

Irradiância solar em cânions urbanos

Rodrigo M. M. Cardoso¹, Hugo A. Karam¹, Augusto J. Pereira Filho², Edson P. Marques Filho¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

²Universidade de São Paulo (USP)

e-mail: rodmatola@yahoo.com

Resumo

Neste trabalho apresenta-se a metodologia de derivação das equações da média azimutal da irradiância solar incidente sobre superfícies que compõem os cânions urbanos (telhados, paredes e vias), exemplificada neste trabalho para a irradiância sobre as vias. As equações foram implementadas em um modelo de superfície urbana derivado do modelo Town Energy Budget (TEB). Os resultados obtidos em um teste de sensibilidade do modelo, em relação aos fatores (1) variação do albedo e (2) razão de aspecto dos cânions urbanos, indicam a importância relativa destes fatores para a intensidade e evolução do fluxo de calor sensível da cidade e da temperatura do ar dentro dos cânions.

1. Introdução

As equações da média azimutal da irradiância solar incidente sobre superfícies que compõem os cânions urbanos (telhados, paredes e vias) podem ser empregadas para estimativa do balanço de energia em modelos de superfície urbana, como o *Town Energy Budget* (TEB) (MASSON, 2000). Esse tipo de modelo tem sido utilizado para estudos locais, em sua versão externalizada, ou ainda, para previsão de tempo sobre cidades até a escala de bairros (500 m), quando acoplado a um modelo de mesoescala, como por exemplo, o *Advanced Regional Prediction System* (ARPS) da Universidade de Oklahoma.

2. Metodologia

A Fig. 1 representa as componentes da irradiância solar (I) incidente nas paredes de um cânion urbano, isto é, $I_x = I \sin(\lambda) = S^\downarrow \tan(\lambda)$ e $I_z = S^\downarrow = I \cos(\lambda)$. Analisando a parede da esquerda no caso em que ela

está parcialmente iluminada ($\lambda > \lambda_0$, Fig. 1 a) (MASSON, 2000) obtém-se

$$\tan(\lambda) = \frac{w}{a} \Rightarrow a = \frac{w}{\tan(\lambda)}, S_w^\downarrow = \frac{a}{h} S^\downarrow \tan(\lambda) = \frac{w}{h} S^\downarrow \quad (1)$$

(a)

(b)

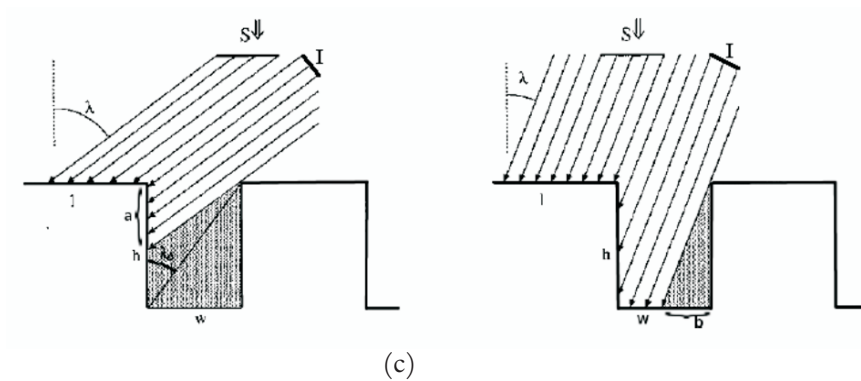


Figura 1. Sombreamento do cânion urbano. (a) Ângulo zenital maior que $\lambda_0 = \text{atan}(w/h)$, (b) Ângulo zenital menor que λ_0 , e (c) geometria de sombreamento da rua para azimute solar qualquer. Referência: modificado de Masson (2000).

Para a parede totalmente iluminada (Fig. 1 b) tem-se $S^\downarrow = I_x = I \sin(\lambda) = S^\downarrow \tan(\lambda)$. Como para ambos os casos a parede da direita não está iluminada, a média da parede da esquerda com a direita fica:

$$S_w^\downarrow\left(\theta = \frac{\pi}{2}\right) = \begin{cases} (1/2)\frac{w}{h}S^\downarrow & \text{para } \lambda > \lambda_0 \\ (1/2)\tan(\lambda)S^\downarrow & \text{para } \lambda < \lambda_0 \end{cases} \quad (2)$$

