

Comparação do desempenho térmico de revestimentos brancos

PEREIRA, Cláudia Donald¹
GHISI, EneDIR
GÜTHS, Saulo

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. claudia@labeee.ufsc.br

Resumo

A melhoria do desempenho térmico das edificações é uma tendência provocada especialmente pela necessidade de redução do consumo energético. As propriedades radiantes dos materiais de revestimento da envoltória determinam sua temperatura superficial, afetando diretamente o desempenho térmico. Os revestimentos brancos são apontados como alternativa para solucionar o problema da alta demanda por resfriamento nas edificações em cidades de clima quente, além de minimizar o efeito de ilha de calor nos centros urbanos. Esta pesquisa analisou três revestimentos brancos indicados para uso externo em edificações, comparando suas refletâncias, emitâncias e temperaturas superficiais. Os resultados indicaram que mesmo revestimentos de mesma cor aparente podem apresentar diferentes valores de refletância solar, resultando em diferentes temperaturas superficiais. Os revestimentos brancos apresentaram diferenças de até 10% em suas refletâncias solares. No dia de maior temperatura, a diferença entre as temperaturas superficiais das amostras brancas chegou a 8°C. O uso de materiais com alta refletância na parcela do infravermelho-próximo do espectro solar demonstrou ser uma estratégia eficiente para melhorar o desempenho térmico.

Palavras-Chave: refletância, desempenho térmico, revestimentos frios.

Abstract

Improving the thermal performance of buildings is a trend mainly caused by the need to reduce energy consumption. The radiative properties of the envelope's coating determine its surface temperature, which directly affects the thermal performance. White coats are seen as an alternative to solve the problem of high cooling demand for buildings in cities with warm climate and minimize the urban heat island effect. This research analyses three white coats suitable for outdoor use in buildings, comparing their reflectance, emittance and surface temperatures. The results indicate that even coatings that seem to have the same colour may have different solar reflectance, resulting in different surface temperatures. The white coats showed differences of up to 10% on their solar reflectance. On the highest temperature day, the differences between the surface temperatures of white samples reached 8°C. The use of materials with high reflectance in the near-infrared has proven to be an effective strategy to improve the thermal performance.

Keywords: reflectance, thermal performance, cool coatings.

1. Introdução

As edificações são responsáveis por cerca de 21% do consumo de energia total fornecida em todo o mundo (EIA, 2011). No Brasil, as edificações (residenciais, comerciais e públicas) são responsáveis por 47% do consumo de energia elétrica (EPE, 2010). Essa energia é destinada prioritariamente a dois usos finais: iluminação e condicionamento artificial de ar. Tal cenário aponta a necessidade de investimentos voltados à maximização do desempenho térmico e redução do consumo de energia nas edificações.

Diversas pesquisas em todo o mundo têm identificado a influência das propriedades das superfícies dos materiais de revestimento nas cargas térmicas das edificações. Os materiais que constituem o envoltório do edifício são determinantes do clima interno da edificação e afetam a demanda por condicionamento artificial (MANIOGLU; YILMAZ, 2006). Grande parte das pesquisas a respeito de materiais de revestimento para a construção civil baseia-se na busca por materiais que proporcionem a redução da carga térmica da edificação, minimizando o desconforto por calor dos usuários e/ou reduzindo o consumo energético para resfriamento. Para selecionar materiais que possam contribuir com o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações é preciso conhecer suas propriedades radiantes, responsáveis pelo comportamento da radiação com relação às superfícies.

A refletância e absorvância solar e a emitância térmica controlam o ganho de calor por radiação e as perdas de calor por emissão. Dessa forma, pode-se afirmar que tais propriedades são as principais responsáveis pela temperatura superficial dos materiais. As pesquisas voltadas para o estudo dessas propriedades apontam o uso de materiais de alta refletância e emitância como estratégia para redução do ganho de calor para edificações em climas quentes.

