

## Permeabilidade e variação do albedo de pavimentos frios em função do teor de umidade

## Permeability and variation of cool pavements' albedo as a function of moisture content

*Luiz Fernando Kowalski(1); Taís Maria da Silva(2); Vitor Hudson Nascimento Silva(3); Ítalo Alberto Gatica Ríspoli(4); Érico Masiero(5)*

1 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil.

E-mail: fernando.kowalski@unasp.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2450-3561>

2 Engenheira Civil – Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP), Eng. Coelho, SP, Brasil.

E-mail: thatahlia@icloud.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-7686>

3 Engenheiro Civil – Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP), Eng. Coelho, SP, Brasil.

E-mail: victor\_hudson08@yahoo.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7357-895X>

4 Professor do Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP), Eng. Coelho, SP, Brasil. E-mail: italo.rispoli@unasp.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9706-7679>

5 Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Eng. Coelho, SP, Brasil.

E-mail: erico@ufscar.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8665-335X>

**Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, vol. 11, n. 1, p. 39-55, janeiro-junho, 2022 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2022.v11i1.4412>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

## Resumo

Os pavimentos frios, com maior capacidade drenante, podem contribuir no controle de enchentes e na temperatura das cidades. Sendo assim, este trabalho tem por objetivo relacionar o coeficiente de permeabilidade à variação do albedo de pavimentos frios em função do teor de umidade. Essa pesquisa é de caráter experimental e inicia-se com a determinação do coeficiente de permeabilidade de pavimentos de concreto permeável e semi-permeável. Em seguida, é avaliada a variação do albedo em função do teor de umidade das amostras na coloração cinza e grafite. Como resultado, percebe-se que para a mesma coloração, cada tipo de pavimento (permeável e semi-permeável) apresenta valores diferentes de albedo. O pavimento semi-permeável na coloração cinza possui um albedo 20,6% superior em relação à placa permeável de mesma cor. Isso acontece em todas as condições de ensaio, estando os materiais secos ou saturados.

**Palavras-chave:** Pavimentos de concreto permeável; albedo; drenagem superficial.

## Abstract

Cold pavements, with greater drainage capacity, can contribute to flood control and city temperatures. Therefore, this work aims to relate the permeability coefficient to the variation of albedo of cold pavements as a function of moisture content. This research is experimental and begins with the determination of the permeability coefficient of permeable and semi-permeable concrete pavements. Then, the albedo variation is evaluated according to the moisture content of the samples in gray and graphite color. As a result, for the same coloring, each type of pavement (permeable and semi-permeable) has different albedo values. The gray semi-permeable pavement has an albedo 20.6% higher than the permeable slab of the same color. This happens in all test conditions, whether the materials are dry or saturated.

**Keywords:** Permeable concrete floors; albedo; surface drainage.

## 1 Introdução

O crescimento das cidades implica em modificações da paisagem urbana, sendo que a excessiva impermeabilização das superfícies provoca invariavelmente alterações no regime de escoamento superficial de águas pluviais. Canholi (2005) atestou que as inundações e alagamentos nas cidades acontecem devido à precariedade da infraestrutura e da manutenção nas captações de águas pluviais ao excesso de superfícies pavimentadas e impermeáveis.

As frequentes inundações e alagamentos vivenciados pelas cidades brasileiras nas épocas de chuvas têm íntima relação com o uso de materiais para pavimentação, os quais, nem sempre seguem orientações técnicas rigorosas para sua aplicação. Muitas vezes, os materiais impermeáveis prejudicam a infiltração das águas pluviais no solo e contribuem para acelerar a velocidade do escoamento, provocando inundações que acarretam anualmente grandes prejuízos em áreas urbanas (TUCCI, 2007; BATEZINI, 2013).

A pavimentação com o uso de blocos de concreto permeável vem sendo utilizada como alternativa para reduzir os impactos de inundações e alagamentos nas cidades. De acordo com Ferguson (2005) e Castro (2015), o concreto permeável possui uma ótima capacidade de drenagem superficial, o que contribui para facilitar o escoamento do volume da água da chuva e o seu acúmulo em áreas com baixa declividade.

Por possuir uma grande quantidade de poros, cavidades e frestas nos encaixes entre as peças, os pavimentos de concreto permeável podem, potencialmente, contribuir para diminuir a temperatura superficial por meio do processo de evaporação da água. Pelo fato deste sistema de pavimentação reduzir o escoamento superficial e ter a capacidade de retenção de água, podem ajudar na mitigação dos efeitos de Ilhas de Calor Urbanas (LI et al., 2013).

Ao acumular certa quantidade de águas em suas frestas, poros e nas subcamadas, a evaporação da água se torna mais lenta do que em um pavimento asfáltico convencional, por exemplo. Como consequência, a evaporação da água contribui para reduzir a amplitude térmica nos ambientes externos através do processo de resfriamento evaporativo e até melhorando a qualidade do ar, conforme atestam Masiero e Souza, (2018), Li et al. (2013) e Schaefer et al. (2006).

Wang et al. (2018) também salientaram que os pavimentos com materiais permeáveis têm sido uma opção tecnológica para a amenização das temperaturas nas cidades, devido à sua baixa capacidade de retenção do calor, a depender da sua cor e densidade. O uso de pavimentos frios, segundo este autor, pode reduzir a temperatura da superfície em até 10°C.

