

Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental

Influence of different surfaces on the temperature and energy flux: an experimental trial

Elis Dener Lima Alves¹ (*)
Francisco Arthur Silva Vecchia²

Resumo

O meio urbano tem apresentado sérios problemas ambientais os quais prejudicam a qualidade de vida das pessoas. Um dos problemas mais relatados se refere às altas temperaturas registradas nas cidades. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade da temperatura superficial e o fluxo de energia em diferentes tipos de uso do solo no meio urbano. Para tanto, utilizou-se de um termômetro infravermelho (TD-920) para a medição da temperatura superficial de seis tipos de superfícies. As medições foram realizadas de hora em hora, em um período de 24 horas. Além da temperatura, foram observadas a nebulosidade, os tipos de nuvens e a ausência ou não de precipitação. Os resultados mostraram que as nuvens, a nebulosidade e a precipitação têm influência direta nos padrões da temperatura e do fluxo de energia. Notou-se que as superfícies artificiais (asfalto e concreto) apresentaram os maiores valores térmicos e os maiores fluxos de energia, enquanto que superfícies naturais (grama e solo nu) apresentaram os menores valores, tendo o asfalto apresentado, em média, 12% a mais de emissão de energia em relação à grama. Portanto, ressalta-se a urgente necessidade de se repensar o uso dos materiais urbanos, para uma melhor qualidade de vida das pessoas.

Palavras-chave: temperatura; fluxo de energia; superfícies; pontos de coleta.

Abstract

The urban environment has presented serious environmental problems which affects the our quality of life. One of the most reported issues refers to the high

-
- 1 Mestre em Física Ambiental; Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental na Universidade de São Paulo, USP; Endereço: Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Universidade de São Paulo, São Carlos, Rodovia Domingos Innocentini, km 13, CEP: 13530-000, Itirapina, São Paulo, Brasil; E-mail: elisdener@usp.br (*) Autora para correspondência.
 - 2 Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo, USP; Endereço: Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Universidade de São Paulo, São Carlos, Rodovia Domingos Innocentini, km 13, CEP: 13530-000, Itirapina, São Paulo, Brasil; E-mail: fvecchia@sc.usp.br

Recebido para publicação em 21/10/2011 e aceito em 28/02/2012

Ambiência Guarapuava (PR) v.8 n.1 p. 101 - 111 Jan./Abr. 2012 ISSN 1808 - 0251
DOI:10.5777/ambiencia.2012.01.08

temperatures recorded in cities. Thus, this study aimed to analyze the variability of surface temperature and the energy flux in different types of land use in urban areas. For this, we used an infrared thermometer (TD-920) in order to measure the surface temperature on six different types of earth surfaces. All the measurements were made every hour over a period of 24 hours. In addition to temperature were observed cloud cover, cloud types, and absence of precipitation. The results showed that the clouds, cloudiness and precipitation directly influenced on the behavior of temperature and energy flux. It was noted that the artificial surfaces (asphalt and concrete) presented more heat and greater fluxes of energy, while natural surfaces (grass and bare soil) had the lowest values. The asphalt had, on average, 12% more energy emission in relation to the grass. Therefore, It was highlighted the urgent need to rethink the use of urban materials for a better quality of life.

Key words: temperature; flux of energy; surfaces; collection points.

Introdução

As áreas urbanas apresentam uma grande diversidade de tipos de superfície, devido à substituição de elementos naturais por elementos artificiais, e isso interfere na estrutura do meio ambiente podendo provocar alterações no ecossistema. As mudanças na rugosidade da superfície, albedo, capacidade térmica, condutividade térmica, emissividade e a poluição irão causar, sobretudo, alterações no balanço de energia urbano, vento, temperatura, umidade do ar, resultando em problemas ambientais (ARNFIELD, 2003; LANDSBERG, 1981).

As diferentes características de cobertura do solo influenciam o aparecimento de um gradiente horizontal de temperatura, conhecido como fenômeno da ilha de calor urbana. A estrutura do ambiente urbano absorve e emite uma quantidade maior de energia em relação a áreas rurais, pelo fato de que os materiais típicos de uma superfície urbana apresentam, em média, menor albedo, menor capacidade térmica e maior

condutividade de calor (LANDSBERG, 1981).

