XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NA ABSORTÂNCIA DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Luiz Fernando Kowalski (1); Maria Eugênia Fernandes (2); Érico Masiero (3)
(1) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, fernando.kowalski@ucb.org.br
(2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, fernandes.me88@gmail.com
(3) Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Civil, erico@ufscar.br
Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Conforto, Rod. Washington Luiz, s/n, São Carlos - SP, 13565-905, Brasil, Tel:.+55 (16) 3351-8263

RESUMO
As superfícies pavimentadas têm sido uma das causas da alteração do microclima das cidades e na formação de ilhas de calor urbana (ICU). Por isso, o entendimento dos mecanismos de resfriamento e o estudo das propriedades térmicas dos pavimentos frios são fatores importantes no estudo de mitigação de ICU. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é apresentar as variações da refletância espectral e refletância solar em função da coloração e do teor de umidade de três tipos de blocos de pavimentos de concreto intertravados. Para a execução deste estudo, foi empregado o espectrômetro portátil Alta II, seguindo as recomendações normativas da ASTM C1549-16 para a obtenção da refletância solar das amostras de três colorações de pavimentos intertravados de concreto, no estado seco e saturado. Os resultados demonstram que o pavimento cinza no estado seco sofre um aumento de aproximadamente 13%, quando comparado à refletância solar na condição saturada e o pavimento vermelho sofre uma variação de aproximadamente 4% entre os mesmos estados. Esse fato é justificado pela mudança na coloração quando a amostra está saturada. A amostra cinza é a superfície que apresenta a maior variação de absortância devido a alteração da tonalidade entre a condição seca e saturada. Além disso, vale ressaltar que o pavimento cinza apresenta maior refletância do que o pavimento vermelho no estado seco. Entretanto, na condição saturada a refletância espectral na faixa do infravermelho do pavimento vermelho é superior ao pavimento de coloração cinza. Por fim, este trabalho contribui no refinamento dos valores tabelados de albedo para pavimentos de concreto, que constitui uma das propriedades que fazem do pavimento frio uma estratégia de mitigação das ICU.
Palavras-chave: ilhas de calor urbano, pavimento, refletância.

ABSTRACT
Paved surfaces have been one of the causes of cities microclimate change and the urban heat islands (ICU) formation. Therefore, the understanding of cooling mechanisms and the study of thermal properties of cold pavements are important factors in the ICU mitigation study. So, this paper aims to present the variations of the spectral reflectance and solar reflectance in function of the colour and moisture content of three concrete pavements. For the execution of this study, a portable Alta II spectrometer was used, following the normative recommendations of ASTM C1549-16. The method was applied to obtain the solar reflectance of three interlocking concrete pavements samples in the dry and saturated state. The results show that the gray pavement in dry state increases in average 13%, when compared to the solar reflectance in the saturated condition; and the red pavement suffers a variation of approximately 4% between the same states. This fact is justified by the change in coloration when the sample is saturated. The gray sample between the dry and saturated condition is the surface that presents the highest variation of the hue, which would increase its absortance. In addition, it is worth mentioning that the gray pavement has higher reflectance than the red pavement in the dry state. However, in the saturated condition the spectral reflectance in the infrared range of the red pavement is superior to the gray colored pavement. Finally, this work contributes to the refinement of the albedo values, which is one of the properties that make the cold pavement a mitigation strategy for ICUs.
Keywords: urban heat island, pavement, reflectance.

1. INTRODUÇÃO

O microclima das cidades tem sofrido alterações devido a processos associados à urbanização, como o crescimento demográfico, e atividades antropogênicas. Além disso, alteração da cobertura do solo através da utilização de materiais que promovem a absorção de energia bem como a impermeabilização da superfície (COX, 2006).