É o caso do estudo de Synnefa et al. (2006), que compararam o desempenho de diferentes materiais refletivos. Os pesquisadores realizaram medições de temperatura superficial em amostras de revestimentos brancos e prateados, disponíveis comercialmente para uso em edificações e no meio urbano. Foram realizadas medições de temperatura superficial, emitância e refletância das amostras. Os pesquisadores concluíram que, no período diurno, a temperatura superficial das amostras era influenciada principalmente por sua refletância solar. Por isso, durante o dia, as amostras brancas (maior refletância) apresentaram menor temperatura superficial que as amostras prateadas. Já no período noturno, quando não há radiação solar, a emitância se tornava o fator predominante no desempenho térmico das amostras. Sendo assim, à noite, a amostra de maior emitância

(que era também branca) tinha a menor temperatura superficial. A amostra que mantinha maiores temperaturas à noite era prateada, que apresentava a menor emitância. Disto concluiu-se que, quanto maiores os valores de refletância solar e emitância, mais frio o revestimento se mantém.

A partir de estudos com resultados como o de Synnefa et al. (2006), os pesquisadores passaram a chamar de materiais/revestimentos frios àqueles que apresentam refletância solar e emitância elevadas. Isso inclui, por exemplo, grande parte das tintas claras, especialmente as brancas. Tais materiais refletem grande parte da energia solar incidente e irradiam grande parte do calor absorvido, não aumentando consideravelmente sua temperatura superficial. São vários os estudos que vem utilizando a terminologia “frios” para designar materiais com refletância solar e emitância elevadas (SYNNEFA et al., 2007a; 2007b; 2011; HALEWOOD; WILDE, 2008; DORNELLES et al., 2010; UEMOTO et al, 2010; ROMEO; ZINZI, 2011; SADINENI et al., 2011; BOZONNET et al., 2011).

A maior parte dos materiais frios disponíveis comercialmente é branca e o mercado têm disponibilizado diversas opções de tintas brancas que, apesar de semelhantes na aparência, podem ter diferenças nas propriedades radiantes. A cor do material está diretamente relacionada à reflexão na parcela visível do espectro solar, por isso todas as tintas brancas apresentam elevados valores de refletância no visível. Porém, a refletância solar de um material depende não só da parcela visível, mas também da ultravioleta e do infravermelho-próximo (parcelas invisíveis). Sendo assim, é possível que um material tenha reflexão mais alta na parte do infravermelho-próximo do espectro, resultando em um valor ainda mais elevado de refletância solar total. Tais materiais são aditivados, em sua composição, de pigmentos especiais caracterizados por apresentarem alta refletância na parcela do infravermelho-próximo (NIR) do espectro solar. Com a adição de pigmentos especiais, a refletância espectral de um revestimento pode ser controlada de forma a elevar sua refletância na parcela do infravermelho-próximo, mantendo a cor original do revestimento (GONOME et al., 2013).

Os revestimentos frios, definidos por apresentarem altos valores de refletância solar e emitância térmica, tendem a apresentar temperaturas superficiais mais baixas (SYNNEFA et al., 2006). Com isso, edificações que utilizam tais materiais, permaneceriam menos aquecidas. No caso de edificações com condicionamento artificial, elas necessitariam de menor consumo energético para serem resfriadas.

Além dessas vantagens para o edifício, os revestimentos frios também trariam contribuições para o espaço urbano. As superfícies dos materiais

construtivos, combinadas com outras fontes térmicas, são responsáveis por uma mudança no balanço de energia das áreas urbanizadas. Graças a isso, a temperatura nas cidades alcança valores significativamente mais altos do que nas áreas rurais contíguas. Esse fenômeno é conhecido como ilha de calor, e resulta no aumento do desconforto das pessoas nas áreas urbanas, especialmente durante o verão. Bretz et al. (1998) afirmam que a escolha dos materiais de revestimento das edificações pode promover ao homem e ao meio ambiente os benefícios da diminuição da temperatura do ar nas áreas urbanas e redução da demanda de energia para condicionamento de ar.

2. Objetivo

O objetivo deste artigo é analisar comparativamente o desempenho térmico de revestimentos brancos com diferentes propriedades radiantes.

3. Método

O método proposto para esta pesquisa consiste em uma análise experimental, onde serão medidas e analisadas amostras de revestimentos brancos com diferentes propriedades radiantes. Com esta análise pretende-se caracterizar os materiais através de sua refletância e emitância e analisar a temperatura superficial das amostras quando expostas a condições atmosféricas naturais.

