

# Efeito do sombreamento arbóreo na temperatura superficial e no fluxo de energia em diferentes coberturas urbanas em Cuiabá-MT

## Effect of arboring shading on surface temperature and energy flow on different urban coverings in Cuiabá-MT

*Karyn Ferreira Antunes Ribeiro*<sup>1</sup> 

*Marcos de Oliveira Valin Jr*<sup>2</sup> 

*Juliana Queiroz Borges de Magalhães Chegury*<sup>3</sup> 

*Flávia Maria de Moura Santos*<sup>4</sup> 

*Thiago Rangel Rodrigues*<sup>5</sup> 

*Leone Francisco Amorim Curado*<sup>6</sup> 

*José de Souza Nogueira*<sup>7</sup> 

### Resumo

As ações humanas têm contribuído nas mudanças térmicas nos ambientes urbanos em escala microclimática através de tipos de revestimentos que possuem propriedades de armazenarem e transmitirem energia. Uma das estratégias de melhorar termicamente as cidades é a implantação da arborização. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar o efeito do sombreamento arbóreo na temperatura superficial e no fluxo de energia de diferentes coberturas urbanas nos períodos seco e chuvoso na cidade de Cuiabá-MT. Como referencial foi utilizado um local sem arborização com esses mesmos revestimentos. Analisaram-se dados de temperatura superficial, temperatura e umidade relativa do ar, coletados às 08h, 14h e 20h. Foi utilizada a técnica não paramétrica Bootstrap para as comparações das temperaturas superficiais. Os resultados apontam que os cenários arborizados apresentaram um “resfriamento” em relação as superfícies não sombreadas, indicando o papel de relevância do

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

[karyn.ribeiro@cba.ifmt.edu.br](mailto:karyn.ribeiro@cba.ifmt.edu.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

[marcos.valin@cba.ifmt.edu.br](mailto:marcos.valin@cba.ifmt.edu.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

[julianaqbchegury@gmail.com](mailto:julianaqbchegury@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

[flavia\\_mms@hotmail.com](mailto:flavia_mms@hotmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

[thiagorangel@pgfa.ufmt.br](mailto:thiagorangel@pgfa.ufmt.br)

<sup>6</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

[leonecurado@gmail.com](mailto:leonecurado@gmail.com)

<sup>7</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

[nogueira@ufmt.br](mailto:nogueira@ufmt.br)

Recebido em: 18/04/2017; Aceito em: 16/05/2018

sombreamento arbóreo para a mitigação da elevação da temperatura, principalmente no horário da tarde, período que ocorreu as maiores diferenças de temperaturas superficiais média entre os cenários mangueira e sem arborização, com destaque no material asfalto com até 15°C de diferença no período seco. Nesse contexto cabe ressaltar a influência da radiação solar nos resultados das temperaturas superficiais e nos tipos de materiais construtivos utilizados nas cidades. Assim, este estudo conseguiu relacionar variáveis importantes para a caracterização do meio urbano local, sugerindo que a arborização nesse meio é fundamental para a mitigação da elevação da temperatura superficial.

**Palavras-chave:** Arborização, temperatura e umidade relativa do ar, revestimento do solo.

### **Abstract**

Human actions have contributed to the thermal changes in urban environments on a microclimatic scale through types of coatings that have properties of storing and transmitting energy. One of the strategies of thermally improving cities is the implementation of afforestation. Thus, the objective of this study was to analyse the effect of tree shade on the surface temperature and energy flux of different urban coverages in the dry and rainy season in the city of Cuiabá-MT. As a reference, a site was used without afforestation with these same coatings. Analyses of surface temperature, temperature and relative humidity were collected at 08h, 14h and 20h. The non-parametric Bootstrap technique was used for comparisons of surface temperatures. The results indicate that the woody scenarios showed a "cooling" in relation to the unshaded surfaces, indicating the importance of arboreal shading for the mitigation of the elevation of temperature, especially in the afternoon, during which time the greatest differences in surface temperatures occurred between the hose and non-afforestation scenarios, with emphasis on asphalt material up to 15 ° C difference in the dry period. In this context it is important to highlight the influence of solar radiation on the results of surface temperatures and types of building materials used in cities. Thus, this study was able to relate important variables to the characterization of the local urban environment, suggesting that the afforestation in this environment is fundamental for the mitigation of surface temperature elevation.

**Keywords:** Afforestation, temperature and relative humidity, soil coating.

## Introdução

A paisagem urbana é o resultado das mudanças no meio físico natural provocadas pelo homem, que ao longo do tempo têm contribuído nas modificações em escala microclimática, por meio das substituições de áreas verdes por construções, aumento da rugosidade e diminuição do albedo das superfícies, verticalização das cidades, aumento do fluxo de veículos, além

da impermeabilização do solo com as crescentes utilizações de materiais como asfalto e concreto, que alteram o balanço de energia (ARNOLD; GIBBONS, 1996; HAASE; NUISSL, 2007; ARTMANN, 2014).

Os diferentes tipos de coberturas do solo como campo, pasto, água, concreto, dentre outros definem as trocas de energia que ocorrem entre a superfície da Terra e a atmosfera e, portanto, é uma das principais ações antrópicas que determinam a alteração do microclima local, (MILLY et al., 2005; PATTERSON et al., 2013; BERGHUIJS et al., 2014; SALMORAL et al., 2015). Um dos componentes mais importantes do balanço de radiação, que é caracterizado pelas condições de reflexão da superfície é o albedo. O albedo é igual a razão entre a radiação eletromagnética refletida pela superfície e a incidente (PEREIRA et al. 2007, CURADO et al. 2016). Em geral, superfícies secas e de cores claras refletem mais radiação que superfícies úmidas (BRAGA et al., 2009). Portanto, o albedo depende diretamente das propriedades físicas destes corpos, tais como densidade, textura e cor, influenciando consideravelmente na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para a atmosfera, contribuindo para o aumento da temperatura do ar (BARBIRATO et al., 2007).