Pavimentos frios são compostos por materiais que fazem com que a temperatura superficial seja mais baixa em relação aos pavimentos convencionais. Além da

retenção da umidade pelo material, há outros mecanismos para reduzir a temperatura superficial como o controle sobre o albedo das superfícies (LI et al., 2015).

O albedo é uma propriedade física que traduz a capacidade de reflexão da superfície de um material. Pode ser definido como a razão entre a radiação refletida pela superfície e a radiação incidente sobre ela. O albedo é expresso em uma escala entre zero e um, sendo atribuído o valor zero para uma superfície nada refletiva e um para uma perfeitamente refletiva, variando entre os tons de preto e branco (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

Nesse contexto, sete dos principais tipos de ondas emitidas pelo sol, formam uma escala de radiações eletromagnéticas chamadas de Espectro Eletromagnético, que abrange os seguintes tipos de ondas: rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raio-x e raios gama (AMARO, 2018). Dentre essas, a radiação infravermelha é a responsável pelos efeitos térmicos, mais especificamente o aquecimento dos ambientes. A porcentagem em relação a outras faixas de ondas corresponde a mais de 50 % do espectro (DORNELLES, 2008).

Sendo assim, para combater os efeitos provocados pela excessiva impermeabilização urbana, é importante considerar a capacidade de retenção de água, de evaporação e de dissipação de calor que os materiais possuem. Por isso, este trabalho tem como objetivo relacionar o coeficiente de permeabilidade à variação do albedo de pavimentos frios com blocos intertravados de concreto em função da taxa de evaporação da superfície.

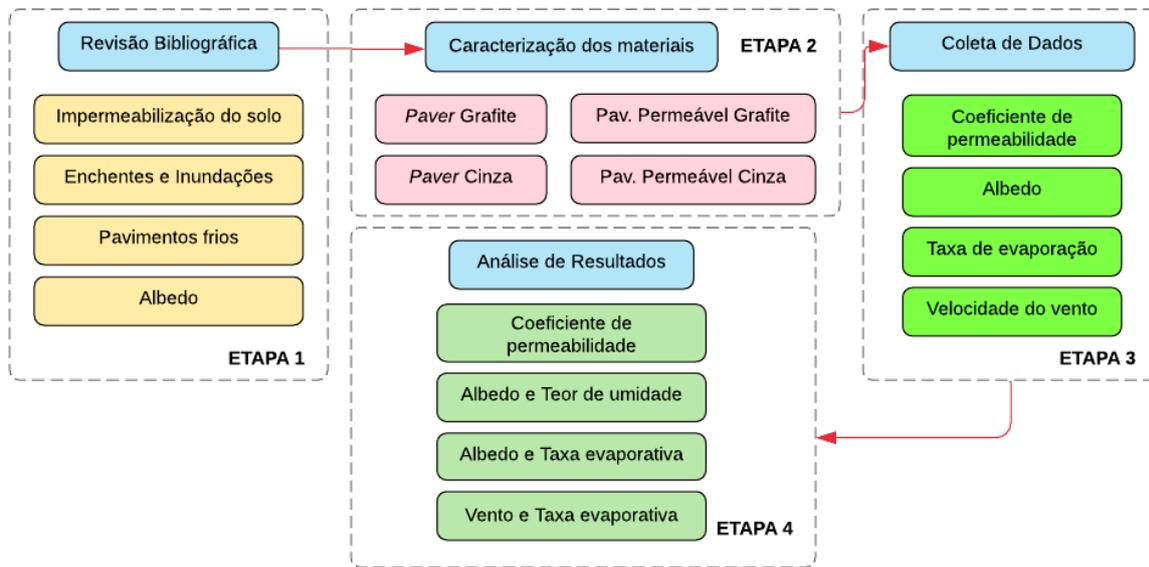
## 2 Materiais e métodos

Esta pesquisa recorre a um estudo experimental a partir da comparação da capacidade de retenção de umidade, da evaporação e da alteração do albedo de quatro amostras de pisos de concreto usados em calçamento urbano. Para que os objetivos deste trabalho sejam alcançados, a pesquisa foi dividida em quatro etapas principais:

- I. Revisão bibliográfica referente aos principais fenômenos físicos associados às trocas de calor entre a superfícies de materiais de pavimentação e a atmosfera, sobretudo nas alterações do microclima urbano;
- II. Caracterização dos objetos de estudo, definição dos materiais utilizados nos pavimentos e o local de realização dos ensaios em um campo experimental;
- III. Coleta de dados do coeficiente de permeabilidade dos pavimentos, de variação do albedo em função do teor de umidade dos materiais, e a influência da velocidade do vento na taxa de evaporação da água sobre as superfícies;
- IV. Estabelecimento de correlações entre às propriedades de albedo, evaporação e retenção de umidade dos materiais sob às condições do ambiente.

A sequência do trabalho pode ser visualizada no fluxograma apresentado na Figura 1.

