distribuição espectral da radiação. Nos estudos a respeito da envoltória das edificações, considera-se como mais relevante a parcela de energia radiante emitida pelo Sol, chamada de radiação solar. A radiação solar, bem como toda a radiação térmica, se propaga como radiação eletromagnética na forma de ondas. O espectro eletromagnético é classificado em faixas, de acordo com o comprimento (ou frequência) da onda. Uma porção central desse espectro corresponde à radiação solar, conforme mostra a Figura 1.

A refletância à radiação solar é definida como o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Da mesma forma, a absortância à radiação solar corresponde ao quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005a). Os valores de refletância e absortância variam de zero a um (ou de 0 a 100%).

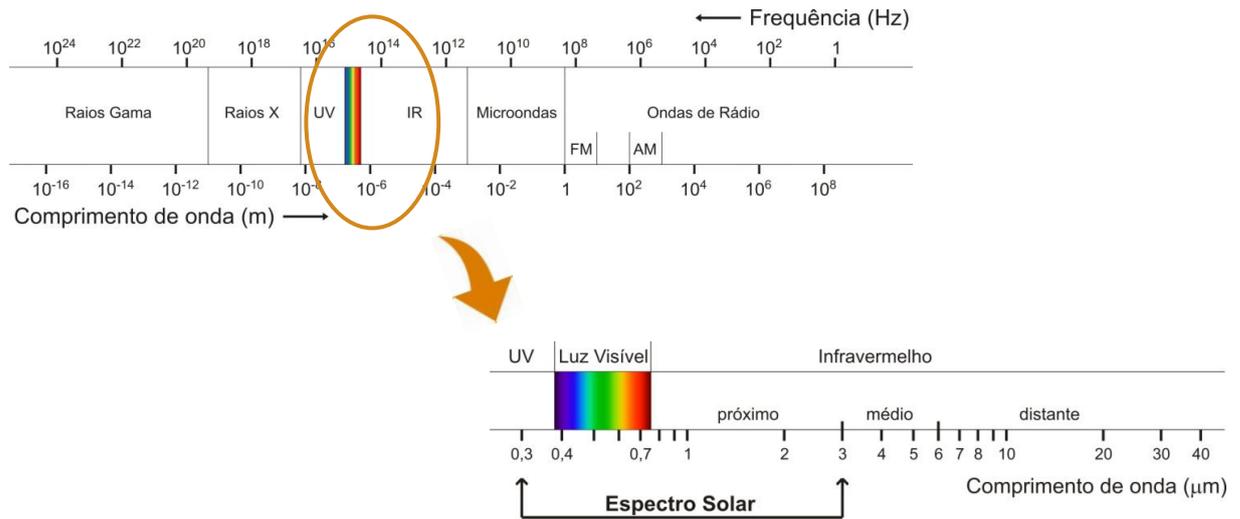


Figura 1 – Espectro eletromagnético e espectro solar.  
(Fonte: Adaptado de Ronan, 2012 e de Steffen et al., 1996)

É comum a adoção de valores de absorvância e refletância solar com base nas cores dos materiais, seguindo tabelas como as apresentadas pela norma brasileira NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) e pelo livro de Fundamentos da ASHRAE (ASHRAE, 2005). Porém, algumas pesquisas demonstraram que este tipo de informação não é exata. Apenas uma parcela da radiação solar é emitida como luz visível, que é a única capaz de sensibilizar o olho humano e é responsável pela definição das cores. O restante é emitido como radiação infravermelha e ultravioleta, e não se relaciona com a cor do material (Figura 2).

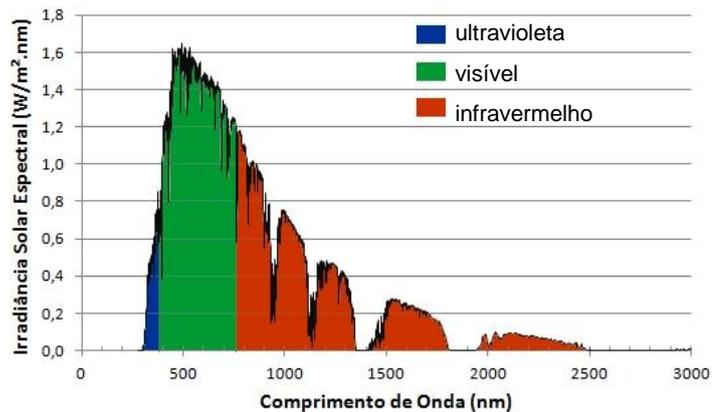


Figura 2 – Irradiação solar espectral. (Fonte: PEREIRA, 2014)

Dessa forma, o ideal para verificar o comportamento ótico de cada superfície é realizar as medições de suas propriedades radiantes. Tais propriedades são fortemente dependentes da direção (dependência direcional) e do comprimento de onda (dependência espectral) da radiação.