Quanto maior as áreas de concreto e asfalto, maiores são os ganhos de calor e emissividade para o espaço urbano, o que contribui para a existência de temperaturas elevadas, causando desconforto térmico para o usuário dos espaços urbanos (OKE, 1974; ZHAO et al., 2014), e provocando mudanças importantes nas propriedades físicas e químicas da atmosfera, propiciando, assim a criação de condições climáticas distintas das áreas não urbanizadas.

As mudanças na cobertura do solo, na rugosidade da superfície, no albedo, na capacidade térmica, na condutividade térmica, na emissividade, quando ocorrem na escala regional e local, provocam alterações no microclima urbano que afetam o equilíbrio térmico urbano e contribuem para temperaturas mais altas, resultando em problemas ambientais, e

necessidade energética em edifícios para o arrefecimento dos ambientes (ROMEO; ZINZI, 2005; SOLECKI et al., 2005; ALVES; VECCHIA, 2012; SANTAMOURIS, 2015).

Os materiais urbanos (asfalto, concreto e etc.) possuem capacidade térmica mais elevada que a dos materiais das áreas rurais (solo, tijolo de adobe, madeira e etc.) e são melhores condutores de calor. Estes materiais absorvem uma alta porcentagem de radiação solar de ondas curtas durante o dia e tendem a irradiá-las para o meio ambiente mais facilmente do que superfícies em áreas suburbanas de baixa densidade ou rural (DEL CARPIO et al., 2016).

Uma das alternativas que podem contribuir para tornar os ambientes confortáveis termicamente é a arborização urbana. As principais características citadas por pesquisadores sobre os benefícios da vegetação são: interceptação da radiação solar sobre a superfície (NOWAK et al., 2000), redução da poluição do ar (ORTOLANI; VITALE, 2016), do ruído, do consumo de energia em regiões quentes, dentre outros (GOMES; SOARES, 2003; TAKÁCS et al., 2016).

Estudos mostram que áreas verdes urbanas fornecem um meio de adaptação e mitigação de ilha de calor urbano e mudanças climáticas locais. Isso ocorre por meio do efeito da vegetação na modificação da temperatura (BALOGUN et al., 2014). A presença de árvores altera a rugosidade da paisagem superficial afetando os movimentos do ar que interferem nas temperaturas locais (BONAN, 1997).

As áreas verdes urbanas afetam direta e indiretamente o consumo de energia através de sombreamento de edifícios e arrefecimento ambiente (AKBARI et al., 2001). As copas das árvores interceptam a luz solar reduzindo o aquecimento, diminuem a velocidade do vento e resfria o ar pela evapotranspiração (TAKÁCS et al., 2016). De acordo com Balogun et al. (2014), as árvores decíduas, permitem a passagem de luz solar durante o inverno, mas interceptam durante o verão, proporcionando o aquecimento e

arrefecimento local. Assim, elas interferem diretamente na temperatura e qualidade do ar e na redução do consumo de energia. Contudo, essa interação varia de acordo com o microclima da região.

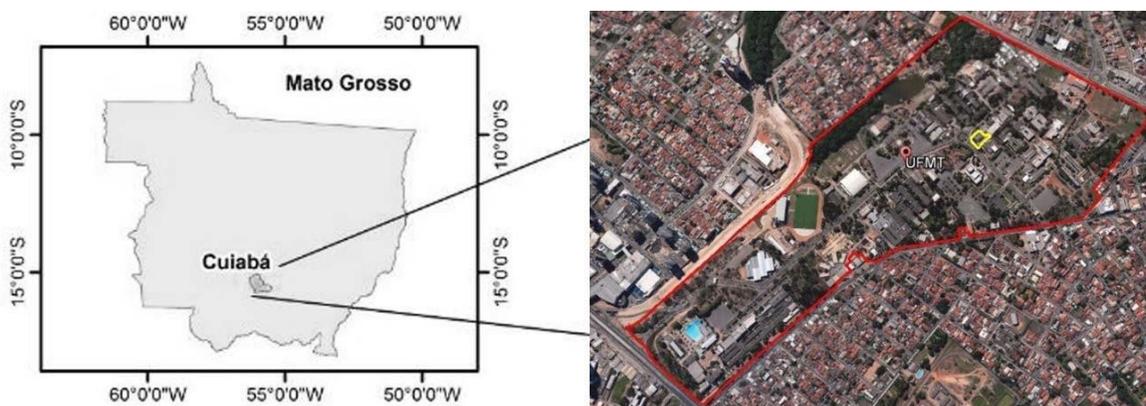
Nesse contexto, o objetivo deste artigo foi analisar o efeito do sombreamento arbóreo na temperatura superficial e o fluxo de energia em diferentes superfícies urbanas, nos períodos seco e chuvoso na cidade de Cuiabá-MT.

## Materiais e métodos

### Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido na cidade de Cuiabá – MT, dentro do *campus* da UFMT (Figura 1), caracterizado por um ambiente heterogêneo, com diferentes tipos de superfícies urbanas e ocupação do solo.

**Figura 1** - Mapa do Estado de Mato Grosso e Campus da UFMT- Cuiabá.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2015)

### Construção e disposição das placas de diferentes materiais

Foram confeccionadas placas de materiais construtivos tipicamente utilizados nas superfícies urbanas (solo, concreto e asfalto), com as seguintes características:

- Solo: foi utilizado o solo da região da Baixada Cuiabana, apresentava 21% de umidade no momento da compactação. As dimensões das placas de solos foram 60x60x10 cm.
- Concreto: o traço utilizado foi (1:2.12:2.88:0.5 – cimento:areia:brita:água), seguindo as recomendações de um concreto convencional. As dimensões das placas de concreto foram 30x30x10cm, tal opção foi escolhida por causa da dificuldade de manuseio de placas com maiores dimensões, devido ao peso.
- Asfalto: traço foi (1:4,81:10,3:2,06:0,3 – emulsão:areia:pedrisco:brita:água), o ligante utilizado foi a emulsão asfáltica (RL 1C), muito utilizado em “tapa buracos” nas cidades. As dimensões das placas de asfalto foram de 30x30x10cm, sendo inviável confeccionar em maiores dimensões por causa do peso; não foram retiradas das fôrmas, pois o asfalto é um material flexível não podendo serem retirados dos moldes.