3.1. Produção das amostras

Foram escolhidos três revestimentos brancos para realização deste estudo, e também uma tinta preta para servir como parâmetro comparativo. Foram analisados os seguintes revestimentos:

- a. **Tinta branca comum:** tinta acrílica acabamento fosco, indicada para uso externo ou interno;
- b. **Tinta branca especial:** tinta acrílica de alta refletância no infravermelho, indicada para uso externo ou interno;
- c. **Revestimento branco impermeabilizante para coberturas,** indicado para uso externo.
- d. **Tinta preta comum:** tinta acrílica acabamento fosco, indicada para uso externo ou interno.

Para todos os materiais foram confeccionadas quatro amostras, sendo duas em chapas de alumínio de 10 cm x 10 cm (amostras pequenas) e duas em chapas de 30 cm x 30 cm (amostras grandes), mostradas nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Foram produzidas

duas amostras de cada tipo (cada material e tamanho) para garantir que um eventual problema em alguma amostra não prejudicasse os resultados. Todas as tintas foram aplicadas nas chapas de alumínio, com três demãos, utilizando spray (pulverizador), a fim de obter uma pintura homogênea e com o mínimo de rugosidade. Apenas no caso do revestimento impermeabilizante não foi possível utilizar o spray, e a sua aplicação ocorreu com uso de rolo de espuma, com três demãos.

As oito amostras pequenas foram utilizadas em medições de propriedades radiantes. A refletância e a emitância inicial dessas amostras foram medidas, utilizando os equipamentos descritos na seção 3.2. As oito amostras grandes foram utilizadas para medições de temperatura superficial, monitoradas durante o mês de novembro de 2012. As amostras grandes foram posicionadas sobre uma plataforma horizontal com isolamento térmico (poliestireno expandido de 10 cm de espessura) na face inferior. A plataforma foi instalada na cobertura de um dos prédios do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (Figura 3). Neste local, todas as amostras ficaram expostas ao sol e às intempéries.

Figura 1: Amostras pequenas



Figura 2: Amostras grandes

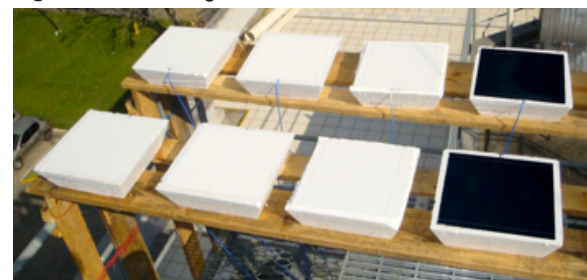


Figura 3: Plataforma posicionada na cobertura de prédio da UFSC.



3.2. Variáveis analisadas e equipamentos de medição

Os dados analisados nos experimentos, e os equipamentos utilizados para obtenção destes, são descritos a seguir.

3.2.1. Dados climáticos

Os dados climáticos foram obtidos através de duas estações meteorológicas instaladas na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram obtidos na estação meteorológica do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, localizada a aproximadamente 350 metros do local de monitoramento das amostras. Os dados de radiação solar global, radiação solar direta e radiação solar difusa foram obtidos utilizando piranômetros do Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia (LEPTEN), do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, instalados no mesmo local das amostras.

3.2.2. Temperatura superficial

Para medição da temperatura superficial das amostras foram utilizados termopares do tipo T, soldados no centro de cada amostra grande. Os dados foram adquiridos com auxílio de um multímetro da marca Agilent modelo 34970a, ligado a um computador onde os dados foram registrados em intervalos de um minuto

3.2.3. Refletância

A refletância espectral das amostras foi medida através do Espectrofotômetro Lambda 750, que pertence ao Laboratório de Filmes Finos e Superfícies, do Departamento de Física da UFSC. O Espectrofotômetro Lambda 750 tem como fontes de radiação eletromagnética lâmpadas de deutério e de tungstênio, que emitem feixes de luz em comprimentos de onda de 200 a 2500 nm. O feixe de luz incide sobre a amostra e é por ela refletido. Com auxílio de uma esfera integradora de 60 mm, é medida a intensidade do feixe refletido pela amostra.

As medições de refletância foram realizadas nos comprimentos de 280 a 2500 nm, adquirindo os dados a cada 1 nm. Com os dados de refletância espectral, obtidos pela medição, foi calculada para cada amostra a refletância solar (280 a 2500 nm) e também as refletâncias para as regiões do ultravioleta (280 a 380 nm), visível (381 a 760 nm) e infravermelho (761 a 2500 nm). Esses cálculos foram feitos considerando a intensidade da radiação solar para cada comprimento

de onda, obtida no espectro solar padrão da norma ASTM G173-03 (ASTM, 2012).