Entretanto, na maioria das análises de interesse para a engenharia, utilizam-se propriedades que representam médias direcionais e integradas ao longo de determinados comprimentos de onda. Tendo em vista o Sol como principal fonte de radiação incidente nas edificações, costuma-se caracterizar as superfícies por sua refletância ou absortância solar. Essas propriedades são calculadas e integradas ao longo dos comprimentos de onda abrangidos pelo espectro solar, ou seja, para radiações de onda curta, consideradas entre 300 e 2500 nm, aproximadamente.



## 2. MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE REFLETÂNCIA EM SUPERFÍCIES OPACAS

### 2.1 Métodos Normalizados

Diferentes equipamentos e métodos já foram desenvolvidos com a finalidade de obter valores de refletância solar de superfícies. Três destes métodos estão regulamentados em normas internacionais da *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Tais métodos utilizam diferentes equipamentos de medição e são indicados para avaliação de superfícies com características diversas.

A norma ASTM E903 "*Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres*" indica o uso de espectrofotômetro com esfera integradora para medição, em laboratório, de refletância espectral de superfícies planas e homogêneas com pequena área. Os valores de refletância espectral precisam ser ajustados a um espectro solar padrão para o cálculo da refletância solar.

Na ASTM C1549 "*Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer*", utiliza-se um refletômetro para medição da refletância solar de superfícies planas com dimensões maiores que 3 x 3 cm. O equipamento permite a realização de medições em laboratório ou em campo.

A norma ASTM E1918 "*Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field*" apresenta método para avaliações em campo utilizando um piranômetro. Para ensaios com a aplicação deste método, a refletância solar é avaliada através de amostras com área mínima de pelo menos 4 m de diâmetro ou quadrados com no mínimo 4 m de lado. Este método é adotado no caso de avaliação de superfícies muito rugosas ou curvas.

A seguir é apresentado o detalhamento de cada um dos métodos normalizados citados acima.

#### 2.1.1 Espectrofotômetro (ASTM E903)

A refletância de uma superfície varia em função do comprimento de onda da radiação incidente. Por isso, o método considerado mais preciso para identificar a refletância solar de determinada amostra é realizar a medição dessa propriedade através de análise espectral (espectroscopia), ou seja, verificar a refletância da amostra ao longo do espectro solar.

Para isso, podem ser usados equipamentos chamados espectrofotômetros, que lançam feixes de radiação sobre a amostra nos mesmos comprimentos de onda abrangidos pelo espectro solar. A energia refletida é medida por detectores e a refletância é calculada pela razão entre a energia refletida e a incidente. Os detectores podem medir a energia em cada comprimento de onda, e dessa forma a informação da refletância é espectral, ou seja, para cada comprimento de onda.

Os espectrofotômetros são equipamentos compostos, em geral, por uma ou mais fontes de radiação eletromagnética (lâmpadas), um conjunto de componentes ópticos que levam esta radiação até a amostra (espelhos), um compartimento para posicionamento da amostra e um ou mais detectores que medem a intensidade da radiação refletida (DORNELLES, 2008). Para medição de refletância, os espectrofotômetros utilizam um acessório denominado esfera integradora. A esfera tem suas paredes internas revestidas com uma pintura altamente refletiva (em todo o espectro solar) e sua função é concentrar a radiação difusa para o detector.

Estão disponíveis no mercado, diferentes marcas e modelos de espectrofotômetros, de diversas marcas. Eles podem apresentar diferentes tamanhos e tipos de detectores, mas possuem as mesmas características básicas de funcionamento. A Figura 3 mostra um exemplo de espectrofotômetro e a Figura 4 Figura 4 apresenta um esquema do sistema da esfera integradora.



Figura 3 – Espectrofotômetro Lambda 1050 – PerkinElmer. (Fonte: PEREIRA, 2014)

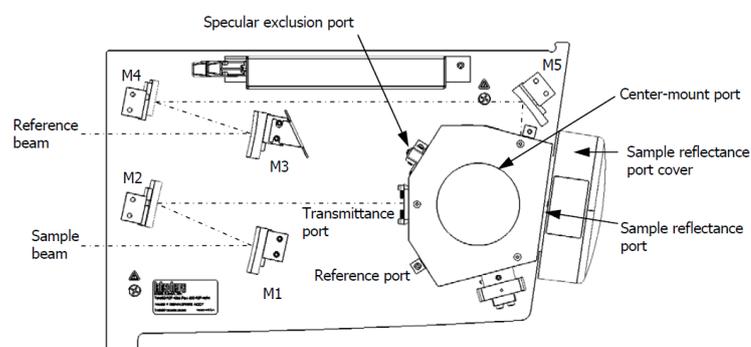


Figura 4 – Vista superior do compartimento da esfera integradora do espectrofotômetro Lambda 1050. (Fonte: PERKINELMER, 2008)