Para a radiação que chega na rua $I_z = S^\downarrow = I \cos \lambda$, uma análise geométrica mostra que $\tan \lambda = b/h \Rightarrow b = h \tan \lambda$. A fração da energia da parte não-iluminada é dada por $(b/w)I \cos \lambda = (h/w)S^\downarrow \tan(\lambda)$. Então a energia da parte iluminada pode ser escrita como $S^\downarrow - (h/w)S^\downarrow \tan \lambda$, o que resulta dois casos particulares associados ao sombreamento (Fig. 1):

$$S_r^\downarrow(\theta = \pi/2) \equiv \begin{cases} 0 & \text{para } \lambda > \lambda_0 \\ [1 - (h/w)\tan \lambda]S^\downarrow & \text{para } \lambda < \lambda_0 \end{cases} \quad (3)$$

Note-se ainda que para $(\lambda > \lambda_0)$ a rua está sobre a sombra e não recebe a irradiância solar direta. Para considerar outras orientações do cânion, substitui-se w por $w/\sin \theta$ nas expressões da rua e parede e então multiplica-se a expressão da parede por $\sin \theta$ (Masson, 2000). Como θ_0 é a orientação crítica, i.e., o azimute do eixo do cânion para o qual a rua não recebe mais radiação solar direta ou aquele para o qual essa irradiância seja mínima, tem-se $\tan(\pi/2 - \lambda_i) = \cot(\lambda) = \tan \lambda_i = h/w_2$, cujas implicações de ordem geométrica são $w_2 = h \tan \lambda_i$, $\sin \theta_0 = w/w_2 = w/[h \tan \lambda]$ e $\theta_0 = \arcsin [(w/h) \tan^{-1} \lambda]$. Uma média azimutal do efeito dos cânions considerando isotropia espacial é feita através de uma integração por partes: a primeira de θ entre 0 e θ_0 e a segunda entre θ_0 e $\pi/2$. Logo a irradiância sobre a via pode ser escrita como:

$$S_r^\downarrow = \frac{2}{\pi} S^\downarrow \int_0^{\theta_0} \left(1 - \frac{h}{w} \sin(\theta) \tan(\lambda)\right) d\theta + \frac{2}{\pi} S^\downarrow \underbrace{\int_{\theta_0}^{\pi/2} \left(1 - \frac{h}{w} \sin(\theta) \tan(\lambda)\right) d\theta}_0 \quad (4)$$

$$S_r^\downarrow = \frac{2}{\pi} S^\downarrow \left[\frac{2\theta_0}{\pi} - \frac{2}{\pi} \frac{h}{w} \tan(\lambda) (1 - \cos(\theta_0)) \right]$$

3. Resultados e conclusões

Um experimento numérico baseado em planejamento fatorial 2^2 (com 4 realizações) foi utilizado na análise da sensibilidade do modelo TEB aos parâmetros albedo da cidade (fator 1) e razão de aspecto dos cânions urbanos (fator 2). Esse tipo de metodologia é analisado por BARROS NETO *et al.* (1995). Em nosso caso, um modelo não-linear do tipo $H = \bar{H} + F_1 X_1 + F_2 X_2 + F_{12} X_1 X_2$ foi empregado, onde F_i são os coeficientes dos fatores, X_i são as variáveis normalizadas: 0 para o valor baixo e 1 para o valor alto do *albedo* ($i = 1$) e da *razão de aspecto* ($i = 2$), respectivamente, H é o fluxo de calor sensível da cidade (variável prognóstica) e \bar{H} é seu valor *ensemble*. Os resultados do teste de sensibilidade indicam a importância relativa dos parâmetros 1 e 2 na definição das componentes do balanço de radiação da cidade. No caso do fluxo de calor sensível uma variação do albedo de 0,12 para 0,16 pode reduzir o fluxo de calor sensível entre 25 e 50 $W m^{-2}$ e a temperatura do ar no cânion em aproximadamente $1^\circ C$ (ao meio dia). Já uma variação da razão de aspecto de 0,5 para 1 também implica em uma redução de ambas as variáveis analisadas, mas em menor amplitude.

4. Agradecimentos

À UFRJ e ao CNPq pela bolsa PIBIC do primeiro autor.

5. Referências bibliográficas

MASSON, V., A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Bound.-Layer Meteor.*, 94, 357-397, 2000.

BARROS NETO, B., I. S. SCARMINIO e R. E. BRUNS, *Planejamento e otimização de experimentos*. Editora UNICAMP. 2ª ed., 299 pp., 1995.