

FATORES DETERMINANTES DA ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS

Victor F. Roriz (1); Kelen Almeida Dornelles (2); Maurício Roriz (3)

(1, 3) Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - UFSCar - São Carlos, SP - Brasil.

(2, 3) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP -
Campinas, SP - Brasil

E-mail: vroriz@terra.com.br; kelend@terra.com.br; m.roriz@terra.com.br

RESUMO

As absortâncias das superfícies dos edifícios expostas ao Sol exercem forte influência sobre suas temperaturas e, por consequência, sobre o conforto térmico dos usuários e o consumo de energia. Apesar da extrema importância desta propriedade, a literatura especializada a tem tratado de forma superficial. As tabelas de cores usualmente divulgadas sobre o assunto são excessivamente vagas, mencionando intervalos de absortâncias tão grandes que pouco contribuem para informar sobre o real comportamento de uma superfície. Com base em resultados de testes e análises teóricas, discute-se, no presente artigo, os fatores que determinam as absortâncias de superfícies opacas. Dentre estes, o principal é a absortividade, que depende de propriedades químicas da substância que constitui a superfície. Dois outros fatores são provocados por características geométricas da superfície: a rugosidade, que indica irregularidades em escala milimétrica, e a ondulação, geralmente na escala dos centímetros. Adicionalmente o artigo indica que a absortância sofre alterações ao longo do tempo, mas que estas podem ser atenuadas por meio de manutenção periódica.

ABSTRACT

Absorptances of building surfaces exposed to the sun have strong influence on their temperatures and, for consequence, on the users' thermal comfort and the waste of energy. Despite of being aware of the importance of this property, the specialized literature has not been concerned in this regard with the desirable rigor. Tables of colors usually published about this subject are excessively wandered, mentioning large intervals of absorptances that poorly contribute to inform about the real behavior of a surface. Based on results of tests and theoretical analyses, it is discussed in this paper the factors that determine the absorptances of opaque surfaces. Among these factors, the main one is the absorptivity, which depends on the substance chemical properties that constitutes the surface. Two other factors are caused by geometric characteristics of the surface: the roughness, that indicates irregularities in the millimeter scale, and the undulation usually in centimeter scale. Additionally, the paper indicates the absorptance is changed through the time and this change can be reduced by periodical maintenance.

1. INTRODUÇÃO

Da radiação solar total que incide sobre um corpo opaco, uma parcela é refletida e outra absorvida. A fração absorvida é transformada em calor e é proporcional a uma propriedade da superfície do corpo, denominada absortância (α). A parcela refletida é determinada pela refletância (ρ) da superfície. Em corpos opacos, a soma da absortância com a refletância é igual à unidade. Assim, a absortância solar (α) é definida como a razão entre a energia solar absorvida pela superfície e o total de energia solar incidente sobre a mesma. Trata-se, assim, de uma propriedade determinante sobre a quantidade de

calor absorvida pelas superfícies externas das edificações e sobre suas temperaturas internas. Lamentavelmente, a literatura especializada a tem tratado de forma superficial, sugerindo que a absorptância dependa apenas da cor da superfície, desprezando toda a radiação em ultravioleta e em infravermelho, não oferecendo indicação confiável sobre a quantidade de energia absorvida ou refletida pelos corpos. Além disso, as tabelas de cores usualmente divulgadas sobre o assunto são excessivamente vagas, mencionando intervalos tão grandes de absorptâncias que, mesmo que fossem corretas, pouco contribuiriam para informar sobre o real comportamento de uma superfície. Para exemplificar, uma tabela adotada pela ASHRAE (2001) apresenta um intervalo de absorptâncias entre 65 e 80% para pintura preta, 50 a 70% para pintura amarela e 23 a 49% para pintura branca. A incerteza provocada por esses intervalos é completamente incompatível com a alta precisão dos modelos de cálculo térmico hoje disponíveis. No caso da pintura branca, por exemplo, a aplicação dessa tabela implica em uma variação superior a 100% na quantidade de energia supostamente absorvida pela cobertura ou pelas fachadas de um edifício. Conforme pretende-se demonstrar neste artigo, a absorptância não depende da cor e sim de outros fatores e, dependendo de suas composições químicas, superfícies de mesma cor podem apresentar diferentes absorptâncias, e vice-versa.