A ASTM E903 (ASTM, 2012a) apresenta o método de medição de refletância espectral utilizando espectrofotômetro equipado com esfera integradora. Este método é o mais adequado para medições de superfícies planas e homogêneas. Para medição há a necessidade de uma pequena amostra do material. A amostra precisa ter um tamanho suficiente para cobrir a abertura da esfera, onde ela será posicionada para a medição. Seu tamanho máximo dependerá do equipamento, ou seja, do tamanho do compartimento onde é posicionada a amostra (normalmente 5 cm x 5 cm). A incerteza de medição é da ordem de 2% ( $\pm 0,02$  absoluto). Sua principal limitação é não possibilitar a avaliação das superfícies em campo.

A norma ASHRAE 74 (ANSI; ASHRAE, 1988) também trata da medição de refletância usando espectrofotômetros com esferas integradoras. Embora ambas tenham aplicações similares, é mais comum a realização de ensaios com a adoção da norma da ASTM, uma vez que é sua edição é mais recente.

A ASTM E903 indica que as medições devem ser realizadas na faixa de comprimento de onda de 300 a 2500 nm aproximadamente. O equipamento deve ser calibrado com o uso de uma (ou mais) amostra padrão. Com as medições no espectrofotômetro se obtém os valores de refletância espectral da amostra para os comprimentos de onda medidos, considerando uma energia constante ao longo de todo o espectro avaliado.

Tendo em vista que a intensidade da radiação solar não é constante no espectro, para a obtenção da refletância solar da amostra, os valores de refletância espectral devem ser corrigidos de acordo com a intensidade da radiação solar para cada comprimento de onda, e integrados no intervalo medido. Essa correção é feita com base em dados de irradiação solar global espectral, fornecida a partir de um espectro solar padrão. Indica-se a adoção do espectro solar padrão da norma ASTM G173. Tal procedimento está detalhado no capítulo 3.

### **2.1.2 Refletômetro Solar (ASTM C1549)**

A norma ASTM C1549 (ASTM, 2009) apresenta um método de determinação da refletância solar utilizando um refletômetro solar portátil. Ele é indicado para medições de superfícies planas opacas ou levemente curvas, podendo ser homogêneas ou heterogêneas. Suas principais vantagens são permitir a medição em amostras grandes e medições *in loco*.

Esse método não substitui o método apresentado na ASTM E903, pois, enquanto o espectrofotômetro permite medições nos comprimentos de onda de 300 a 2500 nm, o refletômetro realiza medições em apenas quatro comprimentos do espectro solar: 380 nm, 500 nm, 650 nm e 1220 nm, seguida de uma extrapolação com base em uma calibração prévia. Em cada medição, o equipamento calcula um valor integrado da refletância solar, equivalente ao intervalo de comprimento de ondas do espectro solar. A calibração interna do equipamento é baseada na comparação de medições do refletômetro com medições obtidas em espectrofotômetros equipados com esferas integradoras.

O refletômetro é composto por um “cabeçote de medição” de refletância, conectado por um cabo a um módulo eletrônico. No módulo eletrônico é feito o controle da medição através de um teclado e os resultados são exibidos em um *display*. No cabeçote de medição localiza-se a fonte de radiação eletromagnética (lâmpadas) e um conjunto de detectores que medem a intensidade da radiação refletida. O equipamento pode ser visto na Figura 5.



Figura 5 – Refletômetro solar. (Fonte: MARINOSKI et al., 2013)

A amostra é iluminada difusamente com uma lâmpada de tungstênio/halogênio, e a energia refletida é medida em um o ângulo de incidência de 20° em relação à normal da superfície. O equipamento possui quatro detectores que realizam o monitoramento da energia refletida em diferentes faixas de comprimento de onda.

O procedimento de medição deve ser iniciado com a calibração do refletômetro, utilizando um corpo negro e algumas amostras padrão (de refletâncias conhecidas) fornecidos pelo fabricante (Figura 5). O equipamento fornece os valores de refletância espectral para os quatro comprimentos



de onda medidos e também o valor da refletância solar, calculado pelo *software* do próprio equipamento. Resultados de testes apresentados na ASTM C1549 indicam uma incerteza de até 3% ( $\pm 0,03$  absoluto) nos resultados de refletância solar obtidos com o refletômetro portátil.

### 2.1.3 Piranômetro (ASTM E1918)

A refletância solar é definida como o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre a mesma. Dessa forma, pode-se calcular a refletância solar a partir da medição da intensidade de radiação solar, incidente e refletida por uma superfície, em determinado momento.