A formação de ilhas de calor e o déficit de umidade são algumas das anomalias encontradas em áreas urbanas, e a causa direta desses fenômenos está relacionada aos processos de troca de energia, mais especificamente aos componentes do balanço de radiação (WHITE et al., 1978; ARNFIELD, 2003). Além disso, as massas de ar sobre a cidade deslocam-se mais lentamente do que sobre a área rural, devido ao incremento da rugosidade do solo que altera a velocidade dos ventos os quais modificam o seu fluxo, dando-lhes características peculiares (ARAÚJO; SOUZA, 2010).

Balanço de radiação em superfícies urbanas

O balanço de radiação em uma determinada superfície é resultado da soma de toda energia radiante recebida e perdida pela superfície indicada pela equação (1) (LANDSBERG, 1981; OKE, 1982) descrita a seguir:

$$Q^* = SW \downarrow + SW \uparrow + LW \downarrow + LW \uparrow \quad (1)$$

Em que Q^* é a radiação líquida; $SW \downarrow$ é radiação solar global; $SW \uparrow$ é a radiação solar refletida pela superfície; $LW \downarrow$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera; $LW \uparrow$ é a radiação de onda longa emitida pela superfície. O balanço de radiação para uma determinada superfície corresponde à soma de toda energia radiante recebida e perdida, no entanto, depende de fatores químicos

Conforme a tabela 1, os componentes, tipicamente utilizados na constituição do meio urbano, têm maior capacidade de retenção de energia do que os que constituem o meio rural. Dessa forma, o meio urbano possui maior capacidade de armazenamento de energia.

Em Vancouver, Canadá, Schmid et al., (1991) verificaram que a evolução da radiação líquida em uma escala de comprimento horizontal (urbano-rural) foi bastante conservador e apresentou pouca variabilidade

Tabela 1. Propriedades radiantes de alguns materiais

Superfície	Albedo	Emissividade μm
Solos	0.05 - 0.40	0.9 - 0.94
Gramma	0.16 - 0.26	0.90 - 0.95
Floresta	0.13 - 0.23	0.97-0.99
Água	0.08 - 0.10	0.85 - 0.95
Concreto	0.10 - 0.35	0.90 - 0.96
Asfalto	0.05 - 0.20	95
Tijolo	0.20 - 0.40	0.90 - 0.92
Rocha	0.20 - 0.35	0.85 - 0.95
Cascalho	0.08 - 0.18	0.92
Cerâmica	0.10 - 0.35	0.9

Fonte: Adaptado de Oke (1987) e Brown e Gillespie (1995).

e físicos associados ao sistema superfície-atmosfera como: elementos de rugosidade, albedo de superfície, difusividade térmica e emissividade.

O albedo indica a capacidade que os materiais têm de refletir a radiação solar; já a difusividade é um indicador importante para avaliar a facilidade de penetração e duração da energia nos objetos, e a emissividade é a capacidade que os materiais possuem de emitir a radiação absorvida (OKE, 1987; GARTLAND, 2010). Na tabela 1, consta o albedo e a emissividade de alguns materiais.

especial diante da análise das temperaturas e albedo de superfície.

No entanto, Grimmond et al., (1996) em estudo de campo na cidade de Los Angeles, em dois locais, um formado por 30% de cobertura vegetal, e outro com apenas 10% de cobertura vegetal, mostrou que a combinação de albedos mais baixos e temperaturas de superfície menores resultam na perda reduzida da $SW \downarrow$ e da $LW \uparrow$, cujo resultado foi o aumento, em torno de 19%, na radiação líquida no local com 30% de cobertura vegetal em relação ao local com

somente 10% de cobertura vegetal ao longo do dia. No período noturno, a radiação líquida foi similar em ambos os locais.

Conforme o observado, a temperatura do ar está correlacionada com a temperatura superficial, sendo que a variabilidade do uso do solo influencia diretamente nos valores térmicos do ar (PRADO e FERREIRA, 2005; COUTTS et al. 2007; ALVES e SPECIAN, 2010). Essa constatação pode ser verificada na lei de Stefan-Boltzman e de Wien.

Lei de Stefan-Boltzman

Todo corpo com temperatura acima de 0K emite energia radiativa, e esta lei diz que a densidade de fluxo de energia emitida (E , em W/m^2) é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta (T , em K), de acordo com a equação (2):

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

Em que ε é o poder emissivo do corpo (emissividade); σ é a constante de Stefan-Boltzman ($= 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} = 4,903 \cdot 10^{-9} MJ/m^2 dK^4$). Para a maioria dos objetos naturais, o poder emissivo varia entre 0,9 e 1,0.