Tal procedimento é necessário, pois, conforme detalhado por Dorneles (2008), os dados de refletância obtidos pelo espectrofotômetro caracterizam o comportamento óptico das amostras quando expostas a uma energia constante ao longo de todo o espectro medido. Porém, a intensidade da radiação solar não é constante no espectro. Dessa forma, para se obter a refletância solar das superfícies, os valores de refletância espectral obtidos para cada amostra devem ser corrigidos de acordo com a intensidade da radiação solar para cada comprimento de onda, a partir do espectro solar padrão adotado. O procedimento adotado para ajuste da refletância das amostras ao espectro solar padrão foi baseado nos cálculos descritos por Santos et al. (2009).

3.2.4. Emitância

Para verificar a emitância das amostras foi utilizado o Emissômetro Portátil da marca AZ Technology, modelo TEMP 2000A. A emitância é obtida com esse Emissômetro por comparação direta entre a amostra a ser medida e uma amostra padrão de emitância conhecida (fornecida juntamente com o equipamento). O equipamento foi concebido para fazer uma leitura de tensão de saída que é linear com o valor da emitância. A emitância conhecida da amostra padrão é utilizada para calibrar a leitura do equipamento. Dessa forma, quando a amostra desconhecida é medida com o Emissômetro, a leitura mostrada no visor do equipamento é numericamente igual à sua emitância.

4. Análise de resultados

4.1. Propriedades radiantes das superfícies

As oito amostras pequenas foram submetidas à medição da refletância e da emitância de suas superfícies pintadas. Os resultados das medições são apresentados na Figura 4 e na Tabela 1.

Observando os gráficos verifica-se que para cada material, as duas amostras obtiveram resultados muito semelhantes de refletância espectral. Os valores calculados de refletância solar indicam resultados quase iguais para as duas amostras de mesmo material. Em nenhum dos materiais a diferença das duas amostras superou 1%. Essas pequenas diferenças podem ser justificadas por eventuais variações na espessura das demãos da tinta aplicada (apesar do cuidado adotado durante a pintura das amostras) e também por imprecisões no procedimento de medição.

Comparando os resultados é possível verificar que as tintas brancas comum e especial apresentaram valor muito similar de refletância nas faixas do ultravioleta e do visível. Porém, as amostras de branco especial possuem maior refletância na faixa do infravermelho-próximo (confirmando a informação apresentada pelo fabricante): aproximadamente 87% para o branco comum e 93% para o branco especial. Com isso, as amostras de branco especial obtiveram refletância solar mais elevada que as amostras de branco comum: 90% e 87%, respectivamente. No caso das amostras de branco comum, a refletância espectral é elevada na parcela visível e vai decaindo ao longo de todo o infravermelho-próximo. Já no caso das amostras de branco especial a refletância mantém-se elevada na parcela visível e também em grande parte do infravermelho-próximo, decaindo apenas em sua parcela final. No caso do revestimento branco impermeabilizante, o comportamento da curva espectral é similar ao verificado no branco comum, porém com valores inferiores.

Quanto à emitância, todas as amostras apresentaram resultados muito similares. As diferenças da emitância entre os tipos de material são muito pequenas. Pode-se considerar que todos os materiais analisados tem alta emitância.