A norma ASTM E1918 (ASTM, 2006) apresenta um método de teste para a medição da refletância solar para superfícies com baixa inclinação e para materiais analisados em campo, utilizando um piranômetro. O método aplica-se a grandes superfícies (círculos com pelo menos quatro metros de diâmetro e quadrados de quatro metros de lado) e superfícies de baixa inclinação, como algumas coberturas, ruas e estacionamentos. A norma indica como sendo superfícies de baixa inclinação aquelas com inclinação menor que  $9,5^\circ$  em relação ao plano horizontal.

O piranômetro é usado para medir a radiação solar que chega e que é refletida pela superfície. A faixa de medição espectral recomendada para o piranômetro (do tipo PSP - *precision spectral pyranometer*) deve ser de 0,28 a 2,80  $\mu\text{m}$ .

O piranômetro é montado na ponta de um suporte metálico, na forma de um “braço”. O suporte deve posicionar o sensor a uma altura mínima de 50 cm acima da superfície a ser analisada. O suporte deve ser fino e longo, a fim de lançar a menor sombra possível sobre a amostra. Ele ainda deve permitir o giro do piranômetro, para a medição da radiação incidente e da radiação refletida. Um esquema pode ser visto na Figura 6. O tamanho da amostra (diâmetro ou lado) deve ser de no mínimo oito vezes a distância entre o sensor (piranômetro) e a superfície da amostra.

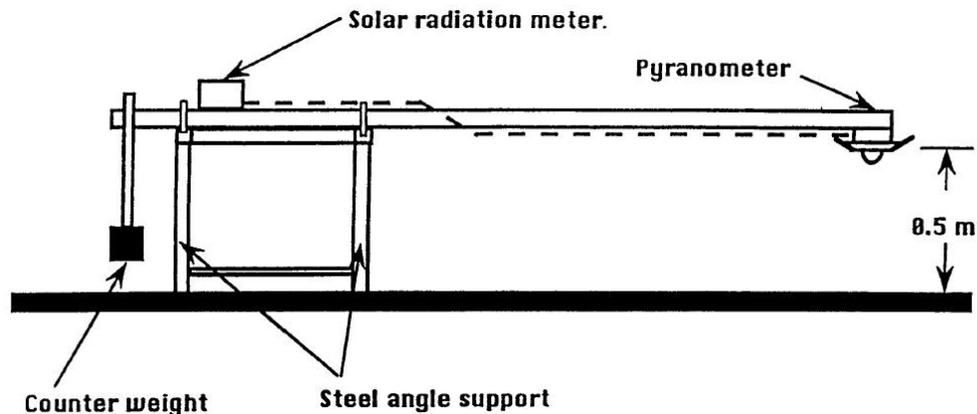


Figura 6 – Esquema do piranômetro e seu suporte. (Fonte: ASTM, 2006)

Os testes devem ser realizados em um dia claro e ensolarado, sem cobertura de nuvens ou nevoeiro durante as medições. O ensaio deve ser feito em condições que o ângulo de incidência solar com a normal, a partir da superfície de interesse, seja inferior a  $45^\circ$  para superfícies planas e de baixa inclinação.

Antes de realizar cada medição o suporte deve ser alinhado de tal forma que os pontos de apoio do braço fiquem direcionados ao lado oposto do ângulo de incidência, e o piranômetro paralelo à superfície em que a medição é conduzida. Com a face do piranômetro voltada para cima é feita a leitura da radiação solar incidente. Depois, girando a face do piranômetro para baixo, se lê a radiação solar refletida. As duas leituras devem ser constantes durante pelo menos 10s e precisam ocorrer em um intervalo de tempo inferior a 2min.

## 2.2 Método Alternativo (Alta II)

Os métodos normalizados, para medição de refletância, indicam o uso de equipamentos que costumam ter preço elevado e exigem certa especialidade para seu manuseio. Como consequência, é comum a adoção de valores de absorvância e refletância solar com base apenas nas cores dos materiais, seguindo tabelas de normas ou informações de livros técnicos. Entretanto, tal solução provoca muitos erros e incerteza, sendo preciso buscar melhores alternativas.

Uma alternativa que vem sendo utilizada por alguns pesquisadores brasileiros é o espectrômetro Alta II. Ele foi desenvolvido pelo *Lunar and Planetary Institute*, localizado em Houston – Texas, como uma ferramenta didática para ensino sobre cor, luz e espectroscopia em escolas de ensino médio dos Estados Unidos. O dispositivo começou a ser utilizado em pesquisas por ser portátil

e apresentar custo muito inferior ao de um espectrofotômetro ou de um refletômetro. Hoje o Alta II é comercializado pela empresa Vernier Software & Technology.