Lei de Wien

Esta lei estabelece que é constante o produto da temperatura absoluta (T , em K), do objeto, pelo comprimento de onda (λ_{max} , em nm) de máxima emissão energética, do próprio objeto (Equação 3), isto é:

$$T \lambda_{max} = cte = 2,898 \cdot 10^6 \text{ nm K} \quad (3)$$

Essa lei é fundamental para se entender o balanço de radiação na superfície da terra. A terra é um corpo cuja temperatura média está ao redor de 300K; enquanto o Sol tem uma temperatura aproximada de 6000K.

O estudo da interação da radiação solar com uma área urbana é considerado um campo de pesquisa pouco explorado e complexo (ARAÚJO; SOUZA, 2010). Desse modo, o objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade da temperatura superficial e o fluxo de energia em diferentes tipos de uso do solo, na cidade de Israelândia (GO), localizada na latitude de 16° 19' 04", Latitude Sul e 50° 54' 29" Longitude Oeste, em abril de 2011.

Materiais e Métodos

Para a coleta de dados, foram estabelecidos 6 pontos (Figura 1) com diferentes superfícies: ponto 1 (solo nu); ponto 2 (bloco de concreto); ponto 3 (concreto novo); ponto 4 (concreto velho); ponto 5 (grama) e ponto 6 (asfalto).

As coletas foram realizadas de acordo com o ciclo diário da radiação, por um período de 24h, sendo coletados dados de temperatura superficial de hora em hora, com início às 7h e término às 6h. Foi estabelecida uma escala de 30:30, ou seja, o termômetro foi posicionado 30cm acima da superfície a ser medida, correspondendo a uma área de 30cm de diâmetro. O aparelho utilizado para as medições foi um termômetro infravermelho (TD-920, ICEL, Manaus), conforme figura 2.

O termômetro infravermelho (TD-920) mede a temperatura superficial de um material sem a necessidade de contato físico.