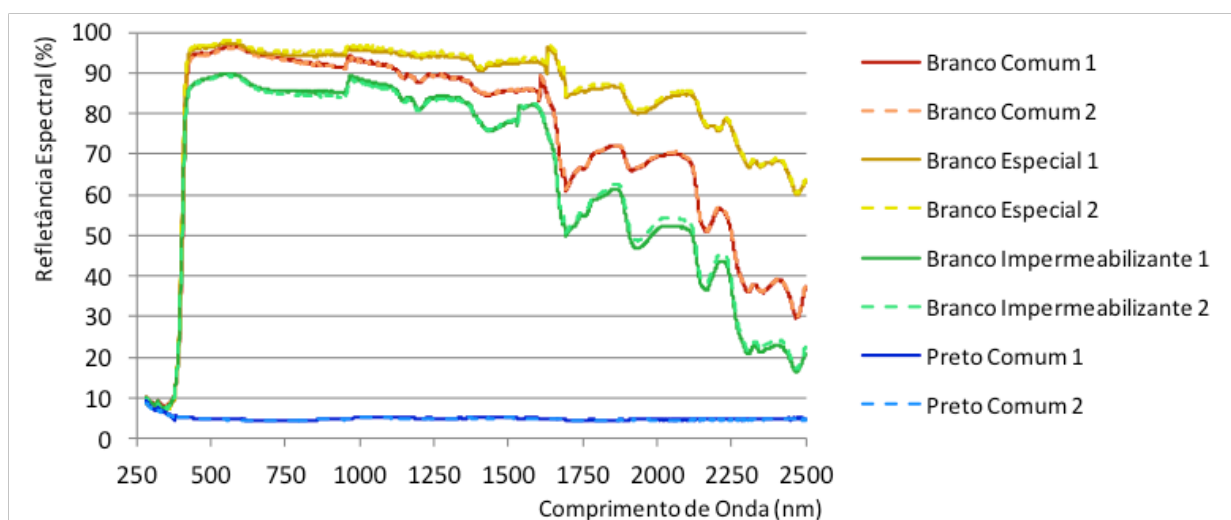
4.2. Temperaturas superficiais

As oito amostras grandes tiveram sua temperatura superficial monitorada ao longo de um mês. A Figura 5 mostra as temperaturas superficiais médias, máximas e mínimas alcançadas pelas amostras monitoradas no mês de novembro de 2012. Verifica-se que, conforme já era esperado, todas as amostras brancas apresentaram temperaturas superficiais muito abaixo das amostras pretas. Os valores mínimos de temperatura superficial são praticamente iguais para todas as amostras analisadas, pois tais temperaturas ocorreram no período noturno, quando não há radiação solar incidente. Os valores médios de temperatura superficial são muito semelhantes para

Tabela1: Propriedades radiantes das amostras.

Amostra	Ultravioleta	Visível	Infravermelho-próximo	Refletância Solar (%)	Emitância térmica
Branco comum 1	8,91	92,05	87,01	87,03	0,88
Branco comum 2	8,95	91,74	86,97	86,85	0,88
Branco especial 1	8,16	93,25	92,81	90,23	0,89
Branco especial 2	8,06	93,83	93,58	90,87	0,89
Branco impermeabilizante 1	8,67	85,27	79,91	80,33	0,89
Branco impermeabilizante 2	8,53	84,90	79,51	79,95	0,89
Preto comum 1	6,02	4,70	4,83	4,80	0,90
Preto comum 2	5,92	4,61	4,74	4,71	0,90

Figura 4: Refletância espectral das amostras.



todas as amostras brancas, porém há diferenciações relevantes nos valores máximos. A temperatura máxima superficial das amostras de tinta branco especial foi cerca de 8°C inferior à máxima das amostras de branco impermeabilizante, e aproximadamente 4°C inferior à máxima das amostras de branco comum.

As temperaturas superficiais máximas de todas as amostras ocorreram no dia 11/11/2012. Este foi um dia parcialmente nublado, mas com temperatura e radiação solar elevada (Figura 6). As Figuras 7 e 8 mostram de forma detalhada as temperaturas superficiais das amostras neste dia de temperatura máxima. Verifica-se que as maiores temperaturas superficiais ocorrem para as amostras de menor refletância solar, e as menores temperaturas superficiais ocorrem para as amostras de maior refletância solar. Tais dados demonstram que mesmo tintas brancas, com cor aparente muito similar, podem apresentar diferente desempenho térmico. Os

revestimentos com alta refletância na parcela do infravermelho-próximo podem proporcionar menores temperaturas superficiais para a envoltória de edificações, contribuindo para a melhoria de seu desempenho térmico e ainda para a minimização do efeito de ilha de calor.

5. Conclusões

As propriedades térmicas dos materiais de construção se tornaram objeto de intenso estudo devido, entre outros fatores, ao crescimento da demanda por edificações mais eficientes energeticamente e, conseqüentemente, com melhor desempenho térmico. As propriedades radiantes das superfícies são responsáveis pelo comportamento da radiação ao incidir sobre as superfícies, sendo determinantes na temperatura superficial dos materiais. A refletância solar é a propriedade radiante mais estudada, tanto no Brasil quanto em outros países. Diversos

Figura 5: Média, máxima e mínima das temperaturas superficiais das amostras monitoradas e temperatura do ar, referente ao mês de novembro de 2012.