As ilhas de calor urbana (ICU) têm sido objeto de pesquisas desde que foi descrita por Luke Howard pela primeira vez na cidade de Londres. Pelo fato de sua intensidade variar de forma sazonal e também de acordo com o período do dia, é considerada um processo complexo de ser compreendido. (ERELL, PEARLMUTTER, WILLIAMSON, 2010)

Segundo Golden et al. (2006), por definição o fenômeno de ICU se refere ao aumento da temperatura urbana de determinada área, comparada à temperatura das áreas suburbanas. A modificação da superfície urbana é a principal causa da formação de ICU. A substituição de áreas vegetadas por materiais artificiais, caracterizados pela baixa permeabilidade, alta absorção de radiação solar e propriedades térmicas favoráveis ao acúmulo de energia e irradiação de calor (ROMEO, ZINZI, 2013).

Segundo Gartland (2008), os pavimentos urbanos correspondem a aproximadamente 20% da superfície pavimentada. Por isso, Li (2016) reforça que o entendimento dos mecanismos de resfriamento e o estudo das propriedades térmicas dos pavimentos frios são fatores importantes na mitigação de ICU.

Segundo Santamouris e Kolokotsa (2016), pavimentos frios são materiais desenvolvidos para apresentar baixas temperaturas de superfície e mitigar as ICU. Segundo Li (2016), o entendimento dos mecanismos de resfriamento e o estudo das propriedades térmicas dos pavimentos frios são fatores importantes no estudo de mitigação de ilhas de calor urbana. O aumento da taxa evaporativa e da convecção entre pavimento e ar são alguns exemplos desse mecanismo para a diminuição da temperatura superficial.

Denomina-se albedo a refletância de uma superfície em relação a toda faixa espectral de radiação de onda curta (OKE, 1978). Em outras palavras, Gonzalez (2015) define o albedo como sendo o índice de espalhamento (reflexão difusa) da radiação de onda curta (OC). Para materiais opacos, o albedo é o inverso da absortância.

Segundo o Natural Stone Council (2009) *apud* Carpio, et al (2014, p.154), "o albedo de um material é influenciado, inicialmente, pelos seguintes fatores: composição, textura da superfície e orientação da radiação solar". O desgaste da superfície e o envelhecimento podem influenciar ao longo dos anos na alteração do albedo.

Nesse sentido, é crescente também a discussão sobre a aplicação do pavimento frio como um dos instrumentos para mitigação das ICU. Li e Harvey (2013) afirmam que o aumento do albedo da superfície pode reduzir significativamente a temperatura ao longo do dia nas estações quentes. Ferreira e Prado (2003) menciona que o albedo ou refletância da superfície é o termo aplicado à refletância total de determinado sistema, considerando a razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente, ambos integrados sobre todo o espectro solar.

Além disso, cores claras geralmente apresentam grande refletância na região visível e também tendem a ter grande refletância na região do espectro na faixa do infravermelho. No entanto, uma alta refletância na região visível não implica num alto albedo, já que o desempenho do albedo está diretamente relacionado com a refletância do material na região do infravermelho, a qual corresponde à aproximadamente 43% da radiação solar que atinge a superfície terrestre (PRADO, FERREIRA, 2005).

Por fim, esta pesquisa se justifica, pois, a redução da refletância da superfície pavimentada é uma das estratégias de mitigação de ilhas de calor urbana, e a alteração do pigmento das vias urbanas, bem como o entendimento do comportamento desse material em diferentes cenários deve auxiliar no entendimento e redução desse fenômeno.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar as variações da refletância espectral e refletância solar em função da coloração e do teor de umidade de três tipos de blocos de pavimentos de concreto intertravados.

3. MÉTODO

O método da pesquisa se estrutura em três etapas principais:

(a) Medição da refletância das amostras de pavimento através do espectrômetro portátil Alta II;
(b) Cálculo da refletância solar;
(c) Análise da variação da refletância nas amostras no estado seco e no estado saturado.

Na Figura 1 está apresentado o fluxograma da pesquisa.