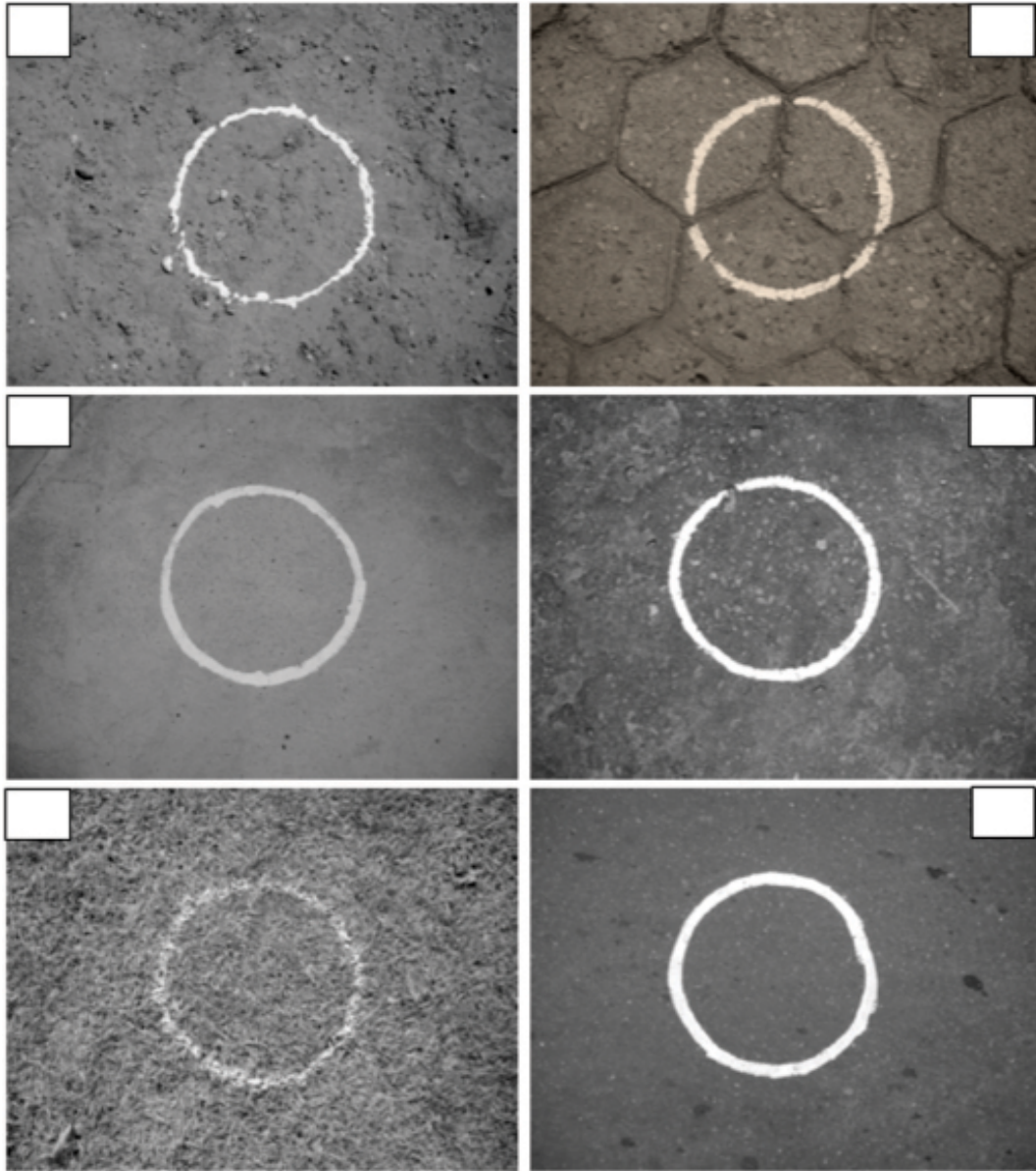


Figura 1. Pontos de coleta: Solo nu (1); bloco de concreto (2); concreto novo (3); concreto velho (4); grama (5); asfalto (6).

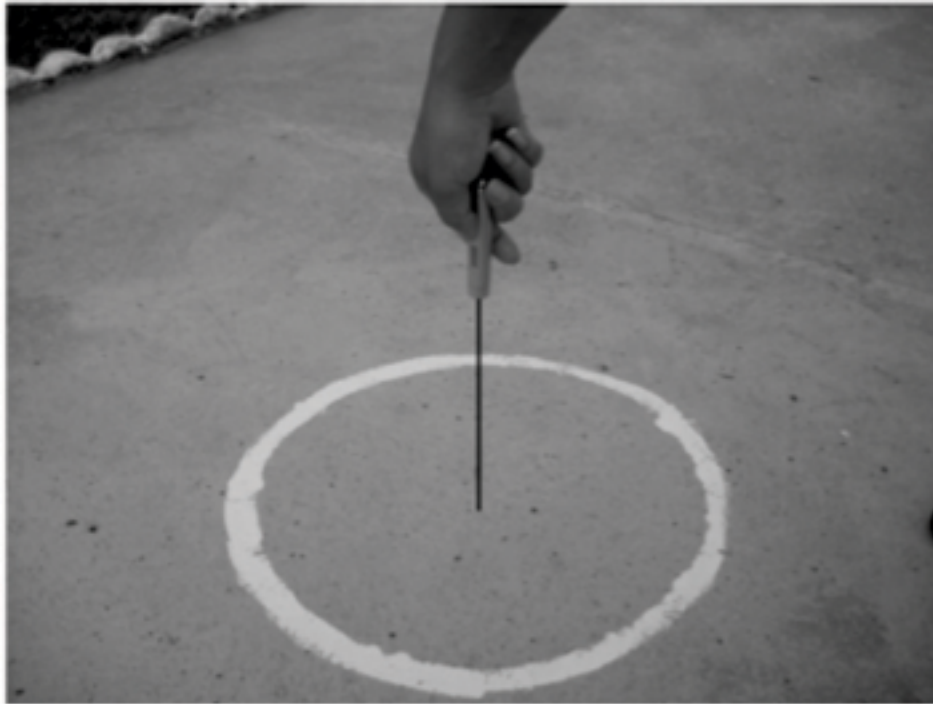


Figura 2. Método de coleta da temperatura superficial.