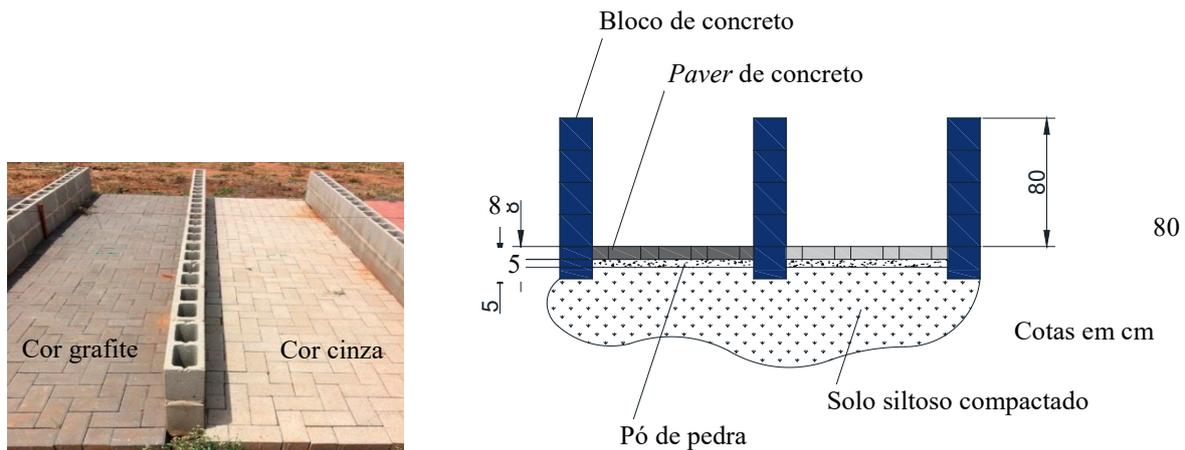
**Figura 1.** Fluxograma da pesquisa



## 2.1 Caracterização dos materiais

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Térmica do Ambiente Construído existente no Núcleo de Tecnologia de Engenharia e Arquitetura (NUTEA), localizado no Centro Universitário Adventista de São Paulo, campus Engenheiro Coelho (UNASP-EC), onde encontram-se instalados, em um modelo em escala, conforme apresentado na Figura 2.

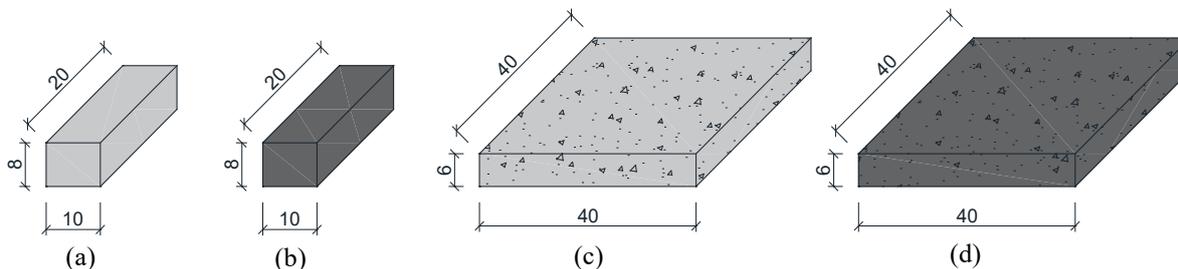
**Figura 2.** Representação das camadas do pavimento no modelo de ensaio



O modelo é formado por pavimentos intertravados de concreto, com coloração grafite e cinza, com *paver* nas dimensões de 10 x 20 x 8 cm e largura das juntas de 3 mm. O pavimento possui uma camada de base formada por pó de pedra de 5 cm, logo abaixo do revestimento intertravado, situada acima da camada de solo compactado, classificado como siltoso.

Também foram utilizadas placas de concreto permeável, nas mesmas cores dos pavimentos intertravados de concreto com dimensões de 40 x 40 x 6 cm, conforme apresentado na Figura (c) e Figura (d).

**Figura 3.** *Pavers e placas permeáveis*



As amostras utilizadas neste trabalho, como os *pavers* intertravados de concreto e as placas de concreto permeável foram obtidas por doação da empresa Tatu pré-moldados.

## 2.2 Coleta de dados

A coleta de informações se inicia com a determinação do coeficiente de permeabilidade dos pavimentos em estudo e, em seguida, a obtenção do albedo simultaneamente a verificação da taxa de evaporação por meio do teor de umidade.

### *Coeficiente de permeabilidade*

Os pavimentos foram ensaiados de acordo com o anexo A da ABNT NBR 16416:2015. Primeiramente, foram realizados os ensaios nos pavimentos de concreto intertravados (Figura 4.a e 4.b). Posteriormente, para analisar a permeabilidade dos pavimentos nas mesmas condições, o modelo foi adaptado com as placas permeáveis, de acordo com a Figura (c) e Figura 4 (d).

**Figura 4.** *Pavimentos com cilindro para ensaio de permeabilidade*



Foi realizado o procedimento de pré-molhagem para que o solo fosse saturado. Foram utilizados 3,6 litros de água, despejando-a dentro do cilindro e mantido um fluxo constante, de forma que a água permanecesse com altura dentro das medidas previamente marcadas na parte interna do cilindro de 10 e 15 mm até que infiltrasse

completamente no solo. O tempo da pré-molhagem influencia na quantidade de água que será utilizada no ensaio, determinado de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1.** Determinação da massa de água para ensaio

Tempo de pré-molhagem (s)	Massa de água para ensaio (kg)
≤30	18 ± 0,05
>30	3,60 ± 0,05

O ensaio foi repetido 2 vezes em cada pavimento de concreto intertravado e 4 vezes em cada pavimento com as placas de concreto permeável. Por fim, foram calculados os valores médios para cada pavimento, obtendo assim o valor final do coeficiente de permeabilidade.

Com os resultados de coeficiente de permeabilidade dos pavimentos, foram caracterizados, quanto ao grau de permeabilidade de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores típicos de coeficiente de permeabilidade

Coeficiente de permeabilidade do solo $K$		Grau de permeabilidade
m/s	mm/h	
$>10^{-3}$	$>3600$	Alta
$10^{-3}$ a $10^{-5}$	3600 a 36	Média
$10^{-5}$ a $10^{-7}$	36 a 0,36	Baixa
$10^{-7}$ a $10^{-9}$	0,36 a 0,0036	Muito baixa
$< 10^{-9}$	$<0,0036$	Praticamente impermeável

### *Determinação do albedo das amostras*

Para determinação do albedo das amostras, foi utilizado o espectrômetro portátil ALTA II para a medição da variação de refletância espectral das quatro superfícies.

O ensaio para determinação da refletância espectral de cada amostra, foi realizado conforme os procedimentos apresentados por Pereira *et al.* (2015). Neste trabalho para a amostra de referência, foram utilizadas 8 folhas de sulfite brancas por ser comumente utilizada por projetistas de acordo com orientações de Dornelles, (2008).

Um ponto importante para realização do ensaio com o ALTA II, é que ele seja isento de qualquer fonte de energia luminosa na sua superfície durante as medições. Portanto, o aparelho foi envolvido com um tecido denso de cor escura, com uma abertura apenas na dimensão do sensor luminoso do equipamento para se fazer a leitura sobre as superfícies.

As medições foram realizadas nos *pavers* de concreto intertravados de cor grafite e cinza e nas placas de concreto permeável de cor grafite e cinza, nas condições com os materiais seco, saturado e em período de secagem após estarem saturados, pois, como deseja-se obter o albedo da variação da cor dos materiais em função da taxa de

evaporação, os mesmos foram obtidos simultaneamente ao ensaio de determinação do teor de umidade. As medições foram feitas nos materiais, logo após a pesagem destes na balança, que eram realizadas de 30 em 30 minutos para cada material.

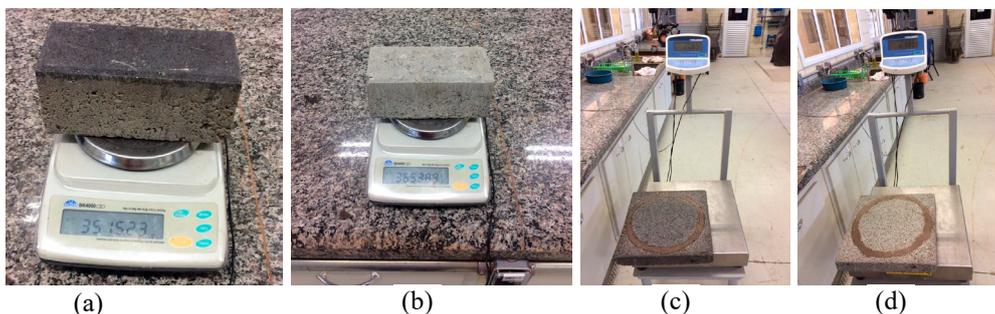
Para a determinação do albedo, foram adotados os procedimentos de Pereira *et al.* (2015), que faz a correção da intensidade da radiação solar para cada comprimento de onda, por meio do espectro solar padrão adotado conforme a ASTM G173 (ASTM, 2012.b).

### *Taxa de evaporação dos pavimentos*

Para obtenção da perda de massa de água e do teor de umidade, as amostras foram inicialmente saturadas por um período de 24 horas. O início do ensaio é dado com a pesagem da massa saturada das amostras. Em seguida, as amostras foram colocadas no chão, expostas ao sol em ambiente aberto, a fim de verificar o tempo de evaporação da água em cada amostra, sob as mesmas condições ambientais.

Em um intervalo de 30 minutos, as amostras foram pesadas, de modo a determinar a variação da massa de água, perdida pelo processo da evaporação em função do tempo, conforme apresentado na Figura 5.

**Figura 5.** Pesagem das amostras em balanças com nível de precisão compatível



Este processo foi realizado por 5 vezes, num período de 150 minutos para cada material. As balanças utilizadas para cada material foram diferentes, devido ao peso dos materiais.

Os *pavers* foram pesados em uma balança da marca Gehaka, modelo BK-4000, para materiais com massa entre 0,2 g a 4,1 kg e precisão de 0,1 g (Figura 8.a e 8.b). Em contrapartida, pelo fato das placas possuírem uma massa superior a 20 kg, foi empregada uma balança da marca Toledo, modelo 2098/59, com uso para materiais que assumem um intervalo entre 1 kg e 300 kg, com precisão de 50 g (Figura 8.c e 8.d).

A partir dos valores de massa obtidos em cada pesagem, foi verificado o teor de umidade por meio da equação da ABNT NBR 6457:2016, conforme apresentado na Equação 1.

$$W = [ (M_{\text{Úmida}} - M_{\text{Seca}}) / M_{\text{Seca}} ] * 100 \quad (1)$$

**Sendo:**

W: Teor de umidade (%);

$M_{Umida}$ : Massa do material saturado ou secando no instante t, com  $t \geq 0$  (kg);

$M_{Seca}$ : Massa do material seco (kg).

A taxa de evaporação das amostras foi obtida por meio da quantidade total de massa de água perdida por evaporação dividida pelo tempo total do ensaio.

Neste ensaio também foi utilizado um anemômetro, do tipo concha, colocado a 10 centímetros do pavimento, orientado para o norte, simultaneamente ao ensaio, para verificar a velocidade média do vento que tangencia a superfície das amostras a cada minuto, e assim, analisar a influência do vento na taxa evaporação das amostras.

### 3 Análise de resultados

#### 3.1 Coeficiente de permeabilidade

Na Tabela 3, pode-se visualizar a quantidade de água utilizada, o tempo de infiltração e o coeficiente de permeabilidade obtido nos ensaios, e também, a média do coeficiente de permeabilidade de cada pavimento.

**Tabela 3.** Coeficiente de permeabilidade dos pavimentos

Amostras	Massa de água (kg)	k (mm/h)
(a) Paver Cinza	3,6	12,84
(b) Paver Grafite	3,6	20,77
(c) Placa Cinza	3,6	439,17
(d) Placa Grafite	18	2727,67

O pavimento com a placa de concreto permeável de cor grafite, foi o que obteve o maior valor de coeficiente de permeabilidade, resultando em 2727,67 mm/h, seguido do pavimento com a placa de concreto permeável de cor cinza, com 439,17 mm/h.

Sendo assim, ambos se classificam como um pavimento com grau de permeabilidade médio, de acordo com a Tabela B.2 da ABNT NBR 16416:2015, que caracteriza com grau de permeabilidade médio os pavimentos com coeficiente de permeabilidade entre 36 a 3600 mm/h. Esses resultados encontram-se dentro da faixa de valores obtidos pela maioria dos autores. Montes e Haselbach (2006) apresentaram resultados variando entre 504 mm/h e 42840 mm/h. Shaefer *et al.* (2006) obtiveram resultados variando de 360 mm/h a 54000 mm/h.

Entre os pavimentos de concreto intertravado, o pavimento da cor grafite obteve maior valor de coeficiente de permeabilidade, com 20,77 mm/h. Conseqüentemente, o pavimento da cor cinza foi o que obteve menor valor de coeficiente de permeabilidade com valor de 12,84 mm/h. Comparando-os com a Tabela B.2 da ABNT NBR 16416:2015, ambos são classificados como pavimentos com grau de permeabilidade

baixo, que são caracterizados os pavimentos com coeficiente de permeabilidade entre 0,36 a 36 mm/h.

Examinando os valores das médias do coeficiente de permeabilidade nas Tabelas 3, é possível perceber que os pavimentos com as placas de concreto permeável, apresentaram valores bem maiores que os pavimentos de concreto intertravados. Isso se dá pelo motivo das placas de concreto permeável serem confeccionadas com pouca ou nenhuma quantidade de agregados finos, conseqüentemente, possuindo maiores quantidades de vazios (POLASTRE; SANTOS, 2006).

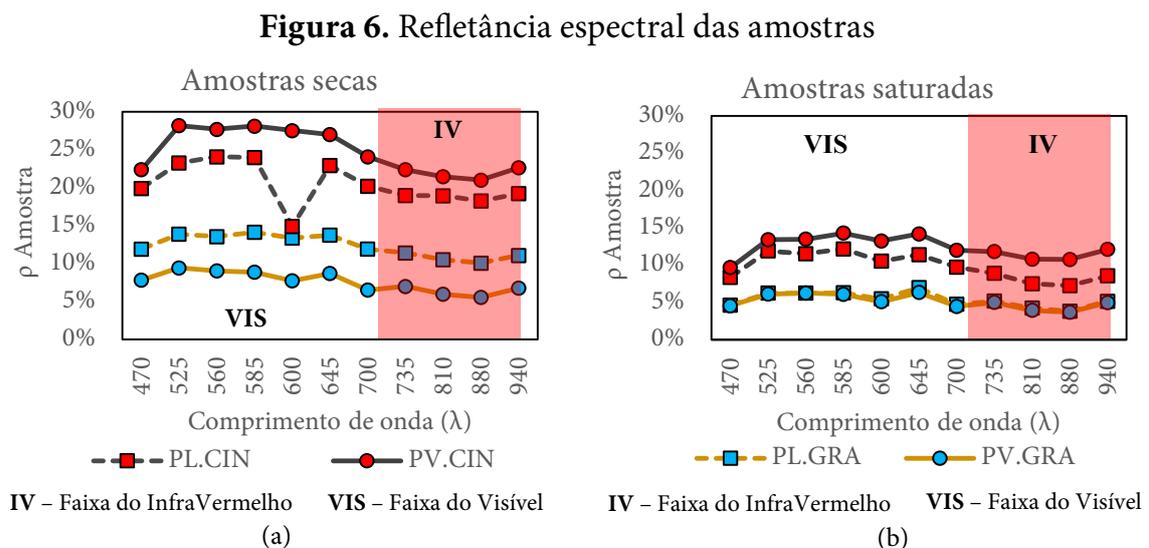
Porém, nenhuma das amostras se enquadram como sendo pavimentos com grau de permeabilidade alto. Esses valores reduzidos, podem ser devido à condição do solo em que estão inseridos os pavimentos, classificado como solo siltoso. Portanto, se os mesmos pavimentos forem inseridos em solos mais arenosos, é possível que os valores de coeficiente de permeabilidade sejam maiores. Ainda assim, nesse contexto, é justificável a indicação do uso de pavimentos de concreto permeável para maior infiltração da água pluvial.