O espectrômetro Alta II realiza medições correspondentes a radiações em onze diferentes comprimentos de onda, entre 470 e 940 nm, sendo sete na região visível e quatro na região do infravermelho-próximo. Na parte superior do equipamento (Figura 7a) há uma tela, onde é mostrado o resultado da medição, e onze botões, um para cada comprimento de onda. Na parte inferior do equipamento (Figura 7b) existe uma abertura com onze pequenas lâmpadas do tipo LED, dispostas em círculo, que emitem a energia correspondente a cada comprimento de onda. Ao pressionar cada botão, o equipamento acende a lâmpada correspondente, que emite certa quantidade de energia. Um sensor, localizado no centro da abertura inferior, detecta a quantidade de energia que é refletida. O equipamento deve ser posicionado diretamente sobre a amostra, de forma que esta cubra totalmente a abertura inferior. Isso é essencial para que não se perca parte da energia que é emitida pelas lâmpadas e para que não haja interferência da iluminação do ambiente na medição.



(a) vista superior



(a) vista inferior

Figura 7 – Espectrômetro portátil Alta II. (Fonte: MARINOSKI et al., 2013)

O Alta II fornece valores de tensão (em milivolts) que são convertidos para valores de refletância (em porcentagem) a partir de cálculos matemáticos. Para isso é necessário também utilizar uma amostra de referência<sup>2</sup>, com refletância espectral já conhecida para os comprimentos de onda utilizados pelo equipamento. Segue abaixo o procedimento básico para utilização do Alta II:

<sup>2</sup> A amostra de referência deve ter os valores de refletância espectral previamente conhecidos através de medição em um espectrofotômetro (conforme o método da norma ASTM E903).



- (a) Primeiramente, o Alta II é posicionado sobre a amostra de referência e o equipamento é ligado. O valor inicial que aparece no visor do equipamento é chamado voltagem de fundo e é um dos dados necessários para o cálculo. Em seguida, são medidas as voltagens, ainda com a amostra de referência, para todos os comprimentos de onda do equipamento (pressionando as teclas correspondentes);
- (b) Após a medição da amostra de referência são realizadas as medições nas amostras sob avaliação. O equipamento é posicionado sobre a superfície da amostra e mede-se a voltagem de fundo. Em seguida, medem-se as voltagens da amostra para cada comprimento de onda. Recomenda-se a realização de pelo menos três medições sequenciais para cada amostra;
- (c) As refletâncias espectrais da amostra são calculadas para cada comprimento de onda através da [Equação 1.

$$\rho_{\lambda,amostra} = \left( \frac{V_{\lambda,amostra} - V_{f,amostra}}{V_{\lambda,ref} - V_{f,ref}} \right) \times \rho_{\lambda,ref} \quad \text{[Equação 1]}$$

Onde:

$\rho_{\lambda,amostra}$  é a refletância da amostra para um determinado comprimento de onda  $\lambda$  (%);

$V_{\lambda,amostra}$  é a voltagem da amostra medida no comprimento de onda  $\lambda$  (mV);

$V_{f,amostra}$  é a voltagem de fundo da amostra (mV);

$V_{\lambda,ref}$  é a voltagem da amostra de referência medida no comprimento de onda  $\lambda$  (mV);

$V_{f,ref}$  é a voltagem de fundo da amostra de referência (mV);

$\rho_{\lambda,ref}$  é a refletância da amostra de referência (já conhecida), no comprimento  $\lambda$  (%).

Assim como no caso do espectrofotômetro, com as medições no Alta II se obtém os valores de refletância espectral da amostra para cada um dos comprimentos de onda do equipamento, considerando uma energia constante ao longo de todo o espectro avaliado. Sendo assim, os valores de refletância espectral obtidos devem ser corrigidos de acordo com a intensidade da radiação solar para cada comprimento de onda, e integrados no intervalo medido. Tal procedimento é detalhado no capítulo 3.

Alguns testes foram realizados a fim de verificar a exatidão dos resultados obtidos a partir dos equipamentos Alta II. Verificou-se que as medições desses equipamentos indicam a refletância para os comprimentos de onda de 470 a 940 nm de forma aproximada. Entretanto, a determinação da refletância solar deve considerar uma faixa mais ampla de medição, pois o espectro solar é mais abrangente do que o intervalo coberto pelo instrumento. Quando se compara os resultados obtidos



com o Alta II à refletância solar obtida com espectrofotômetro (de 300 a 2500 nm), as diferenças alcançam até  $\pm 10\%$  (ou  $\pm 0,10$  absoluto). Essas diferenças são resultado, principalmente, da variação da refletância nos comprimentos de onda do infravermelho. Tal erro deve ser sempre considerado quando são utilizados os resultados de medições com o Alta II. Mais detalhes sobre precisão e repetibilidade nas medições através deste equipamento podem ser visualizados no Relatório de avaliação do Alta II (PEREIRA et al., 2015).