A unidade de infravermelho é sensibilizada pela energia emitida, refletida e transmitida, que for focalizada no detector. O circuito eletrônico converte a energia recebida em uma medida que é exibida no visor do termômetro. Nesse termômetro a escala é de 1:1, ou seja, a um centímetro de distância do material, o diâmetro da área medida será de um centímetro.

Juntamente com a temperatura superficial, foram observados a nebulosidade, os tipos de nuvens e a ausência ou não de precipitação para cada horário de coleta.

Para a estimativa do fluxo de energia, foi utilizada a equação de Stefan-Boltzman (Equação 2), para o cálculo empregando a emissividade média de cada material; no ponto 1 a emissividade utilizada foi de 0.92, no ponto 2, 3 e 4 foi de 0.93; no ponto 5 foi 0.92, e no ponto 6 foi de 0.95.

Resultados e Discussões

A variação da temperatura superficial, normalmente, acompanha a variação da radiação solar. Entretanto, as características dos materiais, tais como: a condutividade térmica e a capacidade calorífica modificam esse padrão. Materiais com maior condutividade térmica são mais aptos a direcionar energia para seus interiores, e materiais com grande capacidade calorífica são capazes de armazenar mais energia em suas massas. À medida que mais energia é armazenada, a temperatura do material ou superfície aumenta (GARTLAND, 2010).

Na figura 3, observa-se a variação da temperatura superficial dos 6 tipos de uso do solo utilizados nesta pesquisa, juntamente com os dados de nebulosidade, tipos de nuvens e precipitação de hora em hora.

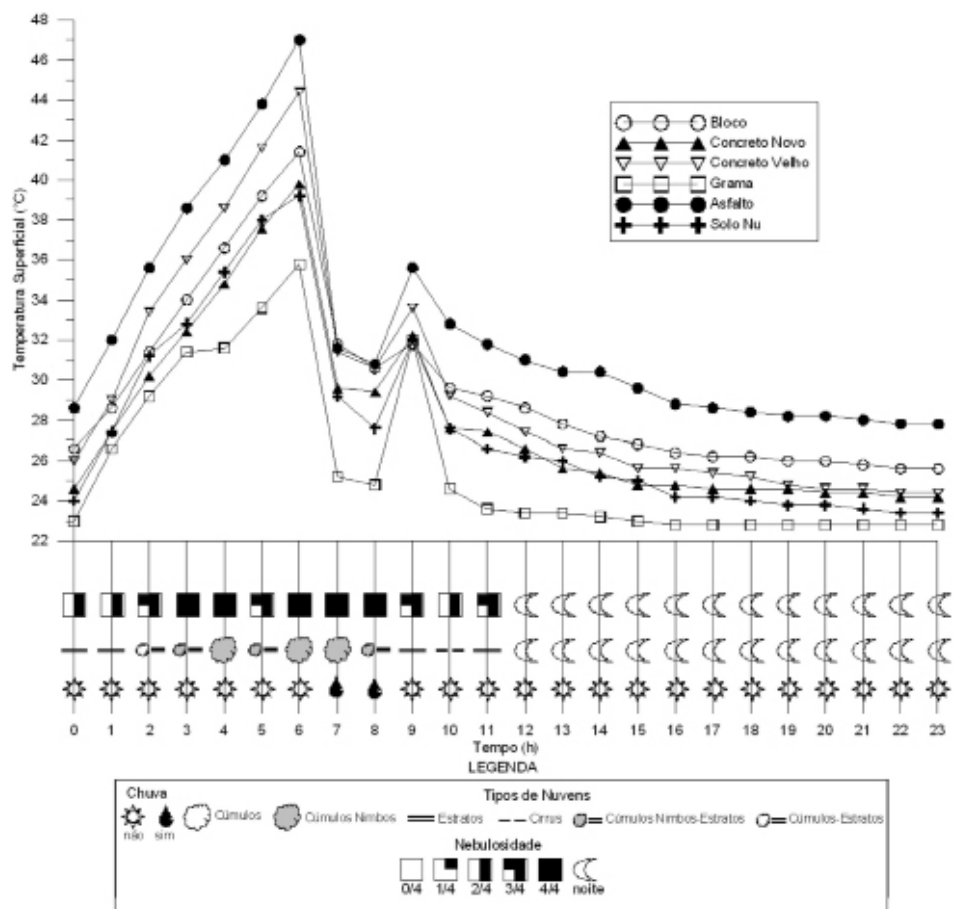


Figura 3. Variação da temperatura superficial. O tempo é relativo ao nascer do sol, de modo que 0h corresponde às 7h