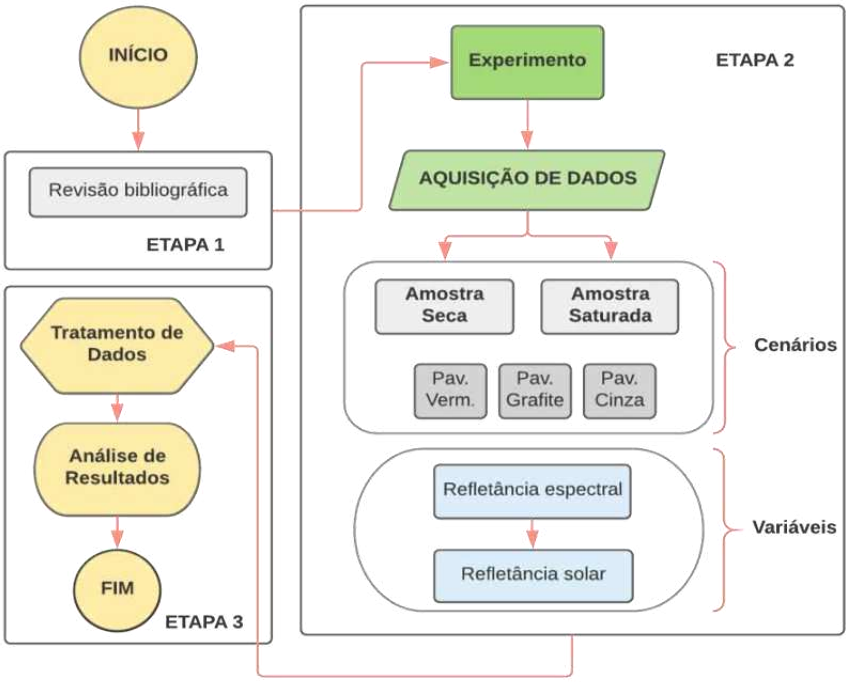


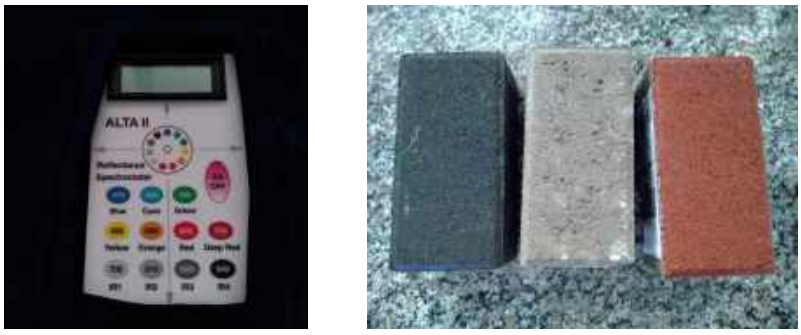
Figura 1 – Fluxograma da pesquisa (AUTORES, 2019).

3.1. Medição da refletância espectral

Para a execução deste estudo, foi empregado o espectrômetro portátil Alta II, seguindo as recomendações normativas da ASTM C1549-16.

Através do espectrômetro portátil é possível obter a refletância solar das amostras de pavimento. Segundo Muniz-Gäll, et al. (2018, p.507), "o espectrômetro portátil ALTA II mede refletâncias correspondentes a radiações emitidas em onze comprimentos de onda, entre 470 e 940 nm (nanômetros), sendo sete pertencentes à região visível e quatro à região infravermelha do espectro solar".

O experimento foi realizado em laboratório, com iluminação natural e temperatura ambiente de 23˚C. Além disso, o equipamento foi envolvido por um tecido de proteção escuro, para evitar a infiltração de luz. As amostras submetidas ao ensaio, são blocos de pavimento intertravado de concreto, em três colorações: cinza, vermelho e grafite, conforme apresentado na Figura 2.



(A) (B)

Figura 2 – Espectrômetro portátil Alta II (A) e amostras submetidas ao ensaio de refletância (B). (AUTORES, 2019).