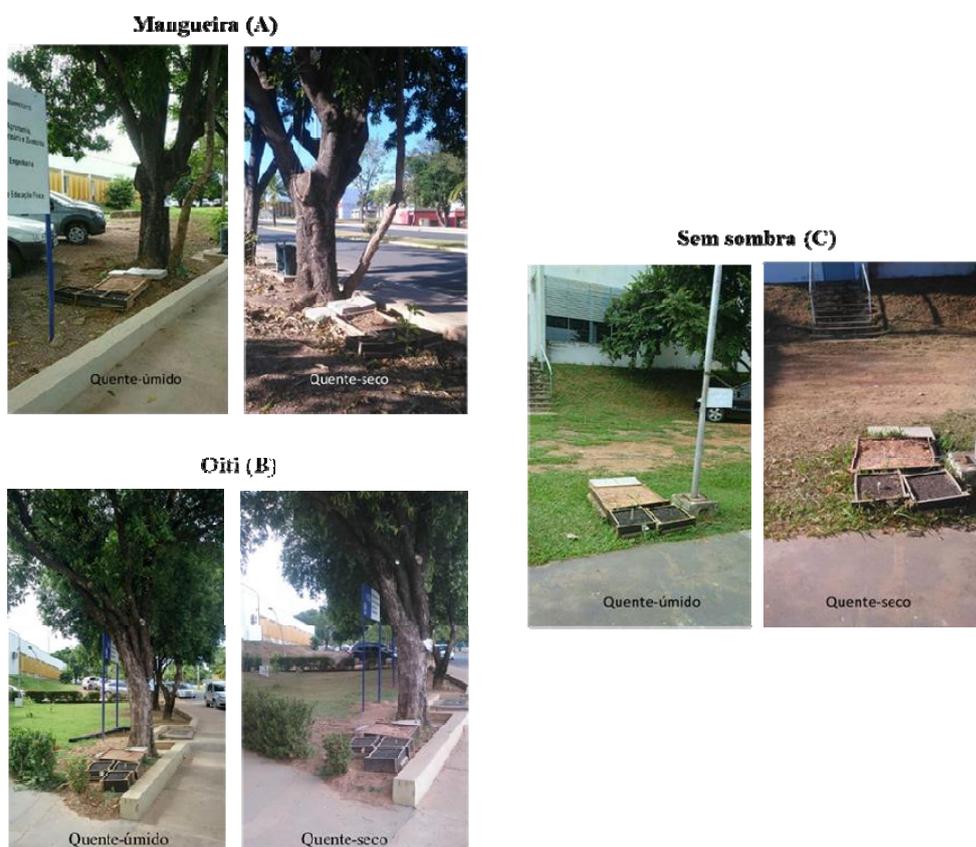
As placas de diferentes materiais foram instaladas em três situações distintas (Figura 2): sob a copa das espécies arbóreas oiti (*Licania tomentosa*) e mangueira (*Mangifera indica*) e noutro local sem arborização (Figura 3).

**Figura 2** - Locais das coletas de dados.



Fonte: Adaptado Google Earth (2015)

**Figura 3** - Os cenários oiti, mangueira e sem sombra, nos diferentes períodos (seco e úmido)



Fonte: Arquivo dos autores.

### Coletas de dados de temperatura superficial, temperatura do ar e umidade relativa do ar

Os dados de temperatura superficial foram coletados em conjunto com a temperatura do ar e umidade do ar, nos três períodos do dia (manhã, tarde e noite) às 08h, 14h e 20h. No período chuvoso as coletas foram no mês de março e abril e no período quente-seco foi no mês de agosto.

Para a coleta de dados da temperatura superficial foi utilizado o termômetro digital infravermelho com mira laser, modelo MT-360 (marca Minipa), o equipamento opera em intervalo de temperatura do ar de -30°C a 550°C, com resolução de (0,5°C/1°C).

Para a temperatura e umidade relativa do ar, foi utilizado o equipamento termo-higro-anemômetro digital portátil, modelo THAR-185H (marca Instrutherm), a faixa de temperatura do equipamento é de 0°C a 50°C e a umidade de 10% a 95%. Foi utilizado um abrigo de tubo de PVC para proteger o termo-higro-anemômetro durante a coleta de dados. Cox (2008), Franco (2010) e Santos (2012) foram alguns dos pesquisadores que utilizaram esse mesmo tipo de abrigo nos seus estudos.

As coletas da temperatura e da umidade relativa do ar (transecto móvel) foram realizadas em cada cenário, nos três horários. E a temperatura superficial foi realizada em cada material, ou seja, três coletas por cenário por horário. O termômetro mira laser foi acionado no centro de cada placa.

Segundo Alves e Vecchia (2012), a temperatura do ar esta correlacionada com a temperatura superficial, esta constatação pode ser verificada pela lei de Stefan-Boltzmann. Em que todo corpo com temperatura acima de 0K emite energia radiativa, segundo esta lei a densidade de fluxo de energia (E) em (W/m<sup>2</sup>) é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta (T) em (K), de acordo com a Equação 1.

$$E = \varepsilon\sigma T^4 \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde  $\varepsilon$  é o poder emissivo do corpo, ou seja, a emissividade  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ).

Para a maioria dos objetos naturais, o poder emissivo varia entre 0,9 a 1,0, (ALVES; VECCHIA, 2012). Os materiais tipicamente utilizados no meio urbano, como solo, concreto e asfalto apresentam valores de albedo entre 0,05-0,40; 0,10-0,35 e 0,05-0,2, respectivamente (OKE, 1987). O albedo indica a capacidade que os materiais têm de refletir a radiação solar, enquanto que a emissividade é a capacidade que os materiais possuem de emitir a radiação absorvida, (CURADO et al., 2016).

Para o cálculo da estimativa do fluxo de energia nos diferentes materiais e período, foi utilizada a equação de Stefan-Boltzmann (Equação 1). Para a emissividade foi empregada a média de cada material, conforme Alves e Vecchia (2012), sendo que no material solo a emissividade adotada foi de 0,92, no concreto de 0,93 e no asfalto 0,95.