De acordo com Höltz (2011), seu uso ajuda na redução do escoamento superficial, reduzindo assim, ou até mesmo eliminando, o uso de tanques de retenção. Contribui para o reabastecimento dos lençóis freáticos e aquíferos, minimiza enchentes e atenua a ação de poluentes superficiais.

### 3.2 Refletância das amostras

#### Refletância das amostras secas e saturadas

A Figura 6 apresenta os valores de refletância espectral coletados em cada amostra seca e saturada.



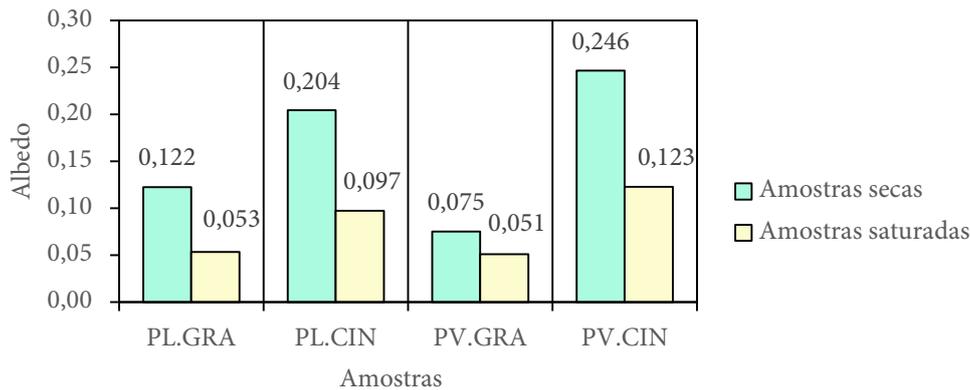
Observa-se na Figura 6.a que as amostras secas de cor cinza, tiveram valores de refletância espectral maiores que as amostras secas de cor grafite na região do visível e

do infravermelho-próximo, por serem mais claras que as demais amostras.

Na Figura 6.b constata-se que as amostras de cor cinza tem maiores valores de refletância espectral que as amostras de cor grafite na região do visível e do infravermelho-próximo. Percebe-se que as amostras quando saturadas apresentam uma redução na refletância espectral em comparação com as amostras no estado seco, pelo fato das amostras ficarem mais escuras devido ao processo de absorção da água.

Por meio dos valores da refletância espectral das amostras secas e saturadas, foi possível obter os valores de albedo (refletância solar) como apresenta a Figura 7.

**Figura 7.** Albedo do materiais secos e saturados

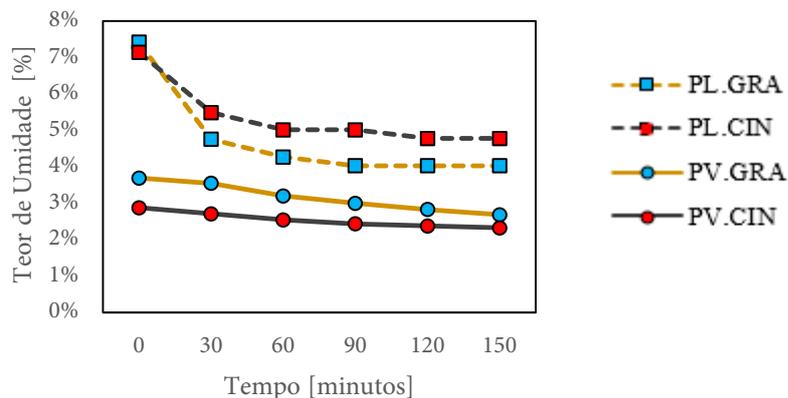


As amostras secas em geral tendem a valores de albedo mais elevados, comparados com as amostras úmidas. A maior diferença identificada foi na amostra de *paver* cinza (PV.CIN)

### 3.3 Taxa de evaporação dos pavimentos

Pode-se observar a variação do teor de umidade em função do tempo, na Figura 8.

**Figura 8.** Variação do teor de umidade em função do tempo



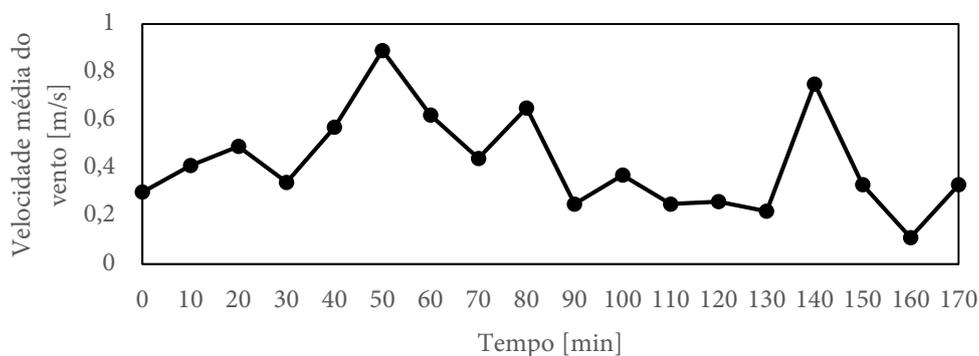
A Figura 8 apresenta a variação do teor de umidade em função do tempo. Percebe-se que há uma queda no teor de umidade em função do tempo devido à evaporação. Essa maior diferença é mais significativa na placa cinza. Esse comportamento pode ser explicado devido à permeabilidade do pavimento.

É possível verificar que entre o instante inicial e o instante da primeira verificação, aos 30 minutos após o início do ensaio, há uma drástica queda do teor de umidade das placas de concreto permeável, que acontece justamente pelo motivo destas possuírem uma grande quantidade de poros interligados, os chamados vazios comunicantes, que fazem com que a água acumulada inicialmente percole.

Por meio desta análise, pode-se verificar que as placas de concreto permeável, além de contribuírem com a drenagem diminuindo o escoamento superficial, também podem contribuir absorvendo água pluvial.

Na Figura 9 é apresentado a velocidade média do vento no momento dos ensaios durante o tempo de ensaio. Todas as amostras foram submetidas às mesmas condições de ventilação em um intervalo de 170 minutos.

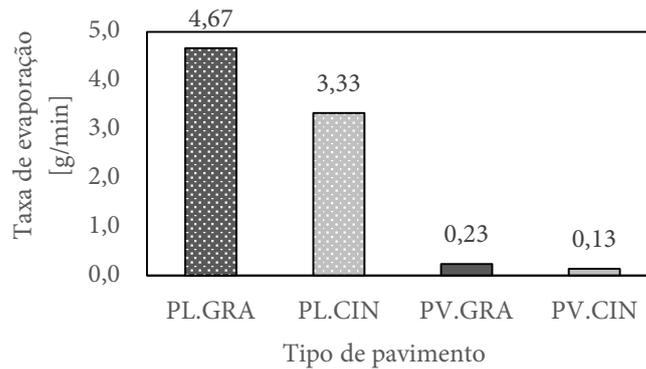
**Figura 9.** Velocidade média do vento



Dessa forma, comparando os valores de velocidade média do vento com os valores do teor de umidade da Figura 9, pode-se constatar que os materiais perderam maior quantidade de umidade, no período entre o início e a metade do tempo, quando a velocidade média do vento também era mais alta. E na segunda metade do tempo de ensaio, quando a velocidade média do vento era mais baixa, os materiais perderam menor quantidade de umidade.

De acordo com Masiero (2014), o processo evaporativo influenciado pelo vento, acontece através do calor sensível que é cedido pelo ar para as gotículas de água, de forma que esta muda do estado líquido para o gasoso. Portanto, verifica-se que o vento é um fator que está relacionado diretamente com a evaporação da água por parte dos materiais.

Na Figura 10 é apresenta a taxa evaporativa das amostras.

**Figura 10.** Taxa evaporativa das amostras

Observa-se-se na Figura 10 que a placa na coloração grafite apresenta maior taxa evaporativa. Isso acontece por meio de uma sequência de processos físicos. Inicialmente, a superfície do pavimento, que possui um baixo albedo, absorve as ondas curtas incidentes, provenientes da radiação solar. Em seguida, o calor acumulado pelo material, provoca um aumento na temperatura superficial da camada de revestimento. Por fim, a liberação do calor sensível ao longo do dia, favorece o processo de evaporação da superfície saturada.

É possível notar que a taxa evaporativa das placas é muito maior que a dos *pavers*. Isso acontece devido às placas permeáveis possuírem um volume bem maior que os *pavers*, e maiores quantidades de poros para armazenamento de água. Analogamente, os *pavers* por possuírem menor quantidade de vazios resultaram em menor taxa de evaporação.

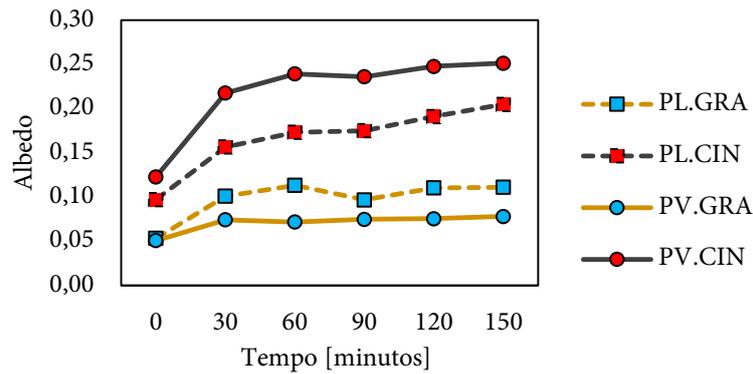
Embora as placas de concreto permeável tenham valores de taxa de evaporação maiores que os *pavers*, estes valores encontram-se abaixo dos valores obtidos por Wang *et al.* (2018) de 11,67 g/min.

Vale ressaltar que no instante que as amostras se encontraram saturadas ou com grande teor de umidade, embora estas possuam um albedo menor em comparação ao estado seco, o pavimento constituído destas amostras podem ajudar a diminuir a temperatura superficial, devido à umidade e as micropartículas de água que ascendem verticalmente através da evaporação, que também melhora a qualidade do ar.

De acordo com Li *et al.* (2013) o pouco de umidade evaporada dos pavimentos pode ajudar a produzir uma temperatura superficial mais baixa. Li *et al.* (2013) também constataram que a temperatura superficial de pavimentos permeáveis podem ser reduzidas em até 30°C por resfriamento evaporativo.

### 3.4 Variação do albedo em função do tempo com a perda de umidade

Na Figura 11, encontram-se os resultados de refletância solar de cada amostra, coletadas de 30 em 30 minutos, dando início com os materiais saturados.

**Figura 11.** Variação do albedo em função do período de evaporação

Percebe-se que há uma variação no albedo das amostras durante o processo de perda de massa por evaporação. Pode-se observar que o albedo aumenta em função do tempo de exposição ao sol. Isso ocorre pelo fato das amostras saturadas, possuírem uma tonalidade mais escura em comparação com as amostras secas. Deste modo, a medida que o albedo aumenta, a temperatura superficial diminui e consequentemente a troca de calor entre o pavimento e o ar também reduz.

## 4 Conclusões

Os pavimentos de placas permeáveis apresentaram as maiores taxas de evaporação e uma permeabilidade de 131,37 vezes superior ao pavimento de concreto intertravado. Ao comparar as duas colorações de pavimento, percebe-se que para a mesma coloração, cada tipo de pavimento (permeável e semi-permeável) apresenta valores diferentes de albedo.

- ♦ O pavimento semi-permeável na coloração cinza possui um albedo 20,6 % superior em relação à placa permeável de mesma cor;
- ♦ Na coloração grafite, a placa permeável possui um albedo 62,7% superior em relação ao pavimento semi-permeável. Isso acontece em todas as condições de ensaio, estando os materiais secos, saturados ou em processo de perda de umidade por evaporação.

Quanto à perda de umidade dos materiais por evaporação, constatou-se que o vento é uma variável importante neste processo. Percebe-se que no instante entre o início e a metade do ensaio, cujo os materiais apresentaram maior taxa de evaporação, ocorreu simultaneamente com as maiores velocidades média do vento, com esta alcançando 0,89 m/s. Portanto, quanto maior a velocidade do vento que tangencia o pavimento, maior a taxa de evaporação.

Por fim, materiais permeáveis e reflexivos são importantes no controle de impactos ambientais decorrentes do crescimento das cidades. Como sugestões de trabalhos futuros, recomenda-se investigar outros materiais de pavimentos urbanos, diferentes albedos, em cidades que apresentem outras condições climáticas e com maior taxa de ventilação.

## *Agradecimentos*

O presente trabalho foi realizado parcialmente com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. E com o apoio do Núcleo de Tecnologia de Engenharias e Arquitetura (NUTEA), do Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP).

## Referências

- AMARO, L. A. *Análise da influência do uso e cobertura do solo na ocorrência de ilhas de calor na região central do Vale do Taquari*. Trabalho de conclusão de curso de Bacharelado, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado – SC, 2018.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS *ASTM G173: Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface*, ASTM International, West Conshohocken, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS *NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto - requisitos e procedimentos*, ABNT, Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS *NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*, ABNT, Rio de Janeiro, 2016.
- BATEZINI, R. *Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimento para áreas de veículos leves*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2013.
- CANHOLI, A. P. *Drenagem urbana e controle de enchentes*, Oficina de Textos, São Paulo, 2005.
- CASTRO, L. F. A. *Estudo de traço de concreto permeável de cimento portland*. Trabalho de conclusão de curso de Bacharelado, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul – RS, 2005.
- DORNELLES, K. A. *Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e pva*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2008.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. *Solar engineering of thermal processes*, John Wiley & Sons, Londres, 2013.
- FERGUSON, B. K. *Porous pavements*, CRC Press, Boca Raton, 2005.
- HÖLTZ, F. da C. *Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2011.
- LI, H. *Pavement Materials for Heat Island Mitigation: Design and Management Strategies* Elsevier, California, 2015.
- LI, H.; HARVEY, J. T.; HOLLAND, T. J.; KAYHANIAN, M. The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management, *Environmental Research Letters*, (8)4, 1-14, 2013.
- MASIERO, E. *Análise da Influência de corpos em Microclimas urbanos: estudo de caso em São José do Rio Preto*, Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2014.
- MASIERO, E.; SOUZA, L. C. L. Mapping humidity plume over local climate zones in a high-altitude tropical climate city, Brazil. *Ambiente Construído*. On-line version ISSN 1678-

8621 Ambient. constr. v. 18, n. 4, Porto Alegre, Oct./Dec. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400300>

MONTES, F.; HASELBACH, L. Measuring hydraulic conductivity in pervious concrete, *Environmental Engineering Science*, (23)6, 960–969, 2006.

PEREIRA, C. D.; MARINOSKI, D.L.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S.; GHISI, E. *Guia de medição e cálculo para refletância e absorvância solar em superfícies opacas*. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2015.

POLASTRE, B.; SANTOS, L. *Concreto permeável*, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SCHAEFER, V. R.; WANG, K.; KEVERN, J. T.; SULEIMAN, M. T. (2006) Mix design development for pervious concrete in cold weather climates, *Center for Transportation Research and Education, Iowa State University*, (2), 67-68, 2006.

TUCCI, C. E. M. *Inundações urbanas*, ABRH, Porto Alegre, 2007.

WANG, J.; MENG, Q.; TAN, K.; ZHANG, L.; ZHANG, Y. Experimental investigation on the influence of evaporative cooling of permeable pavements on outdoor thermal environment, *Building and Environment*, (140), 184-193, 2018.