3.2. Cálculo da refletância solar

O cálculo da refletância solar seguiu a metodologia apresentado por Muniz-Gäll, et al. (2018, p.507), considerando os valores do espectro solar padrão da ASTM (2016). A equação (1) representa a base para o cálculo da refletância solar (SANTOS. et al, 2009).

$$\rho_{(\lambda)amostra} = [(V_{amostra} - V_{fundo})/(V_{referência} - V_{fundo})]. \rho_{referência} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:
$\rho_{(\lambda)amostra}$ = refletância da amostra, para cada comprimento de onda (%);
$V_{amostra}$ = voltagem da amostra (mV);
V_{fundo} = voltagem de fundo, respectivamente para a amostra e referência (mV);
$V_{referência}$ = voltagem da amostra de referência (mV);
$\rho_{referência}$ = refletância da amostra de referência, para cada comprimento de onda (%).

A análise dos resultados será em função dos valores da refletância solar e espectral de cada, considerando as variações no estado seco e saturada, com o intuito de obter valores mais refinados de albedo para esses materiais de pavimentação.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Inicialmente são comparados os valores de refletância espectral de cada cor de pavimento na condição seca e saturada. Em seguida, são calculdadas as refletâncias solares através do método proposto por Pereira et al. (2015), embasado na ASTM (2016). Por fim, serão comparados os valores das amostras secas e saturadas.

4.1 Refletância Espectral

A refletância espectral de cada amostra de pavimento no estado seco está apresentada na Figura 3. A área destacada representa a faixa do espectro infravermelho, cujo comprimento de onda (λ) varia de 735 nm ≥ λ > 940 nm.

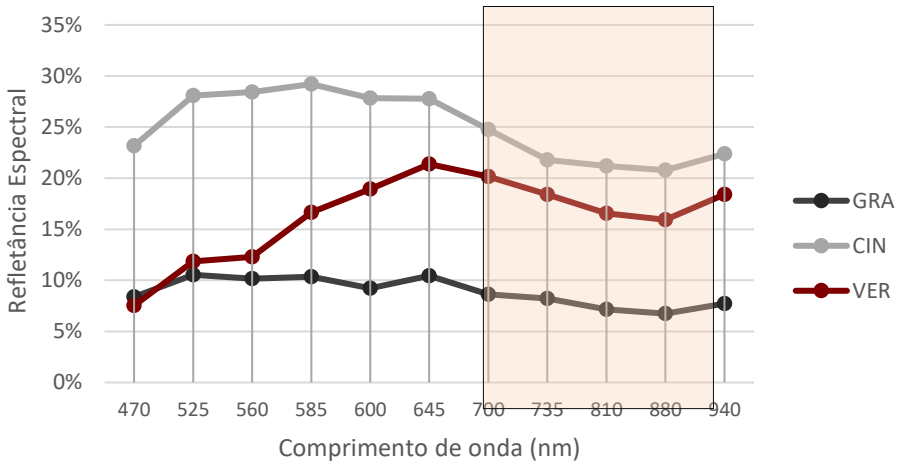


Figura 3 – Refletância espectral das amostras secas (AUTORES, 2019).

Percebe-se que o pavimento cinza tanto na faixa do visível, quanto do infravermelho é o que apresenta maior refletância espectral, seguido pelo pavimento vermelho e grafite. Além disso, no comprimento de onda 470 nm, que pertence ao espectro visível, a refletância do pavimento grafite e vermelho são semelhantes. Já os valores com comprimento de onda superior, demonstram um comportamento que tendem a ser proporcionalmente distintos.