2. ABSORTÂNCIA E TEMPERATURAS SUPERFICIAIS

Akbari et al (1996) estudaram as temperaturas superficiais de pavimentos urbanos e formularam a seguinte equação, que ilustra a importância das absorptâncias sobre estas temperaturas:

$$\alpha \cdot I_g = \varepsilon \cdot \sigma (T_s^4 - T_c^4) + hc (T_s - T_a) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

α = absorptância solar (para corpos opacos, $\alpha = 1 - \rho$, sendo “ ρ ” a refletância solar da superfície)

I_g = irradiância solar global [W/m^2]

ε = emissividade da superfície

σ = Constante de Boltzmann = $5.6710\text{E}-8$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$]

T_s = temperatura absoluta da superfície [K] (válida para regime permanente ou pouca inércia)

T_c = temperatura aparente do céu [K]

T_a = temperatura absoluta do ar [K]

hc = Coeficiente de convecção [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]

Os mesmos autores sugerem as seguintes condições ambientais como referência para avaliação teórica de materiais:

Tabela 1 - Condições ambientais de referência para aplicação da Equação 1

I_g	T_a	T_c	H_c
1000 W/m^2	37 °C = 310 K	27 °C = 300 K	12 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Sob tais condições, as temperaturas superficiais podem ser estimadas através da equação 2. Para outras condições, as temperaturas superficiais são obtidas por iteração da equação 1.

$$T_s = 310.04 + 82.49 \alpha - 2.82 \varepsilon - 54.33 \alpha \cdot \varepsilon + 21.72 \alpha \cdot \varepsilon^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

As temperaturas apresentadas na Tabela 2 foram calculadas através dessas equações e para as condições ambientais de referência (Tabela 1). Enquanto a absorptância indica a capacidade do corpo em absorver radiações solares (ondas curtas), a emissividade (ε) determina o seu potencial para emitir energia radiante em ondas longas. As temperaturas superficiais resultantes são diretamente proporcionais à absorptância.

Tabela 2 - Temperaturas superficiais como função de absorvâncias e emissividades médias de alguns materiais, para as condições indicadas na Tabela 1 (diversas fontes)

Materiais		α	ε	α/ε	Temperatura Superficial (°C)
Sulfato de bário com álcool poliv.		0.06	0.88	0.07	37.6
Alumínio polido		0.05	0.05	1.00	40.9
Reboco		0.45	0.90	0.50	55.0
Aço inoxidável polido		0.42	0.11	3.82	69.0
Tijolo aparente		0.70	0.90	0.78	70.3
Concreto aparente		0.75	0.90	0.83	72.9
Telha de barro		0.80	0.90	0.89	75.5
Asfalto		0.95	0.95	1.00	82.3
Tintas	Caiação nova	0.15	0.90	0.17	42.2
	Branco, base óxido de titânio	0.20	0.90	0.22	44.7
	Aluminizado brilhante	0.30	0.31	0.97	56.5
	Aluminizado, base epoxy	0.77	0.81	0.95	75.4
	Negro, base carbono	0.96	0.88	1.09	84.0

Estes exemplos confirmam a importância da absorvância sobre o comportamento térmico e a eficiência energética das edificações, tanto em regiões frias quanto nas quentes, pois o controle das cargas térmicas solares é necessário em ambas.

3. A ABSORTIVIDADE DO MATERIAL

Entre os fatores que determinam a absorvância solar de uma superfície, o principal, denominado absorvidade, é definido como a fração de energia radiante absorvida pelo material e o total dessa energia que seria absorvida por um “corpo negro”. Cabe observar que o material aqui mencionado é aquele que constitui as camadas moleculares mais próximas à superfície do corpo. Assim, a absorvância de uma parede pintada será sempre função da absorvidade característica da composição química da tinta e independente, portanto, do material usado na construção da parede. Cada material absorve energia radiante principalmente em determinada frequência, denominada frequência de ressonância (Dionísio, 2006). As frequências mais altas do espectro solar, nas regiões do ultravioleta e do visível, são absorvidas em função da densidade das ligações atômicas da substância, enquanto as mais baixas, no infravermelho, envolvem escala molecular.

4. A RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE

A rugosidade de uma superfície é definida por suas micro-irregularidades geométricas. De modo geral, os materiais de construção civil apresentam considerável irregularidade, que estabelece picos e vales de diferentes alturas e a diferentes distâncias sobre sua superfície. A Figura 1 exemplifica, de modo simplificado, a relação entre absorvância e rugosidade. O ponto A recebe a energia solar e absorve uma parcela desta, que é proporcional à absorvidade do material.

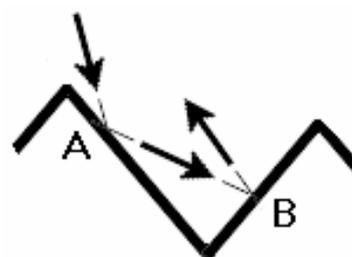


Fig. 1. Interreflexão provocada por rugosidade

Para uma absorvidade de 20%, 80% são refletidos, geralmente por reflexão difusa, em todas as direções. Uma parcela da energia refletida atinge outros pontos da mesma superfície e 20% dessa parcela também serão absorvidos, incrementando, assim, a fração total de energia absorvida pela superfície e, por definição, sua absorvância. Algumas geometrias podem provocar sucessivas interreflexões, mas apenas a primeira afeta a absorvância em níveis significativos.

A quantificação de rugosidades, procedimento indispensável ao controle de qualidade de muitos produtos, é regulamentada por normas, como a ISO 4287 (1997) ou a NBR 6405 (1988) e engloba diversos parâmetros, dentre os quais os mais usados são assim definidos:

Ra – Considerando-se todos os pontos de um perfil da amostra a ser avaliada, Ra é o desvio padrão desses pontos em torno de uma reta estabelecida a meia altura entre o pico mais alto e o vale mais profundo do perfil (Figura 2). Trata-se, portanto, de um indicador da rugosidade média da superfície, sendo expresso pela equação 3:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (\text{Eq. 3})$$

Ry – Diferença de nível (mm) entre o pico mais alto e o vale mais profundo do perfil considerado (Figura 2).

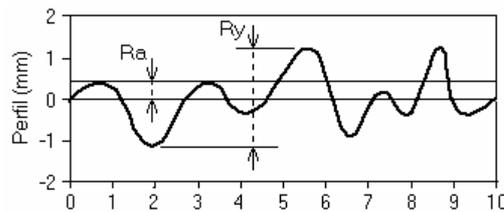


Figura 2. Parâmetros Ra e Ry de caracterização da rugosidade de superfícies.

Seker e Tavid (1996) mediram rugosidades e absorvâncias de 10 amostras, obtendo os resultados indicados na Figura 3. As rugosidades foram produzidas sobre vidro e todas as amostras foram pintadas com uma mesma tinta branca. Para estas condições, a análise de regressão (Equação 4) indicou que cada 1mm de acréscimo na rugosidade eleva a absorvância da superfície em 23%, valor muito significativo em edificações.

$$\alpha = 0.08 + 0.23 Ra \quad (\text{Eq. 4})$$

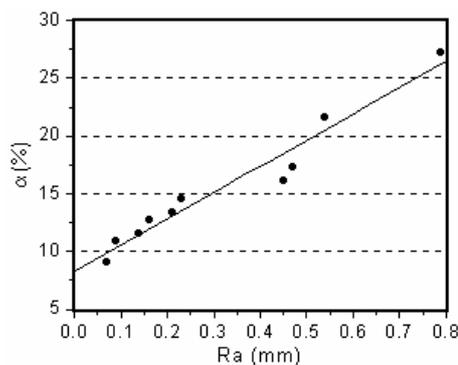


Figura 3. Relação encontrada por Seker e Tavid (1996) entre absorvância e rugosidade.

O procedimento atual mais preciso para identificação da absorvância de uma superfície consiste em medir sua refletância em um espectrofotômetro, que emite radiações monocromáticas sobre a amostra e registra, para cada comprimento de onda, a radiação refletida pela mesma de volta ao sensor. Dornelles (2006) mediu as refletâncias registradas por espectrofotômetro em amostras lisas e rugosas, pintadas com tintas de diferentes absorvâncias (Tabela 3).

Tabela 3: Refletâncias medidas por Dornelles (2006) em amostras lisas e rugosas.

Tinta aplicada sobre as amostras		Refletâncias (%), para diversas rugosidades (Ra, em mm)				
Tipo	Nome comercial	Lisa	0.074	0.108	0.195	0.338
Latex PVA	Branco	81.3	67.2	65.8	61.6	54.5
Acrílica Fosca	Marfim	57.0	47.9	48.3	46.3	44.7
Acrílica Fosca	Amarelo Antigo	43.9	36.7	36.9	35.5	34.2
Acrílica Semi-Brilho	Verde Quadra	34.8	19.9	19.5	20.4	17.5
Acrílica Fosca	Azul	33.2	22.9	20.8	22	20.2

Os resultados (Tabela 3 e Figura 4) indicam que a rugosidade reduz linearmente a refletância de cada amostra.

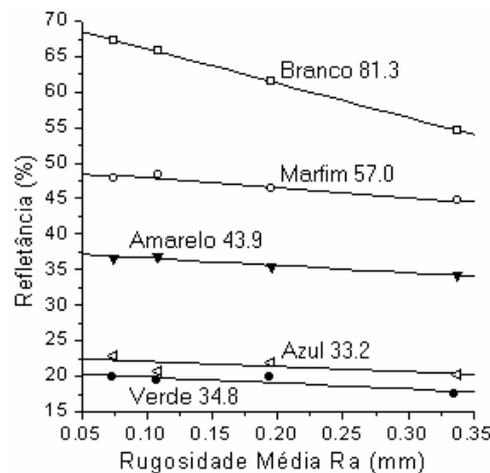


Figura 4. Influência linear da rugosidade sobre as refletâncias das amostras

Após realizarem análises das refletâncias de 60 tipos de materiais de construção, Parker et al (2000) alertam que a padronização do substrato é indispensável para a avaliação comparativa do comportamento espectrofotométrico das tintas. Certamente detectaram a influência de diferentes rugosidades.

5. A ONDULAÇÃO DA SUPERFÍCIE

Enquanto as rugosidades típicas das envolturas das edificações correspondem a milímetros ou frações de milímetro, uma outra irregularidade dessas superfícies, aqui denominada ondulação, envolve a escala dos centímetros. Para exemplificar essa influência, considere-se uma telha em fibrocimento, com 6mm de espessura e cujas ondas são arcos de círculo, com raio médio de 49mm (Figura 5).

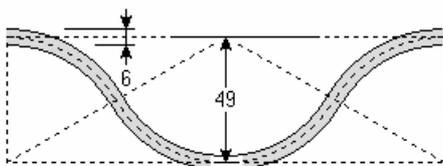


Figura 5. Perfil de telha em fibrocimento

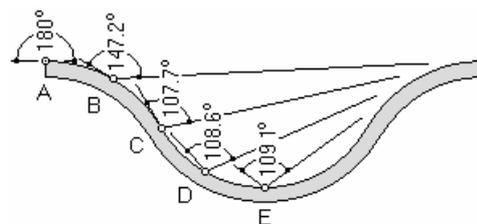


Figura 6. Ângulos planos de visão do céu

Uma primeira influência da ondulação acontece sobre o ângulo sólido relativo de visão do céu (AVC), que varia entre diferentes pontos da superfície, determinando a fração de radiação difusa que incide

sobre este ponto, bem como se o mesmo recebe ou não a radiação solar direta, para cada posição relativa do Sol. A Figura 6 apresenta, em um corte transversal ao comprimento da telha, alguns ângulos (planos) de visão do céu. Cortes em outros ângulos, em relação ao comprimento da telha, correspondem a diferentes perfis e diferentes ângulos de visão do céu para cada ponto (Figuras 7 e 8).

Em relação à radiação difusa, é possível calcular-se um ângulo sólido efetivo de visão do céu que proporcione sobre o telhado inteiro a mesma irradiância que seria recebida na situação real. Para realizar o cálculo, faz-se variar o ângulo de corte entre 0 e 90° e obtém-se uma “superfície”, formada pelo conjunto das curvas e cujo valor médio será o ângulo efetivo mencionado. Para a telha aqui considerada, calculou-se um ângulo efetivo de 145°, indicando que cada unidade de área da cobertura receberia apenas 80% ($145/180 = 80$) da radiação difusa que incidiria sobre uma superfície plana de mesma inclinação.

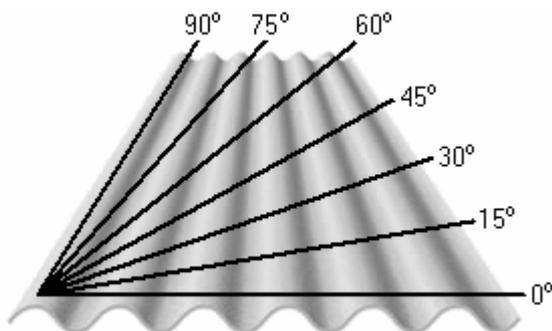


Figura 7. Variação do ângulo de corte

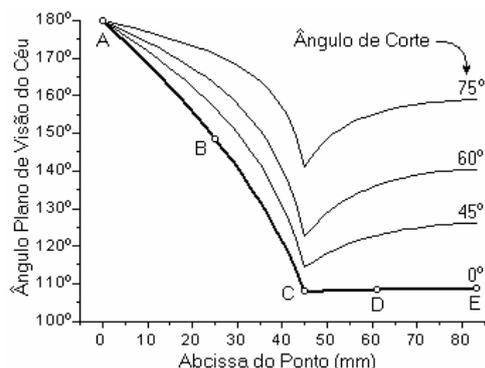


Figura 8. Ângulos planos de visão do céu, em função da abscissa do ponto e do ângulo de corte

Por outro lado, devido à ondulação, a área efetiva do telhado é maior que a de sua projeção horizontal. Para a telha estudada, o aumento da área é de 20.9%, valor que, para efeitos práticos, compensa a parcela oculta do céu.

Já a irradiância direta, ocorrerá com diferentes ângulos de incidência sobre cada ponto da telha e dependerá da latitude, da data, hora, inclinação e azimute do telhado. Segundo a “lei dos co-senos”, a irradiância sobre um plano qualquer é igual ao produto entre o co-seno do ângulo de incidência e a irradiância simultânea sobre um plano normal aos raios (Figura 9).

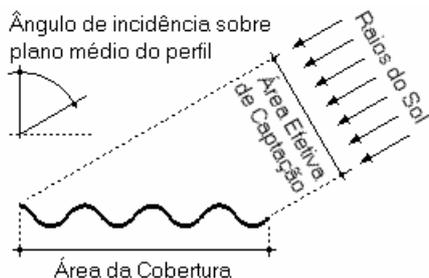


Figura 9. Área Efetiva de Captação da Radiação Direta

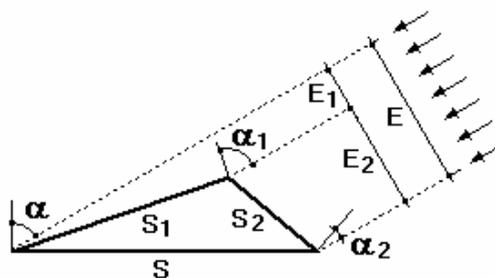


Figura 10. Incidência sobre diferentes planos

Constata-se aqui uma interessante propriedade, segundo a qual, para as ordens de grandeza típicas de uma edificação, o perfil da telha não interfere sobre a quantidade total de radiação direta que incide sobre a cobertura, pois a ondulação aumenta tanto a área da superfície quanto as áreas sombreadas e os ângulos de incidência, sendo nula a conjugação desses efeitos. A dedução dessa propriedade é simples. Considerando-se as superfícies e os ângulos da Figura 10, as seguintes relações expressam a lei dos co-senos:

$$E = S \cdot \cos(\alpha) \quad (\text{Eq. 5})$$

$$E1 = S1 \cdot \cos(\alpha1) \quad (\text{Eq. 6})$$

$$E2 = S2 \cdot \cos(\alpha2) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

E, E1 e E2 = quantidades de radiação que atingem, respectivamente, as superfícies S, S1 e S2.

α , $\alpha1$ e $\alpha2$ = ângulos de incidência sobre as respectivas superfícies.

Somando-se as equações 6 e 7:

$$E1 + E2 = S1 \cdot \cos(\alpha1) + S2 \cdot \cos(\alpha2) \quad (\text{Eq. 8})$$

A simples observação da figura permite deduzir que, desde que o vértice entre S1 e S2 não ultrapasse os limites do feixe de raios solares definidos por S e por α , a soma entre S1 e S2 será igual a E. Como, para alturas angulares significativas do Sol (acima de 5 graus), esta única restrição não se aplica às dimensões típicas de telhas e edificações, a Equação 8 pode ser substituída por:

$$S \cdot \cos(\alpha) = S1 \cdot \cos(\alpha1) + S2 \cdot \cos(\alpha2) \quad (\text{Eq. 9})$$

Portanto, a quantidade de radiação direta que atinge a superfície S é igual à somas das que atingem as superfícies S1 e S2, quaisquer que sejam as inclinações de S1 e S2, ou, em outras palavras, qualquer que seja a ondulação da cobertura.

Por outro lado, a ondulação provoca um efeito considerável sobre a absorção de energia radiante pelas superfícies de uma edificação, na medida em que gera interreflexões semelhantes às que se devem à rugosidade. Cada ponto da superfície absorve uma parcela da radiação solar global e reflete o restante. Para a maioria dos materiais de construção, esta reflexão será difusa e hemisférica, ou seja, em todas as direções “visíveis” a partir do ponto (Figura 11).

Parte dos raios refletidos incidirá sobre outros pontos da mesma superfície e sua energia será também absorvida, em fração proporcional à absorvidade do material e à rugosidade da superfície. A radiação, portanto, que incide sobre um ponto será a soma entre a direta, a difusa, a refletida pelo entorno e a refletida pelos outros pontos (Figura 12). No caso da telha do exemplo, o fato do ângulo médio de visão do céu ser de 80%, implica em que 20% da radiação refletida pela superfície reincidentam sobre ela, em uma primeira interreflexão.

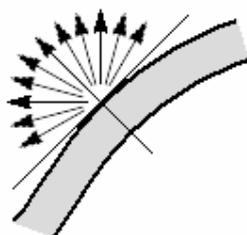


Figura 11. Reflexão difusa

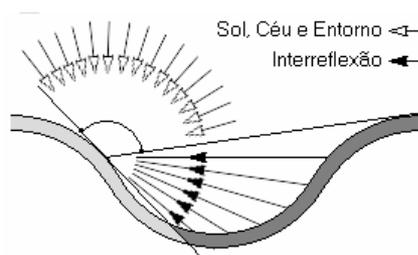


Figura 12. Interreflexões devidas à ondulação

A Tabela 4 apresenta, resumidamente, o procedimento adotado para deduzir a absortância efetiva (α_2) da telha ondulada.

Tabela 4: Absortância efetiva da telha

	Energia incidente	Parcela Absorvida	Parcela Refletida
1ª incidência	Is	$\alpha_1 \cdot Is$	$Is \cdot \rho_1$
1ª Interref.	$FF \cdot Is \cdot \rho_1$	$\alpha_1 \cdot FF \cdot Is \cdot \rho_1$	$FF \cdot Is \cdot \rho_1^2$
2ª Interref.	$FF^2 \cdot Is \cdot \rho_1^2$	$\alpha_1 \cdot FF^2 \cdot Is \cdot \rho_1^2$	$FF^2 \cdot Is \cdot \rho_1^3$
3ª Interref.	$FF^3 \cdot Is \cdot \rho_1^3$	$\alpha_1 \cdot FF^3 \cdot Is \cdot \rho_1^3$	$FF^3 \cdot Is \cdot \rho_1^4$

$$\alpha_2 = \sum_0^n \alpha_1 \cdot FF^n \cdot \rho^n \quad (\text{Eq. 10})$$

Sendo:

FF = Fator de Forma (FF = 1- AVC, sendo AVC o ângulo sólido relativo de visão do céu)

α_1 = Absortância da superfície sem os efeitos da ondulação

α_2 = Absortância efetiva da superfície ondulada

n = Número de interreflexões

6. MANUTENÇÃO

Bretz e Akbari (1994) estudaram os efeitos provocados pelo envelhecimento sobre 26 tipos de telhados que, originalmente, apresentavam altas refletâncias. Concluíram que estes efeitos dependem do tipo de revestimento, de sua textura, da inclinação da cobertura e da proximidade de fontes de sujeira. A maior redução de refletância, em torno de 20%, ocorre no primeiro ano. Após o segundo ano os decréscimos passam a ser pequenos, reduzindo entre 10 e 20% a economia originalmente estimada de energia pelo uso da alta refletância. A lavagem periódica das superfícies pintadas pode restabelecer entre 90 e 100% da refletância original.

Em publicação mais recente, Akbari, Berhe, Levinson et al (2005), comparam os efeitos da idade em dezenas de coberturas de alta refletância, sob diferentes condições de conservação e limpeza. Os resultados referentes a 8 edifícios, localizados em diferentes cidades dos Estados Unidos, estão resumidos na Figura 13, cuja linha contínua indica os valores médios. Estes autores verificaram que, com o passar do tempo, as refletâncias são progressivamente afetadas por radiações em ultravioleta e por acúmulo de pó, sujeira e poluição urbana. Constataram, ainda, que o envelhecimento atua mais intensamente sobre a absorção de ondas curtas que das longas.

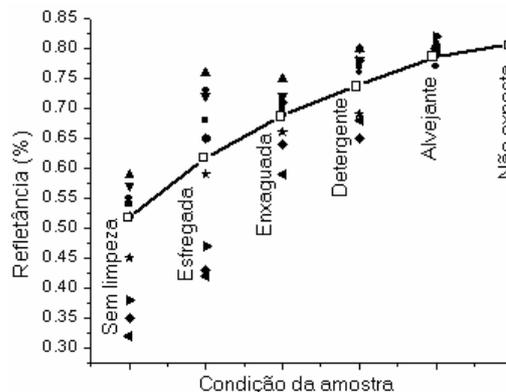


Figura 13. Efeitos da manutenção sobre as refletâncias de telhados (Akbari, et al, 2005)

No interior das cidades, a tendência do envelhecimento é reduzir altas refletâncias e elevar altas absorptâncias, pois o pó e outros detritos urbanos acumulados sobre as superfícies geralmente apresentam refletâncias médias.

Encontra-se em discussão na Comissão de Energia da Califórnia, projeto de norma apresentado por Levinson et al (2002), a respeito do efeito do envelhecimento sobre a refletância de coberturas. Para estimar este efeito, o projeto recomenda a seguinte expressão, onde R_e é a refletância da cobertura envelhecida e R_n sua refletância quando nova:

$$R_e = 0.2 + 0.7 (R_n - 0.2) \quad (\text{Eq. 11})$$

Ou seja, a alteração da refletância é suposta igual a 30% da diferença entre a refletância original e o valor de 0.2. O modelo reconhece que superfícies com baixa refletância inicial (abaixo de 0.2) tendem a ficar mais refletivas, ocorrendo o inverso com as de refletância inicial mais alta.

Assim, quando se mede a refletância de uma superfície sem manutenção, a refletividade que está sendo realmente avaliada poderá ser a da sujeira ali depositada.

7. CONCLUSÕES

Inicialmente, apresentou-se o conceito de absorptância solar, aplicado particularmente às superfícies opacas, e destacou-se a extrema importância dessa propriedade para o desempenho térmico e energético das edificações. Em seguida, procurou-se relacionar e discutir os fatores que a determinam, alguns dos quais têm sido desconsiderados por grande parte da literatura especializada. Os aspectos aqui abordados podem contribuir para esclarecer diversas questões sobre o tema, mas futuras pesquisas serão necessárias para elucidar completamente o assunto.

8. REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. (2001). ASHRAE Fundamentals Handbook. Atlanta.
- AKBARI, H.; LEVINSON, R. & BERDAHL, P. (1996). "ASTM Standards for Measuring Solar Reflectance and Infrared Emittance of Construction Materials and Comparing their Steady-State Surface Temperatures". ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings: Efficiency & Sustainability, Vol. 1, pp. 1.1-1.9.
- AKBARI, H.; BERHE, A., LEVINSON, R. et al (2005). Aging and Weathering of Cool Roofing Membranes. Paper LBNL-58055. Berkeley National Laboratory (LBNL). University of California,
- DIONÍSIO, M. (2006). Métodos Instrumentais de Análise - Introdução aos Métodos Espectroscópicos. Departamento de Química. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. [disponível em: www.dq.fct.unl.pt/]
- DORNELLES, K. A. (2006). Comportamento Espectrofotométrico de Amostras Lisas e Rugosas Pintadas. Relatório Interno. Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.
- DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. (2006). A Method to Identify the Solar Absorptance of Opaque Surfaces with a Low-cost Spectrometer. PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, 6-8 September.
- FIGUEIREDO, E.; CARAM, R. e LABAKI, L. (2005). "Medidas de Refletâncias de Cores de Tintas Sujetas ao Processo de Envelhecimento". Anais do VIII Encontro Nacional e IV Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió
- ISO 4287 (1997). Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters. International Organization for Standardization.

- LEVINSON, R.; AKBARI, H.; KONOPACKI, S.; BRETZ, S. (2002). Inclusion of Cool Roofs in Nonresidential Title 24 - Prescriptive Requirements. Lawrence Berkeley National Laboratory. Paper LBNL-50451.
- NBR 6405 (1988). Rugosidade das Superfícies: Procedimentos. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- PARKER, D.; McILVAINE, J.; BARKASZI, S.; BEAL, D.; ANELLO, M. (2000). Laboratory Testing of the Reflectance Properties of Roofing Material. FSEC-CR670-00. Florida Solar Energy Center, Cocoa, FL.
- RORIZ, M.; DORNELLES, K. A. (2005). "Identificação da Absortância Solar de Superfícies Opacas a Partir de Imagens Digitalizadas." Anais do VIII Encontro Nacional e IV Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió.
- RORIZ, V.F.; RORIZ, M. (2005). "Sistemas Evaporativos de Resfriamento de Coberturas: Estudo de Casos em São Carlos." Anais do VIII Encontro Nacional e IV Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió.
- SEKER, D. Z.; TAVIL, A. Ü. (1996). Evaluation of Exterior Building Surface Roughness Degrees by Photogrammetric Methods. Building and Environment, Vol. 31, No. 4, pp. 393-398, 1996

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes instituições, cujos apoios viabilizaram o presente trabalho:

FAPESP, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa de doutorado concedida a Kelen Dornelles.

CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, do Ministério da Educação, pela bolsa de mestrado concedida a Victor Figueiredo Roriz.

LIEC, Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica da Universidade Federal de São Carlos, pela gentil permissão de uso do espectrofotômetro.