A comparação entre os valores da temperatura superficial de todos os cenários foram feitas através da comparação das médias Bootstrap (SOKAL; ROHLF, 1998). A escolha de um método de reamostragem não paramétrico como o Bootstrap foi feita por causa da facilidade de trabalhar com tal método, visto que as condições de normalidade dos dados não é necessária, como quando se trabalha com um teste paramétrico.

## Resultados e discussões

### Temperatura superficial

Segundo Ávila et al. (2014) os diferentes tipos de materiais de revestimento são importantes quando se trata da temperatura superficial, pois possuem comportamentos variados quando expostos à radiação, à presença de água, sombreamento e dentre outros. Esses fatores são responsáveis pelas alterações dessas medições.

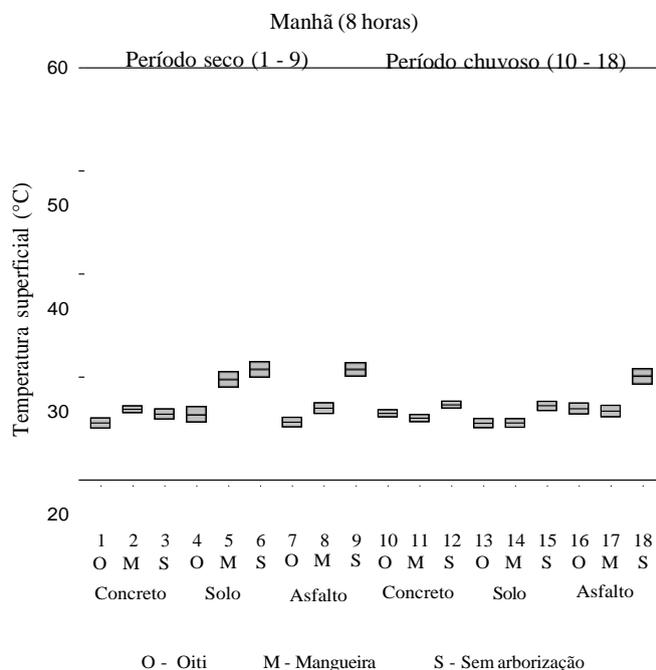
No horário da manhã (Figura 4) a temperatura média superficial mais elevada ocorreu no cenário sem arborização e no material asfalto com 30,76°C. As maiores amplitudes entre os valores máximos e mínimos foram no período seco, no material solo e nos cenários oiti (1,44), mangueira (1,44) e sem arborização (1,42). A menor temperatura média registrada foi de 25,53°C no material solo na espécie oiti e no período chuvoso. Ao comparar os valores médios registrados no material solo entre os cenários (oiti/mangueira e oiti/sem arborização) e no período seco é possível verificar uma diferença de 3,4°C e de 4,3°C, respectivamente. A diferença entre o oiti/sem arborização já era esperado, porém entre oiti/mangueira não, isso pode ter ocorrido devido a posição solar nesse horário, o que ocasiona incidência de radiação sobre os materiais.

Apesar disso, de acordo com os valores do Bootstrap (Figura 4), não foi possível notar diferenças significativas entre os cenários e entre os períodos, com exceção dos cenários mangueira no período seco e sem arborização nos dois períodos. Isso pode estar relacionado com a hora da medição (8h), pois a superfície ainda está começando a receber radiação solar e, portanto, ainda não apresenta um aquecimento expressivo.

No horário da tarde (Figura 5), a maior temperatura superficial registrada foi no material asfalto e no período seco (55,9°C). Nesse mesmo período os materiais de concreto apresentaram valores mais baixos que do solo, isso pode ter ocorrido, pelo fato que a coloração do solo era avermelhada enquanto que do concreto cinza claro. Outro fator que pode ter contribuído é a composição do solo, que verificou por meio de um teste tátil-visual a presença de areia, visto que esta possui baixo calor específico (0,12 cal/g°C), superfícies assim, se aquece rapidamente (CURADO et al., 2011).

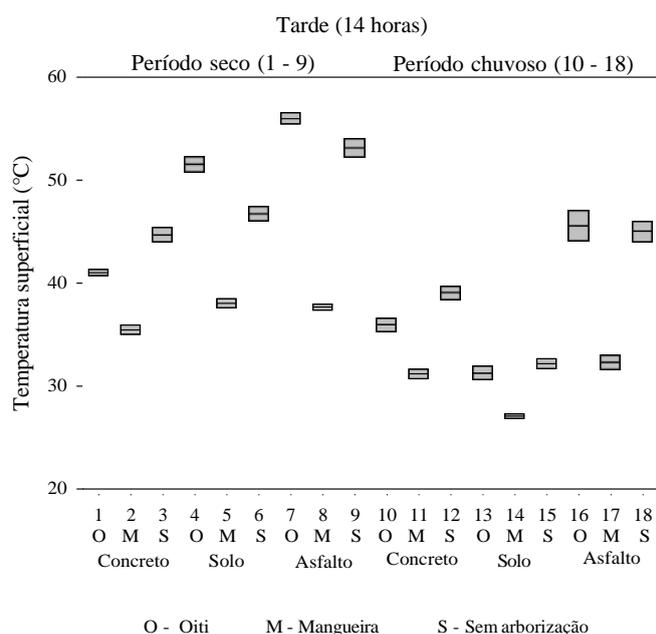
Segundo Curado et al. (2011), a variação da temperatura superficial tende acompanhar a variação da radiação solar e, conforme mais energia é armazenada, mais a temperatura do material ou superfície aumenta.

**Figura 4** - Temperatura superficial nos diferentes materiais, cenários e períodos, no horário da manhã. Cenários: oiti (1, 4, 7, 10, 13 e 16), mangueira (2, 5, 8, 11, 14 e 17) e sem arborização (3, 6, 9, 12, 15 e 17). Materiais: concreto (1, 2, 3, 10, 11, 12 e 13), solo (4, 5, 6, 13, 14 e 15) e asfalto (7, 8, 9, 16, 17 e 18).



Fonte: Org. dos autores (2017)

**Figura 5** - Temperatura superficial nos diferentes materiais, cenários e períodos, no horário da tarde. Cenários: oiti (1, 4, 7, 10, 13 e 16), mangueira (2, 5, 8, 11, 14 e 17) e sem arborização (3, 6, 9, 12, 15 e 17). Materiais: concreto (1, 2, 3, 10, 11, 12 e 13), solo (4, 5, 6, 13, 14 e 15) e asfalto (7, 8, 9, 16, 17 e 18).



Fonte: Org. dos autores (2017)

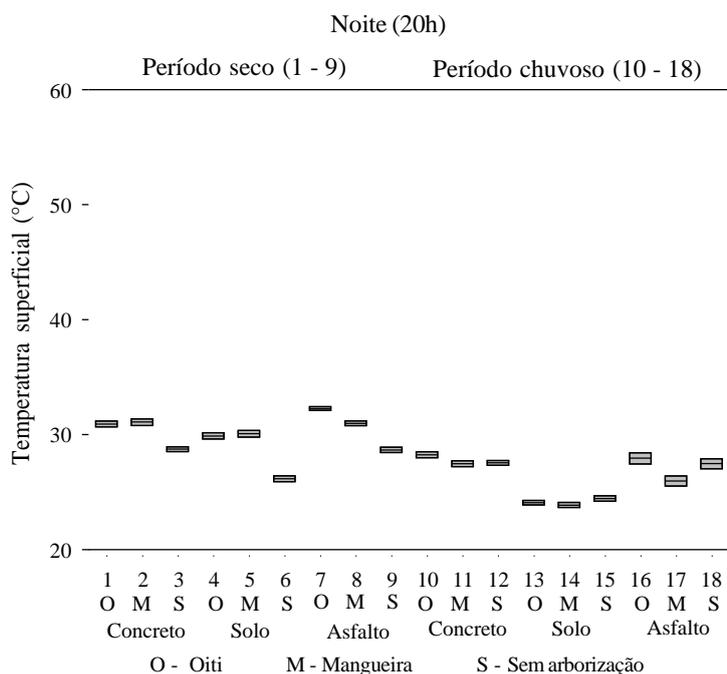
Ao comparar os valores médios registrados no cenário mangueira com o local sem arborização no período da tarde (14h) é possível verificar as diferenças de 9,22°C e 7,83°C no material concreto, sendo nos períodos seco e chuvoso respectivamente. No material solo as diferenças foram de 8,67°C e 5,08°C (períodos seco e chuvoso). Foi no material asfalto que houve as maiores diferenças de temperaturas superficiais, com 15,44°C e 12,73°C, nos períodos seco e chuvoso respectivamente. Isto confirma que o sombreamento arbóreo contribui significativamente para o não aquecimento das superfícies e que o material asfalto tende a aquecer mais quando exposto ao sol, ao ser comparado com os demais materiais.

De acordo com a Figura 5, nota-se um padrão importante neste estudo. Verifica-se a formação de três grupos de temperaturas no período seco, em decorrência do tipo de sombreamento, independente do cenário, o local onde estava o sombreamento da mangueira apresentou menores valores de temperatura superficial, seguida pelo local com oiti e tendo o local sem arborização com maiores valores de temperatura, o que justifica o papel da vegetação na temperatura local. A arborização torna-se então, parâmetro fundamental na mitigação da temperatura em áreas urbanas, semelhante ao que ocorre em outras áreas como Floresta, áreas alagáveis. Tal situação não é verificada no período chuvoso, isso está relacionado com a presença de água que é um regulador térmico, fazendo com que as temperaturas superficiais não apresentassem tanta variação como no período seco. Assim, o sombreamento promovido pela arborização é o fator que mais contribuiu para a redução da temperatura superficial no período em que houve escassez de água no sistema.

No horário da noite (20h) a maior temperatura média registrada foi de 32,24°C (seco), no material asfalto e no cenário pertencente à espécie oiti. Já a menor foi de 23,86°C (chuvoso), no material solo e no cenário sombreado pela espécie mangueira.

O cenário sem arborização no período seco às 20h, obteve temperaturas superficiais menores ou equivalentes em relação as temperaturas superficiais registradas nos cenários sombreados (oiti e mangueira), devido à falta de arborização os materiais tendem a resfriar rapidamente (Figura 6). 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).

**Figura 6** - Temperatura superficial nos diferentes materiais, cenários e períodos, no horário da tarde. Cenários: oiti (1, 4, 7, 10, 13 e 16), mangueira (2, 5, 8, 11, 14 e 17) e sem arborização (3, 6, 9, 12, 15 e 17). Materiais: concreto (1, 2, 3, 10, 11, 12 e 13), solo (4, 5, 6, 13, 14 e 15) e asfalto (7, 8, 9, 16, 17 e 18).



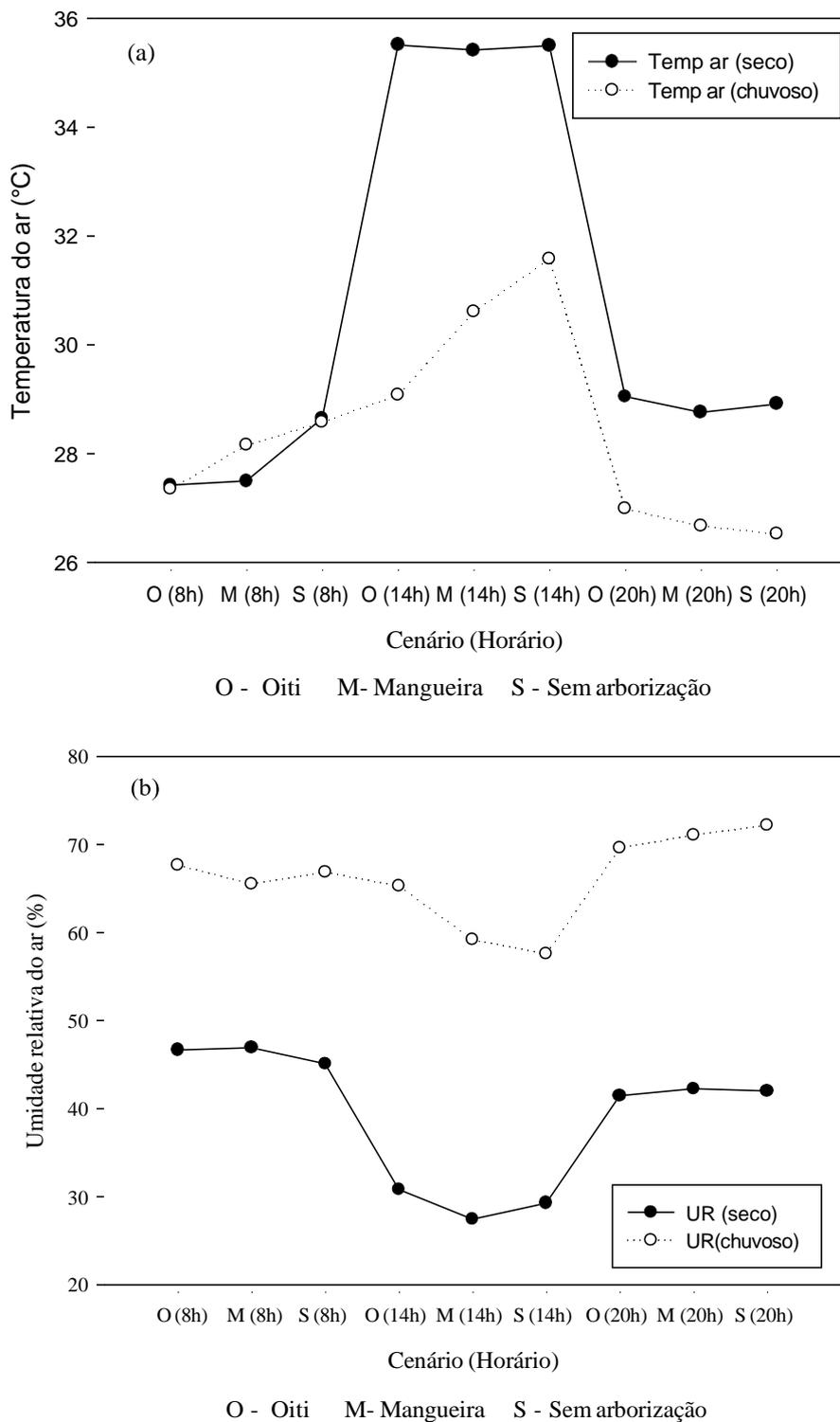
Fonte: Org. dos autores (2017)

### Temperatura do ar, umidade relativa do ar e irradiância da superfície (fluxo de energia)

Conforme a Figura 7, no turno da manhã, as medições de temperatura do ar não apresentaram variações expressivas, entres os três cenários (oiti, mangueira e sem arborização), porém entre os períodos (seco e chuvoso) ocorreu uma variação de 0,66°C no cenário mangueira. No período chuvoso as variações foram de 0,81°C (oiti e mangueira) na temperatura do ar e na umidade relativa do ar de 2,12% (oiti e mangueira), mais elevado que no período seco que foi de 0,08°C e 0,26% (conforme a Tabela 1). A umidade relativa do ar manteve o padrão que a temperatura do ar, entre os cenários e apresentou diferenças entre os períodos, indicando a sazonalidade da região. Segundo Maciel, Nogueira e Nogueira (2011), no período matutino os pontos de coleta ainda estão começando a receber a radiação solar, portanto, as diferenças de temperatura devido à incidência solar ainda não são tão expressivas.

No período da tarde as medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar apresentam as maiores variações entre os períodos com diferença de 6,43°C/-34,45% (oiti), de 4,81°C/-31,73% (mangueira) e de 3,92°C/-28,32% (sem arborização), sendo que o período seco apresenta maiores valores de temperatura e menores valores de umidade relativa. Segundo Maciel, Nogueira e Nogueira (2011), no horário das 14h, todas as maiores temperaturas médias foram registradas nos locais com características predominantemente urbanas (materiais com baixo albedo, bastante massa construída e pouca – ou nenhuma, em alguns casos – vegetação). Em contraponto, todas as menores temperaturas médias foram registradas nos locais com vegetação e sombreamento, demonstrando o potencial de amenizarem o rigor climático característico da região de Cuiabá.

**Figura 7** - Temperatura do ar (a), umidade relativa do ar (b) nos diferentes locais, materiais e períodos.



Fonte: Org. dos autores (2017)

**Tabela 1** - Dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, nos diferentes cenários, nos períodos seco e chuvoso, nos horários da manhã, tarde e noite.

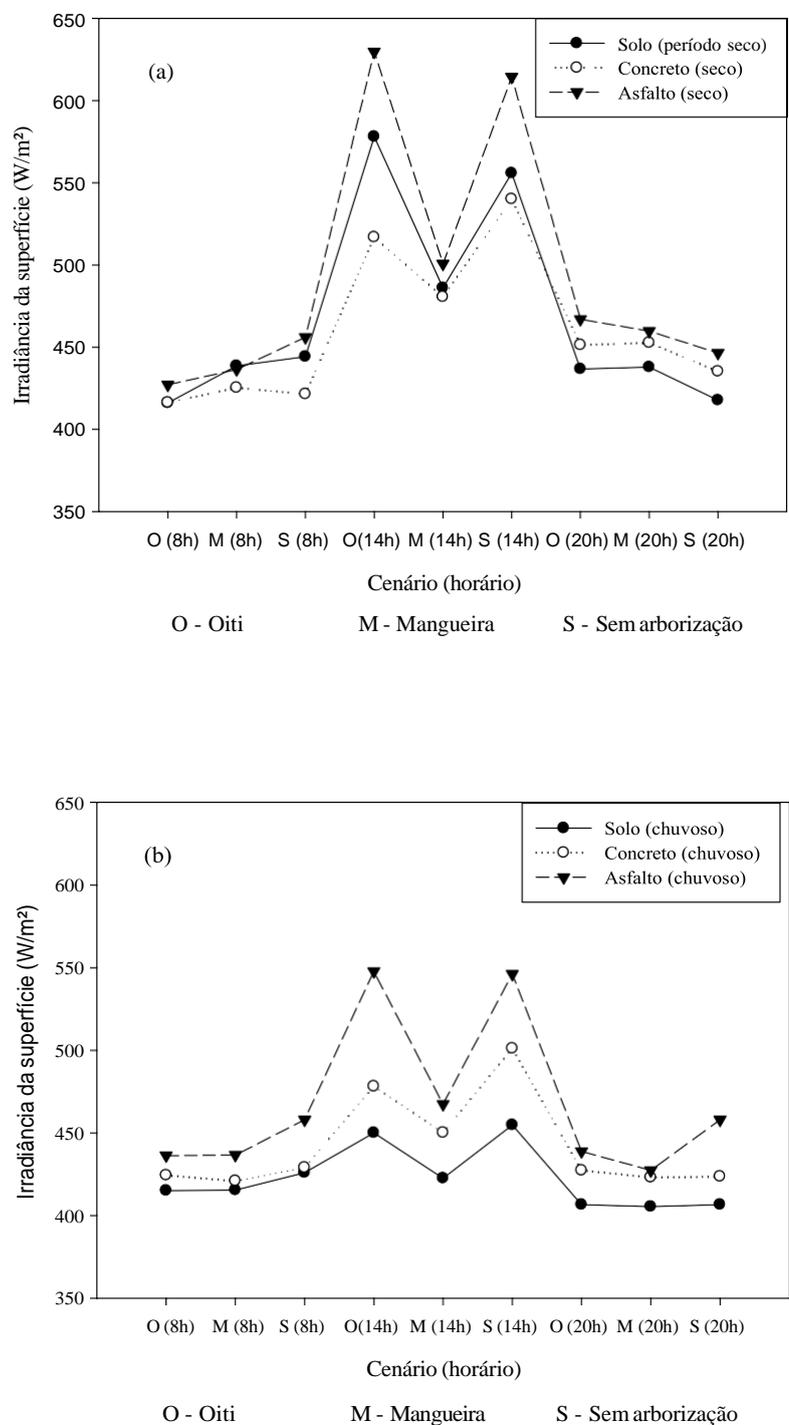
| Horários    | Cenários  | Períodos |        |         |        |
|-------------|-----------|----------|--------|---------|--------|
|             |           | Seco     |        | Chuvoso |        |
|             |           | T (°C)   | UR (%) | T (°C)  | UR (%) |
| Manhã (8h)  | Oiti      | 27,42    | 46,66  | 27,35   | 67,64  |
|             | Mangueira | 27,50    | 46,92  | 28,16   | 65,52  |
|             | S/ sombra | 28,65    | 45,09  | 28,58   | 66,85  |
| Tarde (14h) | Oiti      | 35,51    | 30,82  | 29,08   | 65,27  |
|             | Mangueira | 35,42    | 27,45  | 30,61   | 59,18  |
|             | S/ sombra | 35,50    | 29,25  | 31,58   | 57,57  |
| Noite (20h) | Oiti      | 29,05    | 41,46  | 26,99   | 69,61  |
|             | Mangueira | 28,76    | 42,26  | 26,67   | 71,07  |
|             | S/ sombra | 28,91    | 42,00  | 26,53   | 72,17  |

Fonte: dos autores, 2017.

No período da noite as medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar variaram entre os períodos com diferença de 2,06°C/-28,15% (oiti), de 2,09°C/-28,81% (mangueira) e de 2,38°C/-30,17% (sem arborização). Segundo Maciel, Nogueira e Nogueira (2011), no horário da noite, a porção urbana recebeu radiação proveniente do sol durante todo o dia e, após o pôr do sol inicia então o processo de reemissão desta energia absorvida, de acordo com as características dos materiais constituintes.

A estimativa do fluxo de energia emitida pela superfície (Figura 8) no período seco, através da equação de Stefan-Boltzmann (Equação 1), nota-se que o valor mais elevado da energia emitida foi pela superfície do asfalto, no horário da tarde, nos locais oiti e sem arborização, chegando a 629 Wm<sup>-2</sup> e 614 Wm<sup>-2</sup>, respectivamente. As menores energias emitidas foram pelos materiais solo e concreto, no horário da manhã, no cenário oiti com o valor equivalente a 416 Wm<sup>-2</sup> nos dois (materiais) locais. Apresentado uma diferença de 34% entre o material asfalto e solo/concreto.

**Figura 8** - Irradiância da superfície nos diferentes cenários, materiais e períodos (período seco (a) e (b) período chuvoso).



Fonte: Org. dos autores (2017)

No período quente-úmido, os maiores valores das energias emitidas foram pela superfície do asfalto, no período da tarde, nos locais oiti e sem arborização, com  $547 \text{ Wm}^{-2}$  e  $546 \text{ Wm}^{-2}$ , respectivamente. As menores energias emitidas foram pelo material solo, no período da noite, nos locais trêscenários, com os valores de  $405 \text{ Wm}^{-2}$  no cenário da espécie mangueira e de  $406 \text{ Wm}^{-2}$  para a espécie oiti e o local sem arborização. Apresentando uma diferença de 26% entre o material asfalto e solo.

De acordo com Curado et al., (2011), é uma função da emissividade da superfície, que por sua vez depende do material presente nela, superfícies que emitem mais energia tem maior emissividade e, portanto, possuem maior temperatura.

Nos estudos desenvolvidos por Alves e Vecchia (2012) verificaram que, em média, os locais onde apresentavam materiais de solo nu e grama tiveram os menores valores de temperatura e de fluxo de energia. No entanto 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. Ressaltam que estes resultados evidenciam a importância da utilização de superfícies naturais.

## Conclusões

O sombreamento proporcionado pela vegetação na superfície, determina os padrões de temperatura e conseqüentemente, de emissão de energia. Sendo que a vegetação propicia um “resfriamento” em relação as superfícies não sombreadas, indicando o papel de relevância do sombreamento em áreas habitadas, como é o caso do meio urbano.

As temperaturas superficiais nos diferentes cenários apresentaram desempenhos térmicos variados, pois no horário da manhã (08h) e no período seco o cenário oiti apresentou as temperaturas menores, porém no período chuvoso (manhã) e no turno da tarde (14h), independente do período

(seco/chuvoso) foi sob a copa da mangueira que obtiveram os menores valores. Já no horário da noite (20h) o cenário sem arborização registrou as menores temperaturas, isso ocorreu pois nesse horário têm-se o processo de reemissão da energia absorvida durante o dia e como o local é aberto e sem bloqueio, a reemissão ocorre mais rapidamente se comparado como os cenários arborizados.