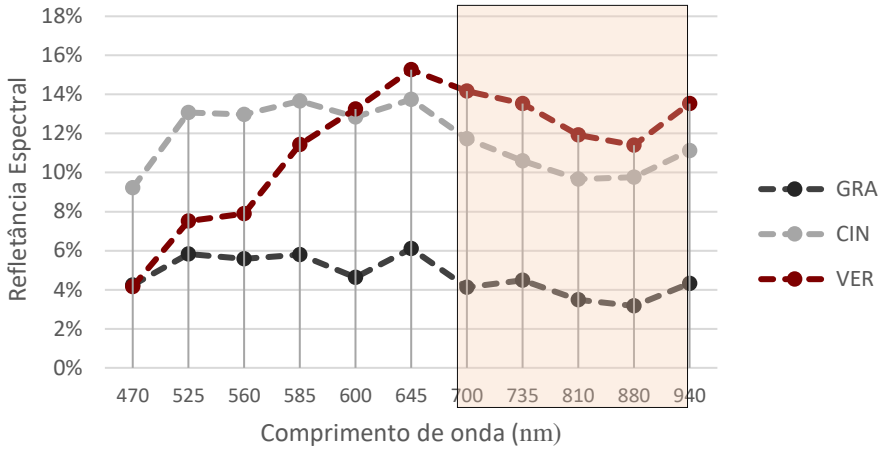


Figura 4 – Refletância espectral das amostras saturadas (AUTORES, 2019).

Na Figura 4 está apresentada a refletância espectral das amostras saturadas. Percebe-se que nessa condição, a refletância na faixa do espectro visível a partir do $\lambda \geq 600$ nm e em toda a faixa do infravermelho, o pavimento na coloração vermelha apresenta valores superiores ao pavimento cinza. Além disso, no comprimento de onda 470 nm, assim como na amostra seca, a refletância do pavimento grafite e vermelho são semelhantes.

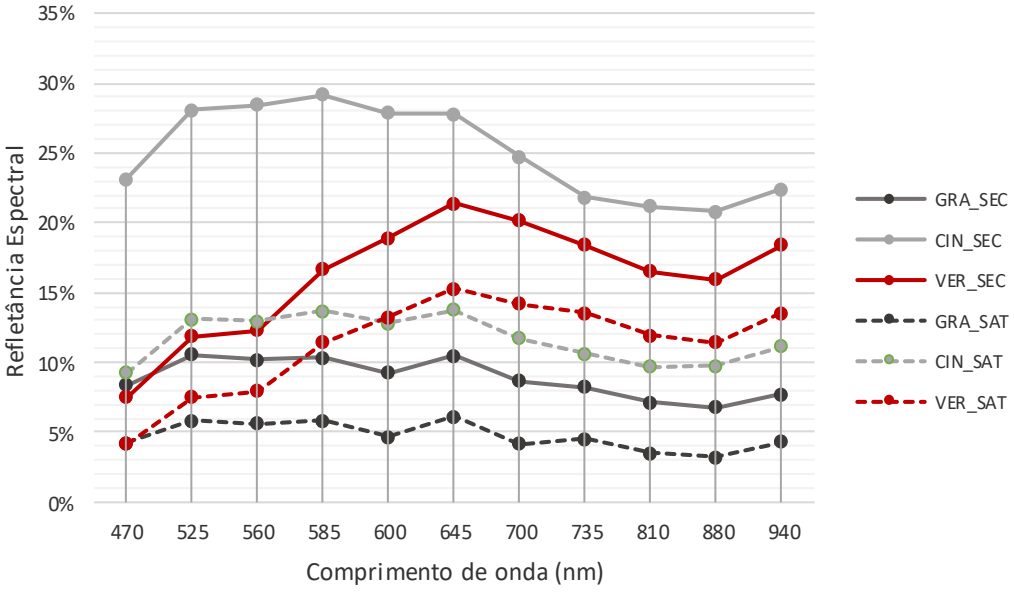


Figura 5 – Refletância espectral das amostras secas e saturadas (AUTORES, 2019).

Conforme apresentada na Figura 5, percebe-se a variação da refletância das amostras no estado seco e saturado. A amostra cinza apresenta a maior variação da refletância espectral.

