

MEDIÇÃO DO ALBEDO OU REFLETÂNCIA DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM COBERTURAS DE EDIFÍCIOS NO BRASIL

Ferreira, Fabiana L. S. (1); Prado, Racine T. A (2)

(1) Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2 - n. 83, Cidade Universitária, 05508-900, São Paulo, SP.
Fone: Fone: (11) 3091-5422 - (12) 9126-7197 - e-mail: Fabianaferreira2@aol.com

(2) Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2 - n. 83, Cidade Universitária, 05508-900, São Paulo, SP.
Fone: (11) 3091-5206 e-mail: racine.prado@poli.usp.br

RESUMO

O crescimento das cidades caracteriza-se pelo aumento das áreas edificadas e pavimentadas, do uso de energia e da geração de calor. O fenômeno de aquecimento das áreas urbanas é denominado Ilha de Calor. As Ilhas de Calor não causam apenas desconforto térmico. Temperaturas elevadas são responsáveis pelo aumento da demanda de energia com resfriamento do ar em edifícios e efeitos fotoquímicos que aumentam a poluição atmosférica, além de aumentar os impactos ambientais causados pela demanda em geração de energia. Materiais com elevado albedo e emissividade atingem temperaturas mais baixas quando expostos à Radiação Solar, reduzindo a transferência de calor para o ar em seu entorno. Este artigo concentra-se em apresentar os resultados da medição do albedo ou refletância de materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil, utilizando um espectrofotômetro com esfera integradora. O tema escolhido surge da necessidade de propor soluções passivas, que possam diminuir os efeitos negativos das ilhas de calor, apresentando resultados da medição albedo em laboratório, que possam ser utilizados por pesquisadores e profissionais para avaliar o desempenho espectral dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil.

ABSTRACT

The growth of the cities is characterized by the increase of built and paved areas, the increase of the energy use and the heat generation. The phenomenon of urban heating is called Heat Island. The Heat Island cause not only thermal discomfort. High temperatures are directly responsible for the increase in demand of energy use on cooling loads and for the photochemical effects that increase atmospheric pollution, and it is responsible for ambient impacts caused by the increase on the demand of energy generation. Materials with high albedo and emissivity achieve low temperatures when exposed to Solar Radiation, reducing the heat transfer to the surrounding air. This paper is focusing on present results of the measurement, in laboratory using a spectrophotometer with integrating sphere, of the albedo or reflectance of materials used on roofs in Brazil. The chosen subject comes from the necessity to propose passive solutions that can contribute to diminish the negative effects of heat islands, showing results of the albedo measured in laboratory, that can be used by researchers or professionals to evaluate the spectral performance of roof materials used on buildings in Brazil.

1. INTRODUÇÃO

Por albedo entende-se a refletância especular e difusa integrada no intervalo com comprimento de onda entre 290 e 2500nm, que engloba aproximadamente 96% da Radiação Solar que atinge a superfície terrestre. Este intervalo de comprimentos de onda compreende a radiação Ultra Violeta, Visível e Infravermelha.

A região Ultravioleta (UV), que representa aproximadamente 6% do espectro solar, compreende o intervalo com comprimentos de onda entre 290 e 380nm, provoca efeitos físico-químicos nos seres vivos e materiais como danos na estrutura celular: câncer de pele, desbotamento ou descoloração, eritemas e queimaduras, e contribui para a síntese de vitamina D.

A região do Visível, contida entre os comprimentos de onda entre 380 e 780nm, compreende aproximadamente 46% de todo espectro solar, e é aquela para a qual o olho humano é sensível, suas alterações de frequência compreendem as cores. Influi diretamente no grau de iluminação dos ambientes, pois está associada à intensidade da luz branca transmitida. O intervalo de comprimento de onda Visível varia de pessoa para pessoa dependendo da sensibilidade da retina de cada indivíduo.

O Infravermelho (IV) próximo compreende o intervalo contido entre 780nm até aproximadamente 2500nm e corresponde a aproximadamente 43% do espectro solar. A natureza destas radiações é principalmente térmica. O espectro da radiação solar está dividido em três regiões distintas, a região Ultravioleta, o Visível e o Infravermelho, que são consideradas regiões de pequenos comprimentos de onda ou de onda curta.

A medição das refletâncias dos materiais foi feita no Laboratório de Sistemas Prediais da Universidade de São Paulo. Utilizou-se um espectrofotômetro Shimadzu modelo UVPC-3101PC com esfera integradora ISR-3100 em conjunto com o software UVPC, que opera em ambiente Windows e permite a aquisição e manipulação de dados espectrais de diversos materiais.

2. MEDIÇÃO DO ALBEDO

A medição foi realizada no modo espectral, num intervalo de comprimento de onda entre 290 e 2500nm, com uma velocidade de 700 nanômetros por minuto e espessura de fenda de 20mm. A medição do albedo ou refletância em Laboratório, utilizando-se um espectrofotômetro com esfera integradora permite a avaliação dos resultados, por intervalo de comprimento de onda. Integrando-se as áreas abaixo da curva de refletância especular, foi possível obter o albedo ou refletância dos materiais, em intervalos determinados. A ASTM – 903, que discorre sobre o método de medição da refletância de materiais opacos, utilizando-se espectrofotômetros com esferas integradoras, afirma que a medição neste equipamento possibilita a extração de dados, com uma precisão melhor que qualquer outro sistema de medição da performance de sistemas térmicos.

2.1 AMOSTRAS DE TRABALHO E DE REFERÊNCIA

A intenção deste trabalho foi medir as características espectrais das telhas constantes nos momentos que antecedem sua instalação. Consideraremos amostras de trabalho os materiais que serão medidos. A seleção dos mesmos não seguiu nenhum critério estatístico ou quantitativo. Esta pesquisa iniciou-se pelos materiais mais populares, que são utilizados em coberturas de edifícios que compõem as cidades brasileiras: cerâmica vermelha e branca, fibrocimento sem amianto, alumínio com e sem pintura, aço galvanizado com e sem pintura, metal com banho de alumínio e zinco, metal termo acústico nas cores alumínio, verde, branco e cerâmica, e cimento colorido nas cores cinza claro, cinza escuro, vermelho e ocre, com e sem resina.

As amostras de referência são utilizadas para calibrar o equipamento e fornecer referencial para obtenção das refletâncias de outros materiais. Como referência são utilizados materiais com alta reflexão especular e difusa, com valores aproximados de 100%.

A ASTM-903 sugere o seguinte critério para a definição das amostras de referência para obtenção de valores com maior precisão: para a medição de materiais com alta reflexão difusa, no intervalo de comprimento de onda que representa o espectro solar, utilizar materiais com alta reflexão difusa. Neste trabalho foi utilizado o Sulfato de Bário (BaSO_4) como amostra de referência, pois o mesmo apresenta alta reflexão difusa. E para a medição de materiais com alta reflexão espectral, no intervalo de comprimento de onda que representa o espectro solar, a ASTM-903 recomenda o uso de Placas de Alumínio ou Óxido de Magnésio, pois ambos apresentam alta reflexão espectral, em toda extensão do espectro solar. Neste trabalho adotou-se o Alumínio.

2.2 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os valores do albedo ou refletância foram obtidos pelo método de integração de áreas. Através dos gráficos dos materiais obtidos na medição com o espectrofotômetro, calculou-se a área integrada abaixo da curva de reflexão espectral de cada material¹. Todo este procedimento realizou-se utilizando o Software Excel em paralelo ao Software UVPC, que possibilita a exportação de dados em formato de texto.