Nota-se a grande influência da precipitação na temperatura, pois parte da energia proveniente da radiação solar absorvida pela superfície é usada como calor latente na evaporação da água nela contida, reduzindo a sua temperatura (REICHARDT; TIMM, 2004). A nebulosidade também contribui para a diminuição da temperatura, porque parte da radiação solar é interceptada pelas nuvens, antes que a mesma atinja o solo. Verifica-se, também que, após o anoitecer, a temperatura diminui gradativamente, devido

à diferença de temperatura das superfícies e da temperatura do ar, em que a energia flui do corpo de maior energia (superfície) para o de menor (ar) (ALVES, 2010).

Conforme observado por Gartland (2010), as superfícies constituídas por asfalto, normalmente, apresentam temperaturas elevadas se comparadas aos outros materiais. Na figura 3, isso fica evidente, pois a superfície de asfalto, apresentou as maiores temperaturas. Esse fato não foi observado somente quando ocorreu precipitação,

situação em que os valores térmicos ficaram homogêneos em todas as superfícies, devido ao processo de evaporação da água que utilizou a energia retida nos materiais em forma de calor latente para a mudança de estado da água.

Os dois pontos (concreto novo, e concreto velho) com superfícies semelhantes, obtiveram valores de temperatura diferentes, fato interessante, que pode ser explicado pelo processo de deposição de detritos e de intemperismo, pois os concretos são

inicialmente cinza-claros, com 30-40% de reflectância solar, mas, com o tempo, o concreto fica mais sujo e sua reflectância diminui de 25-35% (GARTLAND, 2010), por isso o concreto velho apresenta valores superiores ao concreto novo. O bloco de concreto (ponto 1), até o momento da precipitação, obteve temperaturas intermediárias em relação aos concretos, entretanto, após a chuva e o crepúsculo, o mesmo apresentou valores superiores às superfícies de concreto, por causa de sua

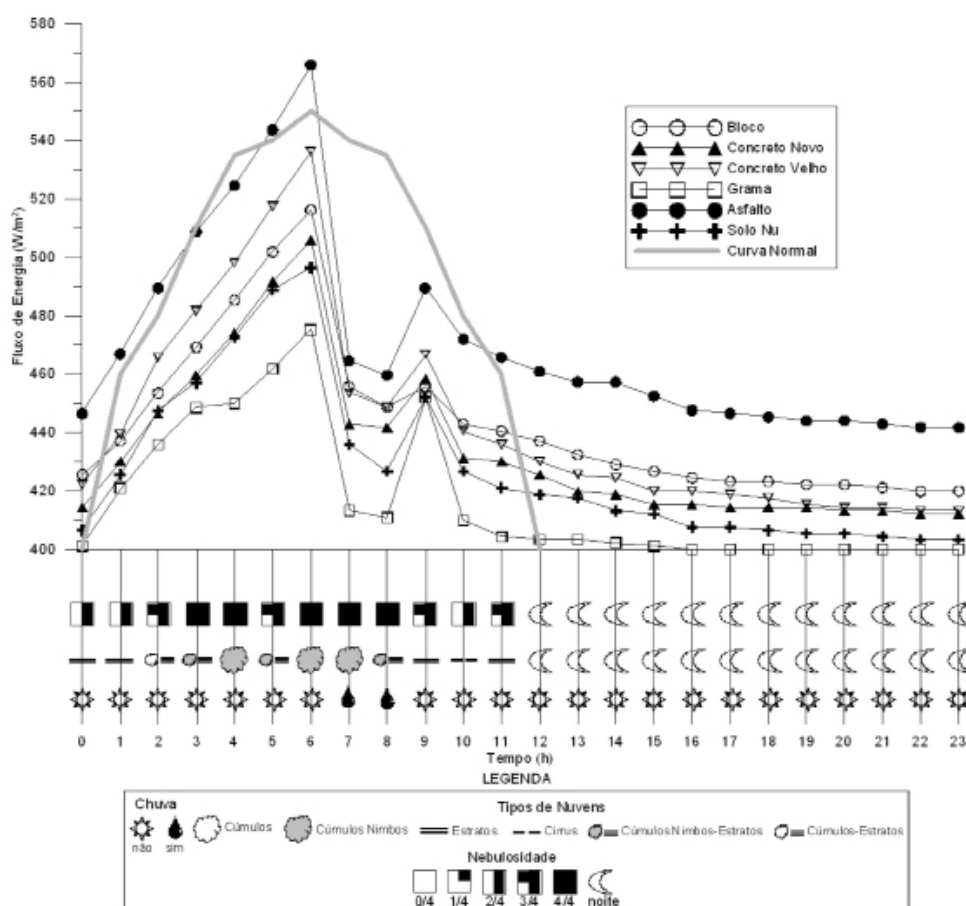


Figura 4. Fluxo de energia de diferentes superfícies. O tempo é relativo ao nascer do sol, de modo que 0h corresponde às 7h

composição bastante heterogênea, que aumenta o seu calor específico.

Nota-se que a superfície gramada e de solo nu apresentaram as menores temperaturas, fato que confirma a importância de superfícies permeáveis nos períodos chuvosos, em detrimento de superfícies impermeáveis, como concreto e asfalto. Entretanto ressalta-se que a permeabilidade do recobrimento da superfície não é o fator preponderante da temperatura superficial, mas sim o próprio tipo dela e sua composição físico-química.

Em condições de céu claro, sem a presença de nuvens, a variação do fluxo de energia de ondas longas (energia emitida pela superfície) apresenta uma curva normal

(Figura 4), porém em dias nublados com precipitação, a curva do fluxo de energia pode apresentar padrão distinto, conforme apresentado nos pontos de coleta da figura 4.

Nota-se, na figura 4, o valor elevado da energia emitida pela superfície de asfalto, chegando a 565 W/m² às 6 horas, após o nascer do sol. Também foi nesse período que as outras superfícies apresentaram os maiores valores de emissão de radiação: bloco (516 W/m²), concreto novo (506 W/m²), concreto velho (536 W/m²), grama (475 W/m²) e solo nu (496 W/m²). Observa-se que as superfícies tipicamente urbanas, como o asfalto e concreto, são as superfícies que mais emitem radiação e, conseqüentemente, aumentam a temperatura do ar, criando o

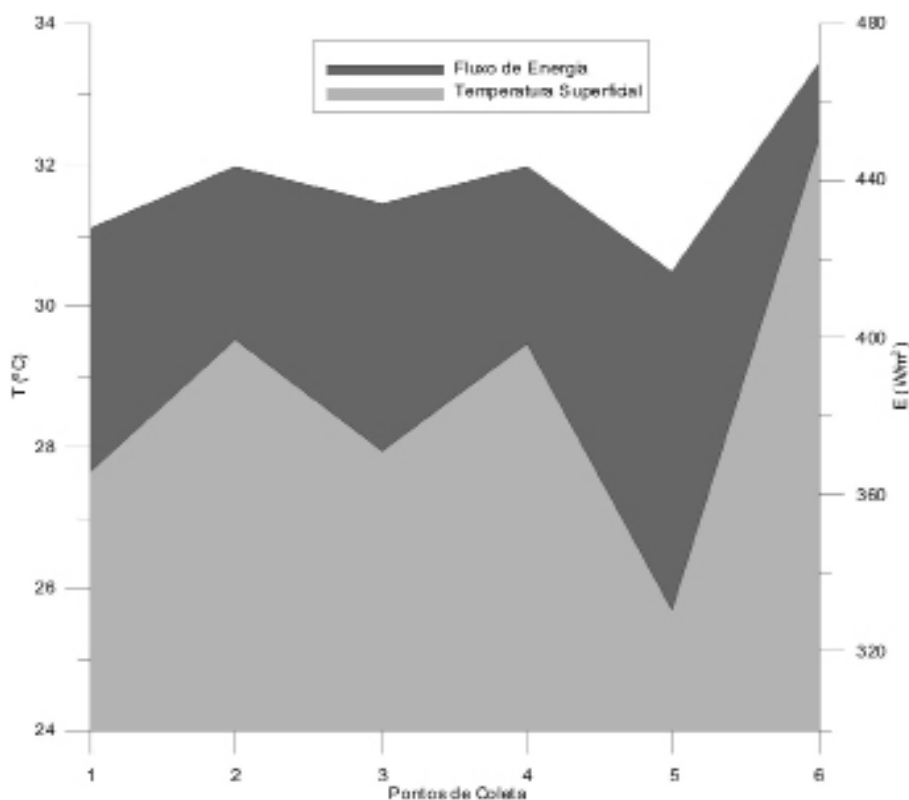


Figura 5. Variação média da temperatura superficial e do fluxo de energia nos pontos de coleta

chamado clima urbano, conforme definido por Landsberg (1981).

Verifica-se que o fluxo da energia emitida pelas superfícies, após o pôr do sol, tende a cair gradativamente. Algumas superfícies demoram mais a perder a energia absorvida, e conseguem manter um fluxo de energia elevado algumas horas depois do entardecer, o caso, por exemplo, do asfalto. Outras superfícies não apresentam essa característica, como o solo nu e a grama (Figura 4).

Conforme se observa na figura 5, constata-se que o fluxo da energia está diretamente correlacionado com a temperatura de superfície, conforme o que é descrito na lei de Stefan-Boltzman (Equação 2). Averigua-se que, em média, os pontos 1 (solo nu) e 5 (grama) apresentaram os menores valores de temperatura e de fluxo de energia, sendo que a superfície de asfalto apresentou, em média, 12% a mais de emissão de energia que a grama, e 9% a mais que o solo nu. Por isso exalta-se a importância de superfícies naturais em meio ao ambiente artificializado, criado pelo homem.

Considerações Finais

A coleta de dados, em escala horária, de diferentes superfícies, foi fundamental para se verificar a variabilidade e os padrões da temperatura e do fluxo e energia, pois as condições momentâneas do tempo (nuvens, nebulosidade, precipitação) têm influência direta nos resultados.

Notou-se que a variabilidade do fluxo de energia de ondas longas recebe influência significativa de acordo com as condições do tempo e do material envolvido. As superfícies artificiais (asfalto e concreto) apresentaram os maiores valores térmicos e os maiores fluxos de energia emitida, enquanto que superfícies naturais (grama e solo nu) apresentaram os menores valores.

Contudo, salienta-se a necessidade de um planejamento urbano em observância dos tipos de superfícies utilizadas, ou seja, é imprescindível o uso de superfícies naturais dentro do ambiente urbano, fim de que os problemas ambientais, tais como: ilhas de calor, possam ser mitigadas.

Referências

ALVES, E. D. L. Ilha de calor ou ilha de energia térmica: um conceito aberto à discussão. **Revista Espaço Acadêmico**, Maringá, v. 10, n. 110, p. 124-129, 2010.

ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. Estudo do Comportamento Termohigrométrico em Ambiente Urbano Estudo de Caso em Iporá-GO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 3, n.2, p. 87-95, 2010.

ARAÚJO, T. L.; SOUZA, E. P. de. Influência da Superfície no Balanço de Energia e na Intensidade da Precipitação Urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 3, n.3, p. 204-217, 2010.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review o turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, v. 23, p. 1-26, 2003.

BROWN, R. D.; GILLESPIE, T. J. **Microclimate landscape design**: Creating thermal comfort and energy efficiency. Canadá: John Wiley & Sons, 1995. 193p.

COUTTS, A. M.; BERINGER, J.; TAPPER, N. J. Impact of increasing urban density on local climate: Spatial and temporal variations in the surface energy balance in Melbourne, Australia. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 46, n. 4, p. 477-493, 2007.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução: 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 248p.

GRIMMOND C. S. B.; SOUCH, C.; HUBBLE, M. D. Influence of tree cover on summertime surface energy balance fluxes, San Gabriel Valley, Los Angeles. **Climate Research**, v. 6, n.1, p. 45-57, 1996.

LANDSBERG, H. E. **The Urban Climate**. New York: Academic Press, 1981. 271p.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. New York: Routledge, 1987. 435p.

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, p. 295-300, 2005.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. São Paulo: Editora Manole, 2004. 478 p.

SCHMID, H. P.; CLEUGH, H. A.; GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. **Spatial variability of energy fluxes in suburban terrain**. *Boundary Layer Meteorology*, v. 54, n.3, p. 249-276, 1991.

WHITE, J. M.; EATON, F. D.; AUER, A. H. The Net Radiation Budget of the St. Louis Metropolitan Area. **Journal of Applied Meteorology**, v. 17, n.5, p. 593-599, 1978.