4.2 Refletância Solar

As propriedades térmicas, como absortância (ABS) e refletância solar (REF) das 3 colorações de pavimento intertravado, foram determinadas com amostras submetidas a dois cenários; saturado e seco em laboratório. A refletância solar corresponde à integral da área abaixo da curva de refletância espectral. Os resultados da influência do teor de umidade na refletância solar estão apresentados na Figura 6.

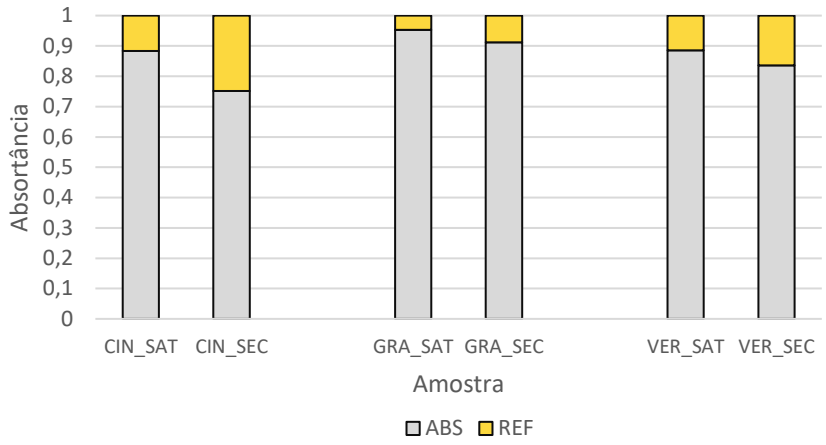


Figura 6 – Influência do teor de umidade na absortância do pavimento (AUTORES, 2019).

Quando comparada as três colorações no estado seco, o pavimento cinza é o que apresenta maior refletância (11%) e o pavimento grafite a menor taxa (4%). Entretanto, a conclusão que se tem no estado úmido, é que o pavimento cinza apresenta uma refletância equivalente ao pavimento vermelho (11%) e que no estado seco a superfície cinza possui uma refletância solar maior (26%) do que o pavimento vermelho (16%).

Na Figura 7 está apresentada a variação da refletância solar de uma amostra úmida em relação à amostra seca, classificado por cores.

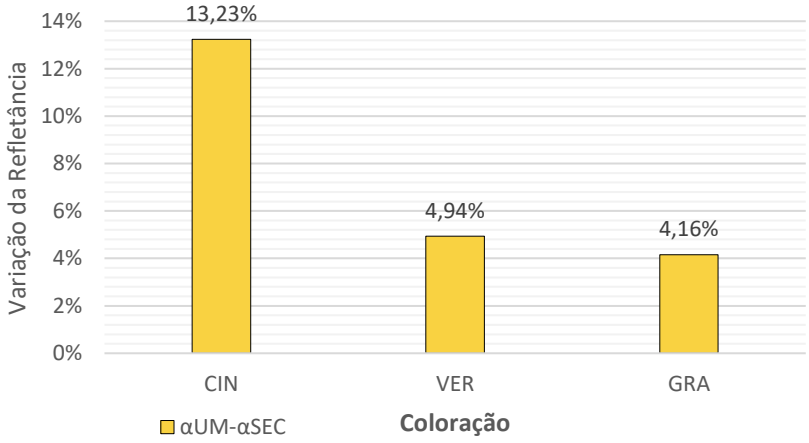


Figura 7 – Variação da refletância solar de uma amostra úmida (aUM) em relação a uma amostra seca (aSEC), classificada por cor (AUTORES, 2019).

Nesse cenário, percebe-se que o pavimento cinza de concreto é o que apresenta maior variação de refletância solar, em relação às amostras, vermelha e grafite. Esse fato é explicado pelo fato da amostra cinza apresentar uma maior mudança na tonalidade da cor na condição saturada, quando comparada ao estado seco. Essa alteração na coloração, implica em uma maior absortância do material.