A figura 1 apresenta a curva típica da Cerâmica Vermelha e da Cerâmica Branca:

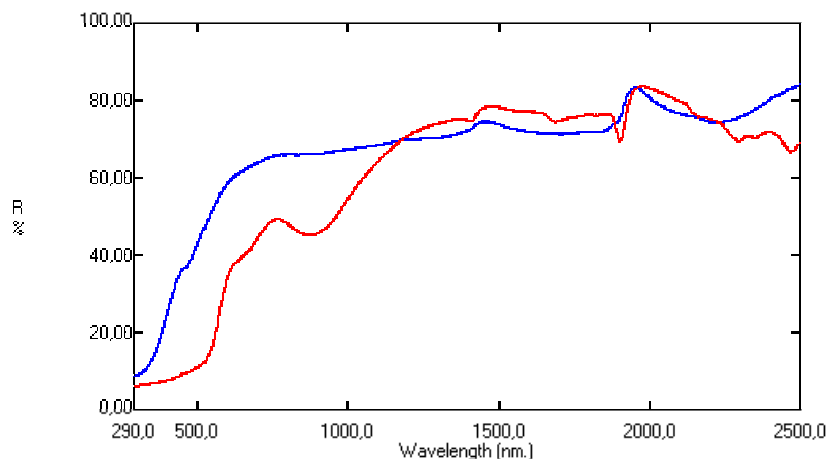


Figura 1: Curva de Reflexão da Cerâmica Branca e da Cerâmica Vermelha

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos para todos os materiais medidos, é importante ressaltar que somente os valores de refletância obtidos para todo o espectro foram submetidos a tratamentos estatísticos, ou seja, sua margem de erro é de 5%.

¹ Formato de gráfico obtido para cada material medido.

Tabela 1: Valores de Albedo para os intervalos de Radiação Solar

Material		Intervalo			
		UV	Visível	IV	Total
		290 - 380nm	380 - 780nm	782 - 2500nm	290 -2500nm
		%	%	%	%
Cerâmica Vermelha		9,10	33,10	78,90	67,70 ²
Cerâmica Vermelha		11,50	53,10	74,50	68,00 ¹
Fibrocimento		25,00	36,08	40,87	39,35 ¹
Alumínio	sem pintura	73,40	72,53	73,74	73,19 ¹
	Marfim	7,86	64,84	59,86	58,60 ²
	Amarelo	6,42	42,42	61,86	56,06 ²
	Bege	7,75	54,93	58,55	55,80 ³
	Azul Claro	6,86	19,43	60,47	50,82 ²
	Cinza Platina	7,74	54,68	50,31	49,33 ²
	Vermelho	6,26	27,34	52,04	45,69 ²
	Azul Santiago	6,01	7,99	42,85	35,02 ²
	Verde Imperial	6,33	12,58	37,01	31,32 ²
Cerâmica Asteca	6,06	17,77	32,97	29,11 ²	
Aço Galvanizado	sem pintura	78,49	69,67	73,03	72,64 ¹
	Branca	7,95	78,46	59,53	60,82 ²
	Amarelo	5,54	43,53	45,76	43,70 ²
	Cinza Claro	7,78	46,65	37,43	37,88 ²
	Vermelho	5,90	26,90	41,80	37,60 ²
	Azul Escuro	6,18	8,01	38,99	32,02 ²
	Cinza Escuro	7,98	32,87	30,00	29,61 ²
	Verde	5,29	9,95	25,27	21,67 ²
Cerâmica	5,79	18,23	21,55	20,30 ²	
Alumínio e Zinco	natural	74,63	65,17	68,85	68,42 ¹
Cimento colorido	cinza escuro	13,63	16,61	12,42	13,23 ¹
	cinza claro	22,78	32,20	33,42	32,76 ¹
	vermelha	14,14	22,78	27,91	22,42 ¹
	ocre	11,64	27,87	31,54	30,06 ¹
Termo acústica	alumínio	63,19	65,92	71,91	69,72 ¹
	verde	21,38	36,55	71,88	63,39 ¹
	branca	8,40	62,61	65,42	62,54 ¹
	cerâmica	6,04	17,63	62,75	52,24 ¹

3. DISCUÇÃO

A medição revelou que os materiais metálicos sem pintura apresentaram o melhor desempenho de refletância na região UV, com valores em torno de 70%, já os materiais metálicos com pintura o pior

² Valor de albedo submetido a tratamento estatístico (com margem de erro de 5%).

³ Valor de albedo ilustrativo (sem tratamento estatístico).

desempenho. Tanto as amostras de alumínio pintado, quanto às de aço galvanizado, apresentaram refletância de aproximadamente 8%, com exceção das amostras de metal termo acústico verde, que apresentou resultado de aproximadamente 21%.

Os resultados obtidos para os materiais metálicos com pintura, na região UV, indicam uma deficiência nos componentes da tinta, apesar do pequeno número de amostras medidas. Esta deficiência provavelmente confere a estes materiais descoloração ou desbotamento mais acelerado, dado pela incidência e absorção da Radiação UV.

Fato semelhante foi observado nos resultados das amostras de cimento colorido com e sem resina. As amostras com resina apresentaram valores de refletância para região UV entre 7 e 15%, resultados de refletância inferiores as amostras sem resina com valores variando entre 11 e 22%, indicando a suscetibilidade da resina a degradações.

Dentre os materiais não metálicos sem pintura ou resina medidos, o cimento colorido, a cerâmica branca e a vermelha apresentaram desempenho similar com valores de refletância entre 9 e 15%, enquanto que o fibrocimento apresentou o melhor desempenho para a região UV, com refletância que alcançou 25%.

No intervalo Visível os materiais metálicos apresentaram o melhor desempenho, sendo a amostra de aço galvanizado na cor branca a que apresentou a maior refletância: 78% aproximadamente, enquanto que os materiais metálicos sem pintura, resultados em torno de 70% para este intervalo. Entre os materiais não metálicos, a cerâmica branca apresentou o melhor desempenho com refletância em torno de 53% e o cimento colorido cinza escuro com resina aproximadamente 11% para o intervalo do Visível.

As cores claras apresentam de um modo geral maior refletância na região do Visível e tendem a ter maior refletância no Infravermelho próximo, porém este resultado não é indicativo de albedo elevado, visto que seu desempenho de Albedo, está diretamente relacionado a refletância dos materiais no intervalo do Infravermelho, que representa aproximadamente 43% da radiação solar que atinge a superfície terrestre..

Os materiais metálicos sem pintura e a cerâmica vermelha e branca apresentaram refletância elevada para o intervalo do Infravermelho com valores em torno de 70%, já os materiais metálicos com pintura valores de refletância inferiores a 60% com exceção das telhas termo-acústicas nas cores branco e cerâmica, que apresentaram valores aproximados de 63%, para o intervalo do Infravermelho. Os demais materiais: cimento colorido e fibrocimento valores inferiores a 40%, sendo que o cimento colorido cinza escuro com resina apresentou o pior resultado: aproximadamente 10%.

Analisando os resultados obtidos para cada região do espectro, observa-se que o albedo dos materiais é definido por sua refletância na região do Visível e do Infravermelho, que em conjunto representam aproximadamente 89% de toda a radiação que incide na superfície terrestre. Já a refletância dos materiais no intervalo do Ultravioleta determina a suscetibilidade dos materiais a degradações e descolorações em função de sua exposição ao tempo.

Analisando-se os resultados obtidos para cada intervalo do espectro solar percebe-se que alguns materiais apresentaram baixa refletância na região do Visível, porém obtiveram uma refletância elevada na região Infravermelha e com isso alcançaram valores elevados de albedo.

A Cerâmica Vermelha por exemplo, apresentou refletância em torno de 33% na região Visível, e refletância de 78% na região Infravermelha, o que lhe conferiu uma refletância total de aproximadamente 67%. Fato inverso ocorreu com a amostra de aço galvanizado colorido cinza claro, que apresentou refletância de 46% no Visível e 37% no Infravermelho. Dentre todos materiais medidos o Alumínio sem pintura apresentou albedo mais elevado atingindo valores de refletância em torno de 73%, já o cimento colorido cinza escuro com resina o pior resultado: aproximadamente 10%.

A medição utilizando-se o espectrofotômetro com esfera integradora, em paralelo a um estudo detalhado da composição química dos materiais e seus componentes, pode contribuir, para o aprimoramento do desempenho de refletância dos materiais nos intervalos de comprimento de onda específicos, que podem vir a apresentar uma maior refletância e assim obter um albedo mais elevado. Por exemplo: materiais em cores escuras podem buscar um melhor desempenho na região Infravermelha e com isso elevar seu albedo

para todo espectro solar, sem comprometer suas características visuais. Já os materiais que apresentam alto índice de absorção da radiação Ultravioleta, podem acrescentar em sua composição filtros ou componentes resistentes a este intervalo de comprimento de onda.

4. ENVELHECIMENTO DE COBERTURAS

A refletância ou albedo dos telhados tende a diminuir com a idade ou tempo de utilização do mesmo. A exposição ao tempo tende a diminuir a refletância dos materiais claros e aumentar a refletância dos materiais escuros. Estudos que monitoraram os efeitos do envelhecimento em 10 telhados na Califórnia, concluíram que a refletância dos materiais diminui aproximadamente 15% no primeiro ano de utilização (BRETZ, AKIBARI, 1997).

A Comissão de Energia da Califórnia, no *Code Proposals: "Inclusion of Cool Roofs in Nonresidential Title 24 Prescriptive Requirements"* (2002), sugere que a refletância de um material seja estimada a partir da equação abaixo:

$$\rho_{\text{envelhecido}} = \rho_o + c (\rho_{\text{inicial}} - \rho_o) \quad [\text{Eq. 1}]$$

A expressão acima estabelece $\rho_o = 0.20$ e $c = 0.70$, como valores constantes. O cálculo do envelhecimento da refletância é modelado considerando-se uma redução de 30% na diferença entre a refletância inicial e um valor adotado de 0.20 (ρ_o).

A tabela 2 expressa a aplicação da equação acima nos resultados obtidos na medição.

Tabela 2: Valores de Albedo Envelhecido

Material		Intervalo	Albedo Envelhecido
		290 -2500nm	290 -2500nm
Cerâmica Vermelha		0.68	0.53
Cerâmica Vermelha		0.68	0.54
Fibrocimento		0.39	0.34
Alumínio	Sem pintura	0.73	0.57
	Marfim	0.59	0.47
	Amarelo	0.56	0.45
	Bege	0.56	0.45
	Azul Claro	0.51	0.42
	Cinza Platina	0.49	0.41
	Vermelho	0.46	0.38
	Azul Santiago	0.35	0.31
	Verde Imperial	0.31	0.28
Aço Galvanizado	Cerâmica Asteca	0.29	0.26
	Sem pintura	0.73	0.57
	Branca	0.61	0.49
	Amarelo	0.44	0.37
	Cinza Claro	0.38	0.33
	Vermelho	0.38	0.32
	Azul Escuro	0.32	0.28
	Cinza Escuro	0.30	0.27
Metal Al +Zinco	Verde	0.22	0.21
	Cerâmica	0.20	0.20
Cimento Colorido	Sem pintura	0,68	0,54
	Cinza escuro	0.13	0.15
	Cinza escuro c/ resina	0.10	0.13
	Cinza claro	0.33	0.29
	Cinza Claro c/ resina	0.31	0.27
	Vermelha	0.22	0.22
	Vermelho c/ resina	0.31	0.28
Ocre	0.30	0.27	
Ocre c/ resina	0.24	0.23	

Metal Termo- acústico	Alumínio	0.70	0.55
	Verde	0.63	0.50
	Branca	0.63	0.50
	Cerâmica	0.52	0.43

5. CONCLUSÕES

O albedo ou refletância dos materiais utilizados em coberturas de edifícios é uma das variáveis responsáveis por seu ganho de calor, pois representa a porção da radiação solar incidente, que é refletida pelo material, porém o desempenho térmico dos materiais, caracterizado pela temperatura superficial que os mesmos podem atingir, está vinculado à emissividade dos materiais, que é responsável pelo seu resfriamento radioativo, e determina a quantidade de radiação térmica que é irradiada para o entorno. Superfícies com elevado albedo e emissividade permanecem mais frias quando expostas a Radiação Solar, pois absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para o espaço. Conseqüentemente transmitem menos calor para seu entorno.

A eficiência do Albedo ou refletância e da emissividade dos materiais são parâmetros que podem ser incorporados pelos fabricantes dos materiais utilizados em telhas, através de análises sistemáticas dos componentes dos materiais ou através de processos de melhoria contínua. Também pode ser implementada nos Códigos de Edificações ou normalizações específicas, visto a necessidade de diminuir os impactos atmosféricos das Ilhas de Calor e a demanda de energia nos centros urbanos. Uma cobertura com elevado albedo e emissividade começa a se auto pagar no instante de sua instalação, reduzindo a utilização de sistemas para resfriamento de ar.

Em alguns países, principalmente os EUA, vem se estudando a inclusão de normalizações prescritivas para a determinação de parâmetros limites de refletância e emissividade para materiais utilizados em coberturas ou edificações comerciais e industriais, que de um modo geral demandam mais energia. O intuito desta proposta é diminuir a demanda de energia e compensar as emissões de poluentes de outras fontes geradoras, como por exemplo, os automóveis. O conjunto dos conceitos acima apresentados compreende uma série de técnicas passivas de controle do uso de energia e da poluição atmosférica.

Rosenfeld et al. (1995) sugere a utilização de uma série de políticas para programas de implementação de superfícies frias e sombreamento por árvores. Dentre elas a criação de procedimentos de testes que venham a qualificar os “materiais frios”, para a criação de um banco de dados que possa auxiliar pesquisadores, projetistas e usuários, conscientização coletiva por programas de informação específicos, a inclusão dos telhados frios e da sombra das arvores nos critérios da ASHRAE de performance energética dos edifícios, a criação de incentivos pelo estado em função de sua utilidade pública entre outros.

A utilização de “materiais frios” aliadas à ampliação das áreas verdes é uma alternativa viável e com baixo custo, que pode ser implementada nas áreas urbanas e na construção de novos edifícios, como estratégia para contenção dos efeitos nocivos da Ilhas de calor. O primeiro passo para a aplicação prática destes conceitos é a conscientização coletiva para a importância da utilização de materiais mais eficientes, que possam contribuir para a mitigação das altas temperaturas nos centros urbanos e suas conseqüências, salientando a importância da composição dos envelopes construtivos e das superfícies urbanas para a preservação ambiental, a economia de energia e o conforto térmico.

6. BIBLIOGRAFIA

- BRETZ, S.; AKBARI, H; ROSENFELD, A. Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands. **Atmospheric Environment**, vol. 32, No. 1, pp.95-101, 1998.
- SIMPSON, J.R.; MCPHERSON, E. G. The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. **Energy and Buildings**, v.25, n.2, p.127-37, 1997.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos. **Glossário de termos técnicos**. Disponível em: www.cptec.inpe.br/satelite/metsat/pesquisa/gloss/gloss-ae.htm> Acesso em 12 Set. 2002.

- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. California. **Projeto Ilhas de Calor**. Disponível em: < <http://eetd.lbl.gov/HeatIsland> >. Acesso em: 12 de set. 2002.
- ROSENFELD, A. H.; et al. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. **Energy and Buildings**. Vol. 22, pp 255-265, 1995.
- BERDHAL, P. BRETZ, S. Preliminary survey of the solar reflectance of roofing materials. **Energy and Buildings**, v.25, n.2, p.149-58, 1997.
- BRETZ, S. AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings. **Energy and Buildings**, v.25, n.2, p.159-67, 1997.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. United States: John Wiley & Sons, Inc. 1991. 919p.
- American Society for Testing and Materials. **Standard Test Method for Solar Absorptance, Refeltance, and Transmittance or Materials Using Integrating Spheres - ASTM E 903**. United States, 1996.
- JAPÃO. Shimadzu Corporation. Analytical Instruments Division. **Instruction Manual UVPC Series Spectrophotometer: Operation Guide** 1997. Kyoto: 1997.
- CALIFÓRNIA ENERGY COMISSION. CALIFÓRNIA. Ago. 2002. **Inclusion of Cool Roofs in Non Residential Title 24 Prescriptive Requirements** . Pacific Gas & Eletricit. Disponível em: < http://www.energy.ca.gov/2005_standards/documents/index.html >. Acesso: 20 de out. 2002.