Os testes com equipamentos Alta II também apontaram para a importância de evitar a interferência da iluminação do ambiente na medição. Para medições realizadas durante o dia, especialmente aquelas expostas à radiação solar direta, deve-se tomar o cuidado de proteger as laterais do equipamento, evitando a infiltração de luz do ambiente entre a amostra e o aparelho. Essa infiltração de luz pode comprometer os resultados, diminuindo ainda mais a sua confiabilidade.

### 3. CÁLCULO DE REFLETÂNCIA E ABSORTÂNCIA SOLAR AJUSTADAS AO ESPECTRO SOLAR PADRÃO

Os equipamentos de medição de refletância espectral fornecem valores para cada comprimento de onda considerando uma energia constante ao longo de todo o espectro avaliado. Entretanto, a intensidade da radiação solar que atinge a superfície terrestre não é constante ao longo do espectro. Ao atravessar a atmosfera, parte da radiação é dispersa pelas moléculas de ar, água e poeira, e parte dela é absorvida por gases como ozônio, vapor de água e gás carbônico (DUFFIE; BECKMAN, 1991), conforme mostra a Figura 8. Dessa forma, para se obter a refletância solar das superfícies, os valores de refletância espectral devem ser corrigidos de acordo com a intensidade da radiação solar para cada comprimento de onda, a partir de um espectro solar padrão adotado, e então integrados no intervalo medido.

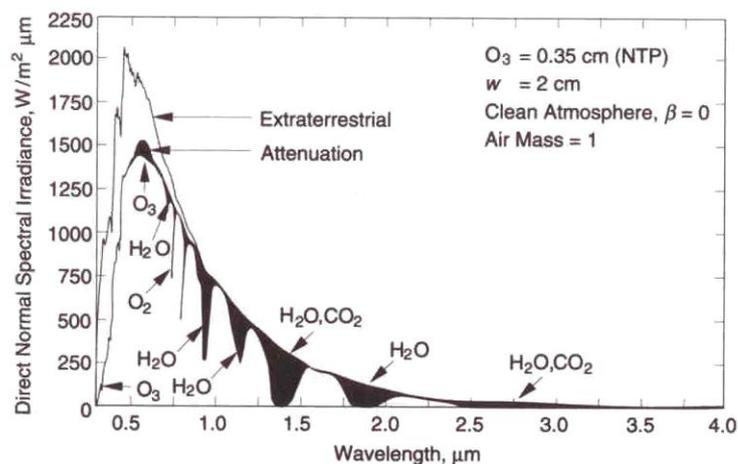


Figura 8 – Irradiação solar extraterrestre e Irradiação solar com atenuações da atmosfera. (Fonte: DUFFIE; BECKMAN, 1991)

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) definiu um espectro solar padrão com base em uma série de dados medidos nos Estados Unidos. O espectro padrão da norma ASTM G173 (ASTM, 2012b) apresenta os valores espectrais da irradiação solar hemisférica global, em  $W/m^2 \cdot nm$ , (composta pela radiação direta, somada à radiação difusa que é dispersa pela atmosfera e refletida pelo solo) para uma superfície orientada ao Sul e com inclinação de  $37^\circ$ , em condições atmosféricas médias representativas do território dos Estados Unidos. Tais valores são apresentados para comprimentos de onda de 280 a 4000 nm. Na falta de dados específicos para o Brasil, é sugerida a adoção dos valores indicados na ASTM G173. A tabela com os dados desse espectro padrão também está disponível em: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/ASTMG173/ASTMG173.html>.



### 3.1 Cálculo da Refletância Solar

A seguir descreve-se o procedimento a ser adotado para ajuste das refletâncias espectrais medidas ao espectro solar padrão, e cálculo da refletância solar:

- (a) A refletância espectral da amostra, obtida na medição em porcentagem (%), é dividida por 100, resultando em um valor adimensional.
- (b) Para cada comprimento de onda, a refletância espectral é multiplicada pela irradiação solar global espectral (obtida na ASTM G173), obtendo-se a irradiação do espectro solar padrão que seria refletida pela amostra, por comprimento de onda ([Equação 2]).

$$G_{(\lambda)refletida} = \rho_{(\lambda)} \times G_{(\lambda)} \quad \text{[Equação 2]}$$

Onde:

$G_{(\lambda)refletida}$  é a Irradiação solar global espectral refletida pela amostra (W/m<sup>2</sup>.nm);

$\rho_{(\lambda)}$  é a Refletância espectral da amostra (adimensional);

$G_{(\lambda)}$  é a Irradiação solar global espectral (W/m<sup>2</sup>.nm).