5. CONCLUSÕES

O fenômeno de ICU é o produto de alterações no microclima das cidades o qual em grande parte pode ser mitigado com o uso de pavimento frio. A alteração das propriedades de absortância e refletância dos pavimentos e o comportamento térmico dos materiais de superfície no ambiente urbano devem ser compreendidos mais detalhadamente de modo a favorecer a recomendação técnica de aplicação de cada tipo de pavimento na cidade.

Por isso, este trabalho propôs comparar a alteração da refletância de três tipos de pavimentos intertravados de concreto nas colorações cinza, vermelho e grafite, nos estados seco e saturado.

Os resultados demonstram que o pavimento cinza no estado seco sofre um aumento de aproximadamente 13%, quando comparado à refletância solar na condição saturada e o pavimento vermelho, sofre uma

variação de aproximadamente 4% entre os mesmos estados. Esse fato é justificado pela mudança na coloração quando a amostra está saturada.

A amostra cinza entre a condição seca e saturada é superfície que apresenta a maior variação da tonalidade, o que aumentaria sua absortância. Além disso, vale resaltar que o pavimento cinza apresenta maior refletância do que o pavimento vermelho no estado seco. Entretanto, na condição saturada a refletância espectral na faixa do infravermelho do pavimento vermelho é superior ao pavimento de coloração cinza.

Por fim, a contribuição deste trabalho está pautada no refinamento dos valores tabelados de refletância solar, de pavimentos intertravados de concreto, que constitui uma das propriedes que fazem do pavimento frio uma estratégia de mitigação das ICU.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173-03:** Standard tables for reference solar spectral irradiances – direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. Philadelphia,2003.

_____. **C1549-16:** Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer. Philadelphia, 2016.

CARPIO, Joe Arnaldo Villena del. **Uso de pigmentos de óxidos de metais mistos na pavimentação para a mitigação da ilha de calor urbana**. 2014. 437 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

COX, E. P. **Interação entre clima e superfície urbanizada:** o caso da cidade de Várzea Grande/MT. Cuiabá, 2008. 141p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso.

ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. **Urban Microclimate:** Designing the Spaces between Buildings. London: Earthscan, 2010.

FERREIRA, F. L., PRADO, R. T. A. **Medição do albedo e análise da sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 351 – Serie BT-PCC. São Paulo, 2003.

GARTLAND, L. **Heat island:** understanding and mitigating heat in urban áreas. Londres: Earthscan Press, 2008.

GOLDEN, J.S.; KALOUSH, K.E. Mesoscale and microscale evaluation of surface pavement impacts on the urban heat island effects. **International Journal of Pavement Engineering**, v.7, n.1, p.37-52, 2006.

GONZALEZ, D. E. G. **Análise dos efeitos do albedo no microclima de cânions urbanos**. Curitiba, 2015. 175f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LI, H. **Pavement materials for heat island mitigation**: design and management strategies. 1. ed. Oxford: Elsevier, 2016.

LI, H. HARVEY, J. T, HOLLAND, T. J AND KAYHANINAN, M. The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management. **Environmental Research Letters**, v.1, n.08, p.1-14, 2013.

MUNIZ-GÄAL, L. P.; PEZZUTO, C. C.; CARVALHO, M. F. H. de; MOTA, L. T. M. Eficiência térmica de materiais de cobertura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 503-518, jan./mar. 2018.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Methuen: USA, 1987.

PEREIRA, C. D.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; et al. **Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas (v.1)**. Florianópolis: UFSC, 2015.

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, n. 4, 2005. p. 295–300, 2005.

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**, v.67, 2013, p.647-657, 2013.

SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA, D (org.) **Urban climate mitigation techniques**. New York: Routledge, 2016.

SANTOS. E. D. 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 Tecnologia do Ambiente Construído**, 2009, Canela. Anais do X ENTAC. Canela: ANTAC, 2009. p.664-660.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Além disso, agradecemos à CAPES, à empresa TATU pré-moldados e ao UNASP (Centro Universitário Adventista de São Paulo) pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa.