

ANÁLISE DA REFLETÂNCIA EM DIFERENTES TONALIDADES DE CIMENTO BRANCO E CINZA

Guilherme K. Rodrigues (3); Lígia P. Muniz (2); Lia L. Pimentel (3); Claudia C. Pezzuto (4)

(1) Graduando em Engenharia Civil, guilherme_kato@hotmail.com

(2) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, ligiapmuniz@gmail.com

(3) Prof.^a Dr.^a, docente permanente do Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, lialp@puc-campinas.edu.br

(2) Prof.^a Dr.^a, docente permanente do Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, claudiapezzuto@puc-campinas.edu.br

Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Rodovia Dom Pedro, km 136 Parque das Universidades, CEP 13086-900 – Campinas - SP, Tel.: (19) 3343-7239

RESUMO

Este artigo descreve os resultados de um estudo comparativo com o objetivo de investigar os efeitos da refletância solar em materiais de superfícies urbanas (pavimentação, fachadas e lajes de concreto). Para o estudo foram confeccionadas amostras de cimento branco e cinza com diferentes tonalidades cromáticas (amarelo, azul, verde, vermelho, marrom e preto) e sem adição de pigmento. Para a medição das refletâncias foi utilizado o espectrômetro portátil ALTA II. Os resultados mostraram que a amostra de cimento branco sem pigmentação foi a que apresentou maior refletância (45%) e menor temperatura superficial (72°C), mostrando que a adição de pigmentos para coloração de cimento pode ser prejudicial no que se refere à refletância e sua temperatura superficial.

Palavras-chave: refletância, temperatura superficial, espectrômetro portátil.

ABSTRACT

We describe here the results of a comparative study that investigates and compares the effects of the solar reflectance of materials used in the urban surfaces (pavements, facades, concrete slabs). In this study we used the following samples: gray and white cement with slightly different colors (yellow, blue, green, red, brown and black). The reflectance of the samples were measured with the portable spectrometer ALTA II. The results showed that white cement sample with no pigmentation presents the highest reflectance (45%) and lower superficial temperature (72 °C). The addition of pigments demonstrated significant differences in terms of reflectance and superficial temperature.

Keywords: reflectance, superficial temperature, portable spectrometer.

1. INTRODUÇÃO

Estudos indicam que diversos fatores influenciam na formação da ilha de calor, dentre eles destaca-se: redução do resfriamento, gerado pela diminuição da evaporação (causados pela diminuição das áreas verdes, impermeabilização do solo e transporte da água de chuva pela canalização), geração de calor através de processos industriais, trânsito, habitações; além das propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais de pavimentação, tendo como consequência o aumento da temperatura noturna (OKE, 2006). Este aumento da temperatura urbana agrava o consumo de energia para fins de resfriamento, aumenta o pico de demanda de eletricidade, intensifica problemas de poluição, aumenta a pegada urbana e causa desconforto humano e problemas de saúde (MIRZAEI e HAGHIGHAT, 2010).

Santamouris et al. (2011) afirmam que o uso de materiais frios, constitui uma técnica passiva, favorável ao meio ambiente e de custo acessível a ser utilizada em edificações no intuito de reduzir a demanda energética requerida para resfriamento de ambientes e que melhora as condições do microclima urbano através da diminuição da temperatura do ar e superficial. Ainda de acordo com os mesmos autores, os materiais frios são caracterizados pela alta refletância solar e alta emissividade no infravermelho. Por possuir alta capacidade de refletir a radiação solar incidente e ainda de reemitir para o entorno parte do calor anteriormente absorvido por sua superfície, revestimentos frios constituem uma alternativa eficaz para a minimização dos efeitos das ilhas de calor urbana. As superfícies brancas são tradicionalmente conhecidas pelo seu alto poder de reflexão (WERLE et al., 2014).

Estudos apontam que a diminuição da temperatura superficial dos materiais da envoltória da edificação auxilia na minimização dos efeitos das ilhas de calor. A refletância tem papel fundamental neste contexto de ganhos térmicos pela edificação, uma vez que ela representa a porção de radiação incidente que é refletida pela superfície do material (FERREIRA e PRADO, 2003; PRADO e FERREIRA, 2005). Sendo assim, um meio natural e eficaz de reduzir ganhos térmicos pela edificação, é fazer uso de materiais, principalmente na envoltória, que possam minimizar a absorção de energia pelo edifício, ou seja, de alta refletância e baixa absorptância (DORNELLES, 2008).

Entretanto, Bretz e Akbari (1997) mostraram em seus estudos que a refletância ou albedo dos telhados tende a diminuir com o envelhecimento do material, seu desgaste ou exposição ao tempo diminui a refletância dos materiais claros e aumenta a refletância dos materiais escuros. Os autores monitoraram os efeitos do envelhecimento em dez telhados na Califórnia, concluíram que a refletância dos materiais diminui aproximadamente 15% no primeiro ano de utilização.

Santamouris et al. (2011) relatam que as medições de albedo ou refletância dos materiais podem ser obtidas por meio de 3 métodos: medições pelo espectrofotômetro com esfera integradora, medições pelos espectrômetros portáteis e medições com piranômetros em superfícies de grandes áreas. Diversos estudos têm sido feitos com a utilização de espectrômetros portáteis devido ao baixo custo do equipamento e facilidade de medição in loco. Dornelles (2008) demonstrou a eficácia e boa precisão do equipamento em seu estudo que comparou medições em espectrofotômetro de esfera integradora e obtidas através do espectrômetro portátil ALTA II, onde obteve uma diferença de apenas 7% entre os resultados.

As concepções arquitetônicas da atualidade estão solicitando novas tecnologias, inclusive no que se refere ao uso do concreto e, de acordo com Piovesan (2009), o concreto cromático entra neste contexto trazendo novas idéias de criação e valorizando a estrutura da edificação. Além disso, a autora relata que um dos primeiros usos do concreto cromático no Brasil foi em pavimentos intertravados e, sendo a pavimentação um dos elementos que recebe grande radiação solar durante o dia, trabalhar cores que possuam maior refletância ou que o tornem um material frio pode auxiliar na diminuição da temperatura e, conseqüentemente, no consumo de energia elétrica.

2. OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo geral analisar a refletância e a temperatura superficial de amostras de argamassa confeccionadas com cimento branco e cinza, pigmentadas com diferentes tonalidades cromáticas (amarelo, azul, verde, vermelho, marrom e preto) e sem adição de pigmentos.








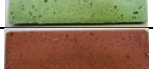
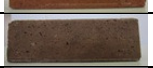
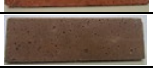


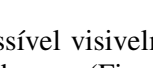
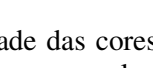
3. METODOLOGIA

3.1. Amostras de estudo

Para realização do estudo foram confeccionadas amostras retangulares de cimento branco e cinza, sem acabamento superficial, nas seguintes dimensões: 10 cm de largura, 20 cm de comprimento e 6,2 cm de

altura. Na mistura das amostras foi utilizado pó xadrez para a pigmentação. A proporção da mistura de cimento branco contemplou: 3,9kg de cimento, 11,7kg de areia e 1,8 litros de água; para a mistura de cimento cinza foi utilizado 3,9kg de cimento, 11,7kg de areia e 2 litros de água. Na composição das amostras foram utilizados 250 gramas de pó xadrez para a pigmentação em iguais proporções para os dois tipos de cimentos. Assim foram confeccionadas 14 amostras de cimento cinza e branco nas seguintes colorações: amarelo, verde, azul, preto, vermelho e marrom, sendo que para duas amostras, cimento branco e cinza, não foi adicionado pigmento. Na Tabela 1 estão relacionadas as amostras em questão.

Tabela 1 - Amostras confeccionadas para medição das refletâncias totais e absortâncias totais.

Tipo	Imagem	Pigmento	Tonalidade	Tipo	Imagem	Pigmento	Tonalidade
Cimento Cinza		Sem	Cinza	Cimento Branco		Sem	Bege
		Amarelo	Amarelo escuro			Amarelo	Amarelo mostarda
		Azul	Azul claro			Azul	Azul
		Verde	Verde Acinzentado			Verde	Verde Claro
		Vermelho	Vermelho escuro			Vermelho	Vermelho
		Marrom	Marrom Acinzentado			Marrom	Marrom Vivo
		Preto	Preto			Preto	Preto Vivo

É possível visivelmente notar a diferença da vivacidade das cores nos dois tipos de cimento: cinza (Figura 1a) e branco (Figura 1b), para a amostra de pó xadrez na cor azul, respectivamente.



Figura 1a - Cimento Cinza, cor Azul.



Figura 1b - Cimento Branco, cor Azul.

3.2. Coleta de dados

Cada uma das amostras foi submetida à coleta de dados de refletância, que foi realizada por meio do espectrômetro portátil ALTA II. Este equipamento mede a refletância em onze diferentes comprimentos de onda, sendo sete na região visível do espectro solar (470, 525, 560, 585, 600 e 645 nm) e quatro na região infravermelha (735, 810, 880 e 940 nm). O procedimento de medição consistiu em posicionar a amostra sob o orifício circular existente na parte posterior do equipamento, onde estão localizadas as onze lâmpadas correspondentes aos comprimentos de onda e apertar os botões do painel, que acionam as lâmpadas. Para aumentar a precisão das medidas, toda a coleta de dados de refletância foi realizada com a amostra dentro de uma câmara escura, de forma a evitar a interferência da radiação externa.

Antes da medição em cada amostra foi realizada uma medição para a amostra de referência, que já possui refletância espectral conhecida nos onze comprimentos de onda. Neste caso foram utilizadas cinco folhas de papel branco comum (Ripax, 75 g/m²) empilhadas. Para cada amostra foram realizadas três medições de comprimento de onda em três diferentes locais da mesma amostra, sendo feita a média destes valores, posteriormente. As refletâncias espectrais da amostra foram calculadas para cada comprimento de onda através da Equação 1 (Pereira et al., 2015).

Onde:

- = refletância da amostra para um determinado comprimento de onda λ [%];
- = voltagem da amostra medida no comprimento de onda λ [mV];
- = voltagem de fundo da amostra [mV];
- = voltagem da amostra de referência medida no comprimento de onda λ [mV];
- = voltagem de fundo da amostra de referência [mV];
- = refletância da amostra de referência (já conhecida), no comprimento λ [%]

Os valores de voltagem para cada amostra foram ajustados para o espectro solar padrão (ASTM G173, 2012) por meio da Equação 2 (ASTM E903, 2012):

Equação 2

Onde:

- = refletância solar [%];
- = refletância espectral no comprimento de onda;
- = comprimento de onda [nm];
- = irradiação solar global espectral [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$].

Após a obtenção dos dados de refletância relativos a cada amostra em estudo foi calculado o albedo envelhecido, considerando uma redução de 30% na refletância, conforme sugerido por Levinson et al. (2002) de acordo com a Equação 3.

Equação 3

Onde:

- ρ_{inicial} é a refletância inicial [%];
- $\rho_{\text{envelhecido}}$ é a refletância do material envelhecido [%];
- $c = 0,70$;
- $\rho_0 = 0,20$.

Para o cálculo da temperatura superficial dos blocos em estudo foi utilizado o método descrito pela norma americana ASTM E1980 (2011), o qual prevê o uso da Equação 4 para obtenção dos valores de temperatura superficial e que pode ser utilizado para superfícies com emissividade maiores que 0,01 e materiais com temperatura superficial menores que 150°C (423 K). Foi necessário nesta fase adotar um valor de emissividade para as amostras, sendo então utilizado o valor médio de referência (0,90) obtido da norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Equação 4

Onde:

- T_s : é a temperatura superficial de equilíbrio [K];
- α : é a absorptância solar = $1 - \text{refletância solar}$;
- ε é a emissividade térmica;
- hc : é o coeficiente de convectividade [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$].

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

São apresentados na Tabela 2 os valores obtidos e calculados de refletância solar inicial e envelhecida para cada amostra.

Tabela 2 -Refletância solar inicial e envelhecida para as amostras estudadas.

Tipo	Pigmento	ρ_i (%)	$\rho_{env.}$ (%)
CIMENTO BRANCO	Puro	45	38
	Amarelo	31	28
	Azul	31	28
	Verde	27	25
	Vermelho	19	19
	Marrom	12	14
	Preto	03	08
CIMENTO CINZA	Puro	31	28
	Amarelo	24	23
	Azul	28	26
	Verde	26	24
	Vermelho	14	16
	Marrom	10	13
	Preto	03	08

É possível confirmar, observando os dados da tabela 2, que o modelo proposto para o cálculo da refletância envelhecida considera uma diminuição inicial das amostras de cores claras (com refletância superior a 20%) e um aumento das amostras de cores escuras (com refletância inferior a 20%). Como a refletância está diretamente relacionada com a temperatura superficial da amostra, essa redução da refletância com o passar do tempo e sob ações de intempéries pode comprometer sua caracterização como material frio e sua capacidade de mitigação dos efeitos das ilhas de calor.

Os resultados expressos na Figura 2 revelam que a refletância dos blocos confeccionados com cimento cinza é sempre inferior à refletância dos blocos confeccionados com cimento branco. As amostras que apresentaram maior diferença de refletância foram as com pigmentação amarela (31% com cimento branco e 24% com cimento cinza), vermelha (19% com cimento branco e 14% com cimento cinza) e sem pigmentação (45% com cimento branco e 31% com cimento cinza). A amostra com pigmentação preta não apresentou diferença na refletância e as amostras que apresentaram menor diferença foram as com coloração verde (26% com cimento cinza e 27% com cimento branco), marrom (10% com cimento cinza e 12% com cimento branco) e azul (28% com cimento cinza e 31% com cimento branco).

De modo geral, os maiores valores de refletância observados para ambas as categorias (cimento cinza e cimento branco) se deu para a amostra sem pigmentação (puro). Isso indica que o uso de coloração pode ser prejudicial para o desempenho térmico do material e, conseqüentemente, ocasionar a diminuição da eficiência energética da edificação.

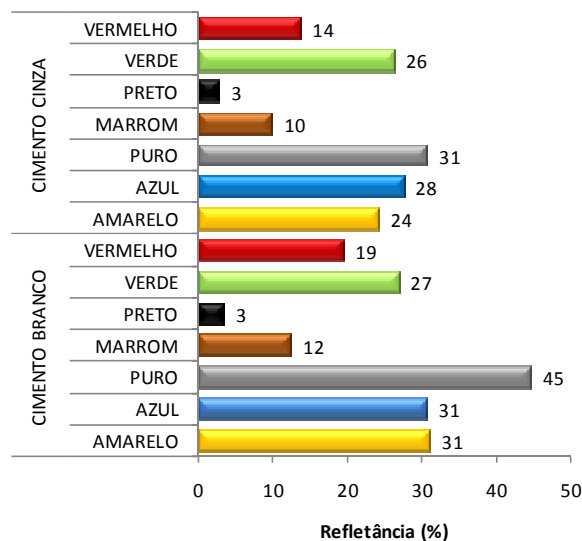


Figura 2 -Refletância das amostras estudadas.

As Figuras 3 e 4 mostram o comportamento da curva espectral de cada amostra no intervalo estudado (470 a 940 nm) e revela a existência de um pico de refletância comum a todas as curvas no comprimento de onda 645 nm. Além disso, é possível identificar uma semelhança no comportamento de algumas curvas. Entre curvas de amostras de mesma cor, porém confeccionadas com cimento diferente, nota-se que todas elas se comportam da mesma maneira; entre cores diferentes é possível notar que as amostras de pigmentação vermelha e marrom apresentaram comportamento semelhante, com crescimento da curva até 645 nm e tendendo a ser constante após este comprimento de onda. A curva de refletância da amostra de pigmentação preta apresenta comportamento constante em todo o intervalo medido. As curvas das amostras de pigmentação verde e azul apresentam comportamento variável, porém com crescimento acentuado a partir dos 735 nm. Já a curva da amostra de pigmentação amarela, por outro lado, apresenta crescimento acentuado até os 585 nm e em seguida tende a se estabilizar.

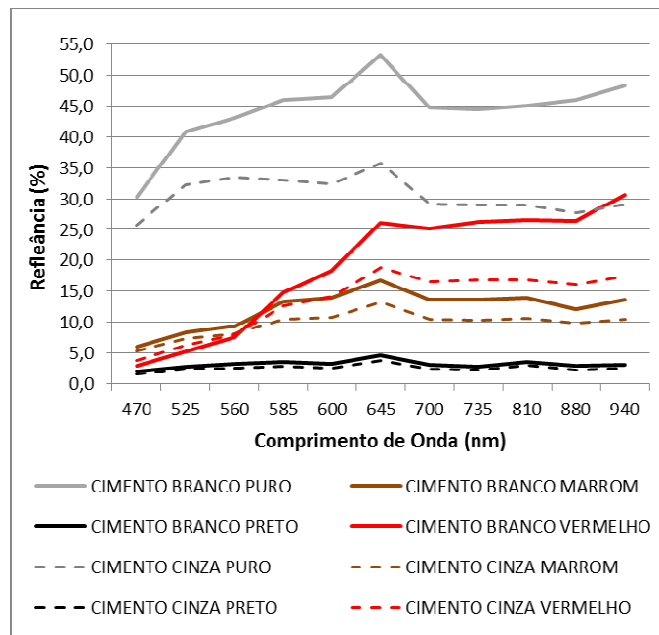


Figura 3 -Curva espectral das amostras escuras

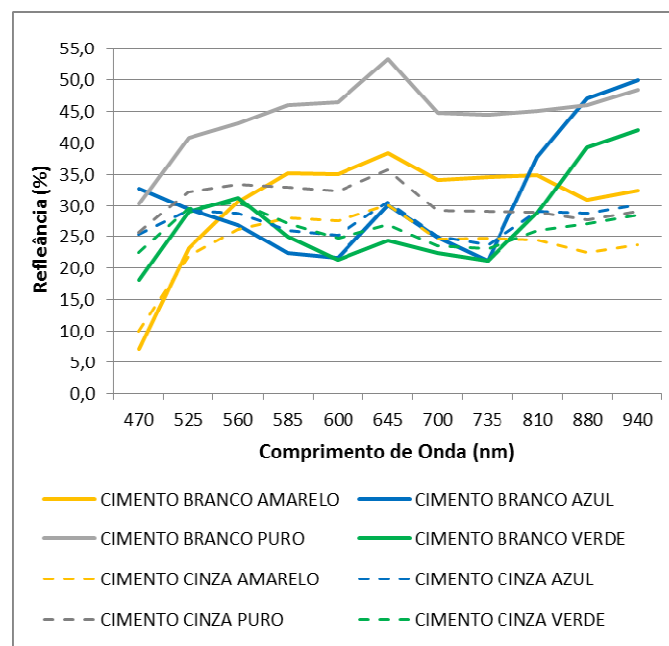


Figura 4 -Curva espectral das amostras claras

Na Tabela 3 são mostradas as temperaturas superficiais (T_s) calculadas para as amostras em estudo de acordo com o método previsto na norma americana ASTM E1980 (2011). Nota-se que a maior temperatura superficial se deu para a amostra de coloração preta, tanto para a que utilizou cimento branco quanto para a

que utilizou cimento cinza (99°C). Já a amostra com menor temperatura superficial foi a de cimento branco sem pigmentação (72°C). Materiais com maior refletância e, portanto, menores temperaturas superficiais, são mais eficazes na minimização dos efeitos das ilhas de calor. Sendo assim, dentro das amostras analisadas neste estudo, a de cimento branco sem pigmentação seria a mais adequada.

Tabela 3 - Temperatura superficial das amostras estudadas.

Tipo	Pigmento	α	ϵ	Ts (K)	Ts (°C)
CIMENTO BRANCO	Amarelo	0,69	0,90	354	81
	Azul	0,69	0,90	354	81
	Puro	0,55	0,90	345	72
	Marrom	0,88	0,90	366	93
	Preto	0,97	0,90	372	99
	Verde	0,73	0,90	357	83
	Vermelho	0,81	0,90	361	88
CIMENTO CINZA	Amarelo	0,76	0,90	358	85
	Azul	0,72	0,90	356	83
	Puro	0,69	0,90	354	81
	Marrom	0,90	0,90	368	94
	Preto	0,97	0,90	372	99
	Verde	0,74	0,90	357	84
	Vermelho	0,86	0,90	365	92

5. CONCLUSÕES

Diante do apresentado verifica-se que tanto para o bloco confeccionado com cimento cinza, quanto para o bloco confeccionado com cimento branco, a adição pigmento diminuiu a refletância da amostra. Isto indica que a pigmentação neste caso não contribui para melhorar a capacidade refletiva da amostra e proporciona temperaturas superficiais maiores do que sem a adição da mesma, fazendo com que contribuam para o aumento dos efeitos das ilhas de calor urbanas.

Em relação à refletância envelhecida, constatou-se através do modelo de cálculo utilizado que amostras com baixa refletância tendem a ter sua refletância elevada com o passar do tempo e a exposição a intempéries, e o oposto ocorre com as amostras de refletância elevada. A esse respeito é importante ressaltar que a manutenção das superfícies urbanas se faz necessária para que estas não percam sua capacidade de mitigação dos efeitos das ilhas de calor.

Conclui-se ainda que as amostras confeccionadas com cimento branco apresentaram refletância superior às de cimento cinza, indicando que o uso de cimento branco é mais indicado para a composição das superfícies urbanas.

Este estudo pode auxiliar a escolha de revestimentos urbanos mais apropriados para as superfícies urbanas e, conseqüentemente, contribuir para a mitigação da ilha de calor urbana e redução da temperatura superficial das superfícies urbanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **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.
- ASTM E1980. Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. **American Society for Testing and Materials**, 2011.
- ASTM G173. Standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tile surface. **American Society for Testing and Materials**, 2003.
- BRETZ, S., AKBARI, H., Long-term performance of high-albedo roof coatings. **Energy and Buildings**, v.25, n.2, p.159-67. 1997.
- DORNELLES, K.A. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex Acrílica e PVA**. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2008.
- FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. **Medição do albedo e análise da sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 351 - Série BT-PCC. São Paulo. 2003.
- LEVINSON, R.; AKBARI, H.; KONOPACKI, S. J.; BRETZ, S. Inclusion of cool roofs in nonresidential title 24: prescriptive requirements. **Report LBNL-50451**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2002.
- MIRZAEI, P. A., HAGHIGHAT, F. Approaches to study Urban Heat Island - Abilities and limitations. **Building and Environment**, 45: 2192-2201. 2010.
- OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**, vol. 84, p. 179–190. 2006.

- PEREIRA, C. D., MARINOSKI, D. L., LAMBERTS, R., GÜTHS, S., GHISI, E. Relatório de Avaliação do espectrômetro portátil ALTA II. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis, 2005.
- PIOVESAN, A. Z. **Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco**. 2009. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- PRADO R. T. A., FERREIRA F., L. Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials. **Energy and Buildings**,v. 37, p. 295-300, 2005.
- SANTAMOURIS M., SYNNEFA A., KARLESSI T., Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, In Press, Corrected Proof, Jan 2011.
- SANTOS E.I., MARINOSKI D. L., LAMBERTS. Influência do ambiente de medição sobre a verificação da absorvância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil. IN: X: ENCONTRO NACIONAL e VI ENCONTRO LATINO AMERICANO D CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, **Anais...** Natal, RN. 2009.
- WERLE, A. P.; LOH, K.; JOHN, V. M. Pintura à base de cal como alternativa de revestimento frio. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 149-157, jul. /set. 2014.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a FAPIC/Reitoria PUC Campinas pelo financiamento desta Pesquisa através de uma bolsa de Iniciação Científica.