- (c) A irradiação refletida pela amostra é integrada para um intervalo de comprimento de onda desejado (intervalo entre os dados medidos) por meio da [Equação 3].

$$I_{(\lambda_x-y)refletida} = ((G_{(\lambda_y)refletida} + G_{(\lambda_x)refletida}) \div 2) \times (\lambda_y - \lambda_x) \quad \text{[Equação 3]}$$

Onde:

$I_{(\lambda_x-y)refletida}$  é a Intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra no intervalo (W/m<sup>2</sup>);

$G_{(\lambda_x)refletida}$  é a Irradiação solar global refletida pela amostra no comprimento de onda x (W/m<sup>2</sup>.nm);

$G_{(\lambda_y)refletida}$  é a Irradiação solar global refletida pela amostra no comprimento de onda y, (W/m<sup>2</sup>.nm);

$\lambda_x$  é o Comprimento de onda x (nm);

$\lambda_y$  é o Comprimento de onda y, sendo y>x (nm).



- (d) A irradiação solar global é integrada para um intervalo de comprimento de onda desejado (intervalo entre os dados fornecidos pela ASTM G173) através da [Equação 4].

$$I_{(\lambda_{x-y})} = ((G_{(\lambda_y)} + G_{(\lambda_x)}) \div 2) \times (\lambda_y - \lambda_x) \quad \text{[Equação 4]}$$

Onde:

$I_{(\lambda_{x-y})}$  é a Intensidade de irradiação solar global no intervalo ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

$G_{(\lambda_x)}$  é a Irradiação solar global no comprimento de onda x ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$ );

$G_{(\lambda_y)}$  é a Irradiação solar global no comprimento de onda y ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$ );

$\lambda_x$  é o Comprimento de onda x (nm);

$\lambda_y$  é o Comprimento de onda y, sendo  $y > x$  (nm).

- (e) A refletância solar ajustada ao espectro solar padrão é obtida calculando-se o quociente da soma das intensidades de irradiação refletida pela soma das intensidades de irradiação solar global ([Equação 5]).

$$\rho_{solar} = \left( \frac{\sum_{\lambda=300}^{\lambda=2500} I_{(\lambda_{x-y})\text{refletida}}}{\sum_{\lambda=300}^{\lambda=2500} I_{(\lambda_{x-y})}} \right) \times 100 \quad \text{[Equação 5]}$$

Onde:

$\rho_{solar}$  é a Refletância solar ajustada (%);

$I_{(\lambda_{x-y})\text{refletida}}$  é a Intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra no intervalo ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

$I_{(\lambda_{x-y})}$  é a Intensidade de irradiação solar global no intervalo ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).



### 3.2 Cálculo da Absortância Solar

Conforme descrito anteriormente, a soma das parcelas de radiação refletida e absorvida é igual ao total da radiação incidente. Sendo assim, a absortância solar é calculada a partir da refletância solar, por meio da [Equação 6].

$$\alpha = 1 - \rho$$

[Equação 6]

Onde:

$\alpha$  é a absortância solar (adimensional);

$\rho$  é a refletância solar (adimensional).



#### 4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DO MÉTODO ALTERNATIVO DE MEDIÇÃO DE REFLETÂNCIA (ALTA II) PARA FINS DE APLICAÇÃO ÀS NORMAS BRASILEIRAS

Os regulamentos brasileiros de eficiência energética em edificações, em vigência atualmente, procuraram inserir a absorvância solar em seus critérios de análise. O texto dos regulamentos recomenda a utilização dos métodos de medição reconhecidos pelas normas ASTM E1918, ASTM E903 e ASHRAE 74. Entretanto, com a dificuldade de aquisição e manutenção (alto custo) dos equipamentos indicados nestas normas, poucos projetistas, fornecedores ou fabricantes têm realizado tais medições em seus produtos. Em geral, adotam-se valores da NBR 15220-2 (ABNT, 2005b), da literatura técnica, ou são realizadas medições não normalizadas através do procedimento de verificação com o Alta II.

O Alta II tem se mostrado uma alternativa simplificada e de baixo custo para medição de refletância. Entretanto, ao utilizá-lo, sua incerteza nos valores medidos deve sempre ser levada em consideração. Pereira et al. (2015) apontam uma incerteza de aproximadamente  $\pm 0,10$  (absoluto, considerando a refletância/absorvância variando de 0 a 1). Dessa forma, a seguir são feitas algumas ponderações sobre a aplicabilidade deste método alternativo com respeito às necessidades dos regulamentos brasileiros.