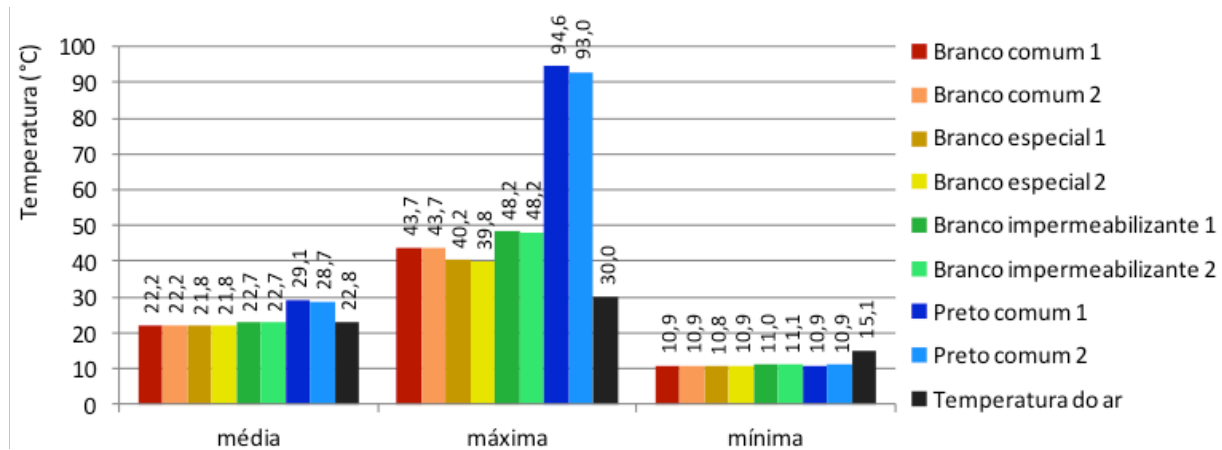
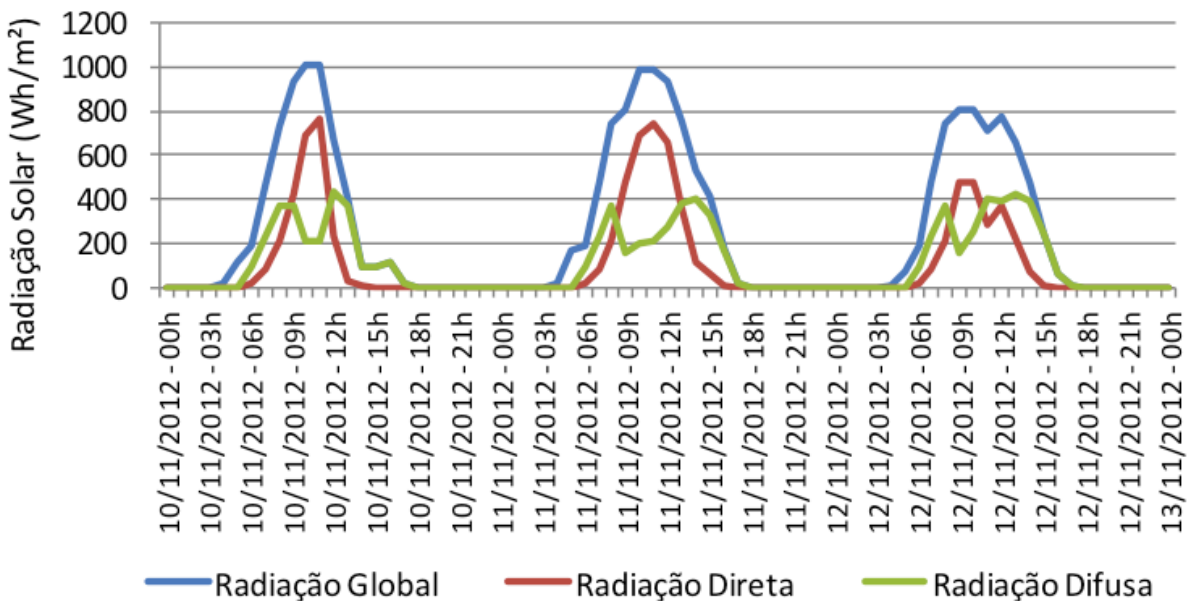


Figura 6: Radiação solar global obtida nos piranômetros do Lepten.



pesquisadores já comprovaram que o uso de revestimentos externos de alta refletância favorece o desempenho térmico de edificações em regiões com clima quente.

Os estudos a respeito de materiais frios demonstram que esse termo trata de qualquer material de revestimento com alta refletância solar e emitância térmica. Demonstram ainda que esse conceito não está bem consolidado, pois não há uma delimitação de valores mínimos de refletância e emitância para que determinado revestimento possa ser chamado de “frio”. O uso de materiais frios é indicado prioritariamente para regiões de clima predominantemente quente (com maior necessidade de resfriamento), pois pode gerar uma maior necessidade de aquecimento nos locais de clima com estação fria.

Com os resultados obtidos nesta pesquisa pode-se concluir que revestimentos de mesma cor podem apresentar diferente desempenho térmico quando expostos à radiação solar, pois tal desempenho está diretamente relacionado à refletância solar da superfície, e não apenas à refletância no visível. Uma forma de tornar ainda melhor o desempenho térmico de revestimentos brancos é aditivar em sua composição pigmentos especiais com alta refletância na parcela do infravermelho-próximo do espectro solar.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos financeiros aplicados no financiamento da pesquisa.

Figura 7: Temperatura superficial das amostras monitoradas e temperatura do ar.

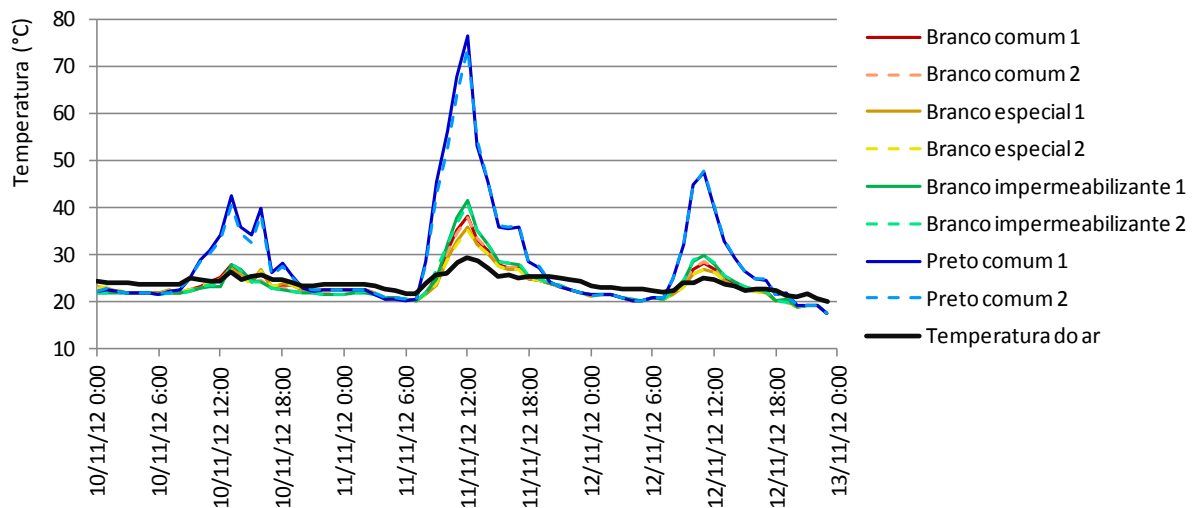
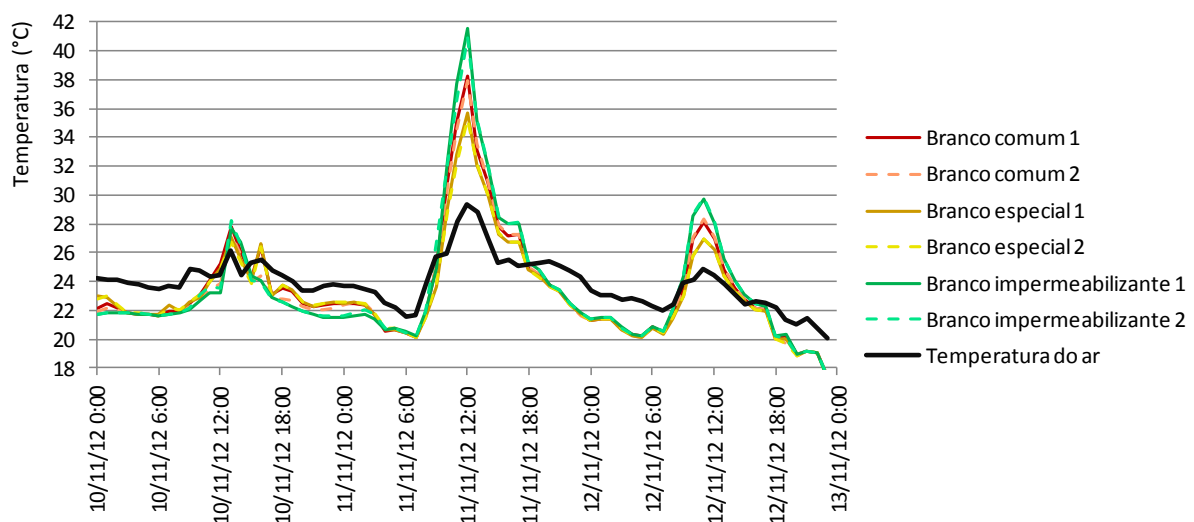


Figura 8: Temperatura superficial das amostras brancas e temperatura do ar.



7. Referências

- BOZONNET, E.; DOYA, M.; ALLARD, F.** Cool roofs impact on building thermal response: A French case study. *Energy and Buildings*, v.43, n.11, p.3006–3012, 2011.
- BRETZ, S.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A.** Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands. *Atmospheric Environment*, v.32, n.1, p. 95-101, 1998.
- 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.
- DORNELLES, K. A.; CARAM, R. M.; RORIZ, M.; RORIZ, V.** Thermal performance of cool paints produced in Brazil for roof paint and their effect on buildings designed for hot climates. In: III PALENC, 2010, Rhodes Island, Grécia. *Proceedings...* Rhodes Island: PALENC, 2010.
- EIA – U.S. Energy Information Administration. *International Energy Outlook 2011*. Disponível em: <<http://www.eia.gov/forecasts/ieo/world.cfm>>. Acesso em: 05 mar. 2012.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). *Balanco Energético Nacional 2010: Ano base 2009*. Rio de Janeiro: EPE, 2010.
- GONOME, H.; BANESHI, M.; OKAJIMA, J.; KOMIYA, A.; MARUYAMA, S.** Controlling the radiative properties of cool black-color coatings pigmented with CuO submicron particles. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, article in press, 2013.
- HALEWOOD, J.; WILDE, P.** Simulation-based assessment of the prospects of cool paints in the built environment in the UK. In: XXV Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2008, Dublin. *Anais...* Dublin: PLEA, 2008. Paper n. 125.
- MANIOGLU, G.; YILMAZ, Z.** Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort. *Energy and Buildings*, v.38, n.3, p. 266-272, 2006.
- ROMEO, C.; ZINZI, M.** Impact of a cool roof application on the energy and comfort performance in an existing non-residential building – A Sicilian case study. *Energy and Buildings*, article in press, 2011.
- SADINENI, S. B.; MADALA, S.; BOEHM, R. F.** Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.15, n.8, p. 3617–3631, 2011.
- SANTOS, E. I.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.** Influência do ambiente de medição sobre a verificação da absortância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal. *Anais...* Natal: ANTAC, 2009.
- SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I.** A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*, v.80, n.8, p. 968-981, 2006.
- SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; APOSTOLAKIS, K.** On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. *Solar Energy*, v.81, n.4, p.488–497, 2007a.
- SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H.** Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, v.39, n.11, p. 1167-1174, 2007b.
- SYNNEFA, A.; KARLESSI, T.; GAITANI, N.; SANTAMOURIS, M.; ASSIMAKOPOULOS, D. N.; PAPAKATSIKAS, C.** Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate. *Building and Environment*, v.46, n.1, p.38-44, 2011.
- UEMOTO, K. L.; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M.** Estimating thermal performance of cool colored paints. *Energy and Buildings*, v.42, n.1, p.17-22, 2010.