No RTQ-C (Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos) a absorvância solar ( $\alpha$ ) está inserida como um dos pré-requisitos. Para obtenção da etiqueta de Nível A, existe o pré-requisito de utilização de materiais de revestimento externo de paredes e coberturas com absorvância solar menor que 0,50, válido para as zonas bioclimáticas 2 a 8. **Sendo assim, no caso do RTQ-C, atenderão ao pré-requisito para nível A os materiais cujos valores de absorvância solar, determinados a partir de medições com o equipamento Alta II, estiverem na seguinte condição:  $\alpha < 0,40$ . Materiais que apresentarem valores de absorvância solar, determinados com o equipamento Alta II, igual ou maior que 0,40 deverão obrigatoriamente ser reavaliados através de um dos métodos normalizados.**

No caso do RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais), a absorvância solar ( $\alpha$ ) é uma das variáveis no cálculo do equivalente numérico da envoltória. Também há um pré-requisito relacionado à absorvância que limita o valor da transmitância térmica do envoltório (baseado na NBR 15575). **Tendo em vista a relevância desta variável para o RTQ-R, neste regulamento poderão ser aceitos como resultado final ( $\alpha$ ) os valores da absorvância solar medido com o equipamento Alta II acrescido de 0,10 ( $\alpha = \alpha_{\text{Alta II}} + 0,10$ ).**



Além dos regulamentos de eficiência energética, está em vigor no Brasil uma norma que avalia, entre outros fatores, o desempenho térmico de edificações (NBR 15575 - “Edificações habitacionais – Desempenho”). Na NBR 15575, a absorptância solar é utilizada como limitadora para o critério de transmitância térmica de coberturas e paredes externas. No caso das paredes externas, a absorptância solar acima ou abaixo de 0,6 indica diferentes valores máximos admissíveis para a transmitância térmica. Nas coberturas, os diferentes valores máximos admissíveis para a transmitância térmica têm como critério a absorptância solar acima ou abaixo de 0,6, para as zonas bioclimáticas 3 a 6, e acima ou abaixo de 0,4, para as zonas bioclimáticas 7 e 8.

**Sendo assim, para aplicação da ABNT NBR 15575, recomenda-se que poderão ser aceitos os valores de absorptância solar obtidos a partir de medições com o equipamento Alta II, com as seguintes exceções:**

**- Para o critério de absorptância solar de 0,6: valores determinados com o Alta II no intervalo  $0,5 \leq \alpha \leq 0,7$  deverão obrigatoriamente ser reavaliados através de um dos métodos normalizados.**

**- Para o critério de absorptância solar de 0,4: valores determinados com o Alta II no intervalo  $0,3 \leq \alpha \leq 0,5$  deverão obrigatoriamente ser reavaliados através de um dos métodos normalizados.**

Para realização de qualquer tipo medição utilizando o espectrômetro portátil Alta II deverão ser considerados os cuidados e recomendações apresentados por Pereira et al. (2015).



## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.
- ABNT – 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, 2005b.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **2005 ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Capítulo 29: Residential Cooling and Heating Load Calculations. Atlanta, 2005.
- ANSI – AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 74**: Method of measuring solar-optical properties of materials. Atlanta, 1988.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C1549 – 09**: Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer. ASTM International, 2009.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E903 – 12**: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM International, 2012a.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E1918 – 06**: Standard test method for measuring solar reflectance of horizontal and low-sloped surfaces in the field. ASTM International, 2006.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173 – 03** (Reapproved 2012): Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. ASTM International, 2012b.
- DORNELLES, K. A. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex Acrílica e PVA**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Tese de Doutorado. Campinas, 2008.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. Solar engineering of thermal processes. Second edition. Wiley-Interscience: New York, 1991.
- EIA – U.S. **Energy Information Administration**. International Energy Outlook 2013. Disponível em: <[http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2013.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2013**: Ano base 2012. Rio de Janeiro: EPE, 2013.



MARINOSKI, D. L.; ORIGE, L. P.; GUESSER, A.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. Análise comparativa de valores de refletância solar de superfícies opacas utilizando diferentes equipamentos de medição em laboratório. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília, 2013.

PEREIRA, C. D. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Doutorado. Florianópolis, 2014.

PEREIRA, C. D.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S.; GHISI, E. **Relatório de avaliação do espectrômetro portátil ALTA II**. Relatório de Pesquisa, CB3E, 2015. Disponível: <http://www.cb3e.ufsc.br/publicacoes>

PERKINELMER. **Sphere accessories – User's Guide**. PerkinElmer, 2008.

RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. <http://www.inmetro.gov.br/> ou <http://www.pbeedifica.com.br/>

RTQ-R - **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais**. <http://www.inmetro.gov.br/> ou <http://www.pbeedifica.com.br/>

RONAN, P. **EM Spectrum**. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:EM\\_spectrum.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:EM_spectrum.svg)>. Acesso em: 04 set. 2012.

STEFFEN, C. A.; MORAES, E. C.; GAMA, F. F. Radiometria óptica Espectral – Tutorial. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996.