Em se tratando de tipo de revestimento, o asfalto se mostrou com maior tendência de aquecimento, seguido do concreto e solo exposto, isso se deve as propriedades térmicas dos materiais que compõem o revestimento, intrinsecamente ligados à sua emissividade. As maiores diferenças de temperaturas superficiais média ocorreram no período da tarde (14h) e entre os cenários mangueira e sem arborização, com destaque no material asfalto com até 15°C de diferença no período seco. Nesse contexto cabe ressaltar a influência da radiação solar nos resultados das temperaturas superficiais e o impacto que a falta de planejamento dos materiais construtivos podem ocasionar nas cidades. O estudo indicou também a sazonalidade presente na região de Cuiabá, marcada por um período chuvoso e por um período seco, característicos dessa região.

Assim, este estudo, se mostrou pioneiro nessa região, e conseguiu relacionar variáveis importantes para a caracterização do meio urbano local, sugerindo que a arborização nesse meio é fundamental para a mitigação da elevação da temperatura, principalmente no turno da tarde, parte do dia que mais apresentou aumento de temperatura e por consequência, maior influência da arborização em todos os cenários analisados.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a ajuda e apoio financeiro da FAPEMAT.

## Referências

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental. **Ambiência**, Guarapuava, v. 8, n. 1, p. 101 - 111, 2012.

ÁVILA, A. D.; CHIARAMONTI, B.; ANTUNES, F. F.; AMORIM J.; BREY, G. M. W.; BISSI, L. B.; MAGALHAES, N. A.; LIRA, V. F.; SANTOS, F. M. M.; BIUDES; M. S. NOGUEIRA, M. C. J. A. Avaliação das condições ambientais e suas intervenções em diferentes tipos de revestimentos do solo no microclima urbano para a cidade de Cuiabá-MT. In: **Conferência Internacional REGSA 2014: Energias Renováveis, Eficiência Energética e Desenvolvimento Sustentável**, 2014, Florianópolis / SC: RGSA, 2014. v. 01. p. 70-85.

ARNOLD, C.L., GIBBONS, C.J., 1996. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. **JAPA** 62, 243–258. <https://doi.org/10.1080/01944369608975688>

ARTMANN, M., 2014. Assessment of soil sealing management responses, strategies, and targets toward ecologically sustainable urban land use management. **Ambio** 43, 530–541. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0511-1>

AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Solar energy**, v. 70, n. 3, p. 295-310, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)

BALOGUN, A. A., MORAKINYO, T. E., & ADEGUN, O. B. Effect of tree-shading on energy demand of two similar buildings. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 305-315, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.046>

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C.; Clima e cidade – Abordagem climática como subsídio para estudos. EdUfal, 2007.

BERGHUIJS, W.R., WOODS, R.A., HRACHOWITZ, M., 2014. A precipitation shift from snow towards rain leads to a decrease in streamflow. **Nat. Clim. Chang.** 4 (7), 583–586. <https://doi.org/10.1038/nclimate2246>

BONAN, G. B. Effects of land use on the climate of the United States. **Climatic Change**, v. 37, n. 3, p. 449-486, 1997. <https://doi.org/10.1023/A:1005305708775>

BRAGA, C.C., SOARES, F.R., DANTAS, F.R.C., BARBIERI, L.F.P., Determinação do albedo e índice de área foliar usando o sensor TM/LANDSAT 5. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009.

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

DEL CARPIO, J. A. V., MARINOSKI, D. L., TRICHÊS, G., LAMBERTS, R., & DE MELO, J. V. S. (2016). Urban pavements used in Brazil: Characterization of solar reflectance and temperature verification in the field. **Solar Energy**. v. 134, p. 72-81, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.04.044>

CURADO, L. F. A.; RODRIGUES, T. R.; BIUDES, M. S.; DE PAULO, S. R.; DE PAULO, I. J. C.; NOGUEIRA, J. S. (2011). Estimativa pp. 167-180. Estimativa Sazonal da Emissividade Atmosférica Através da Equação de Brutsaert no Norte do Pantanal Mato-Grossense, Ciência e **Natura**, Vol. 33, Nº. 2.

CURADO, L.F.A; DE MUSIS, C.R.; CUNHA, C.R.; RODRIGUES, T.R., PEREIRA, V.M.R.; NOGUEIRA, J.S.; SANCHES, L (2016). Modeling the reflection of Photosynthetically active radiation in a monodominant floodable forest in the Pantanal of Mato Grosso State using

multivariate statistics and neural networks. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201620150176>

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

GOMES, M. A. S.; SOARES, B. R. A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre os espaços verdes em cidades médias brasileiras. **Estudos Geográficos**, Rio Claro. v. 1, n. 1, p. 29-39, 2003.

HAASE, D., NUISSL, H., 2007. Does urban sprawl drive changes in the water balance and policy? The case of Leipzig (Germany) 1870-2003. *Landsc. Urban Plan.* 80, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.03.011>

MACIEL, C. R.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S. Cobertura do solo e sua influência na temperatura de microclimas urbanos na cidade de Cuiabá - MT. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 39, p. 40 - 57, 2011.

SOTTO, A. Quantidade de calor sensível, calor específico e capacidade térmica. Disponível em: <http://soumaisenem.com.br/fisica/o-calor-e-os-fenomenos-termicos/quantidade-de-calor-sensivel-calor-especifico-e-capacidade> . Acesso em 23 de fev. 2016.

LANDSBERG, H.E., 1981. *The Urban Climate*. New York. Academic Press apud ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. 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. **AMBIÊNCIA**, v. 8, n. 1, p. 101-111, 2012.

MILLY, P.C.D., DUNNE, K.A., VECCHIA, A.V., 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. **Nature**, 438, 347-350. <https://doi.org/10.1038/nature04312>

NOWAK, D. J.; KEVIN, L. C.; RAO, S. T.; SISTLA, G.; LULEY, C. J.; CRANE, D. E. A modeling study of the impact of urban trees on ozone. **Atmospheric environment**, New York, v. 34, p. 1601-1613, 2000.

OKE, T. R. *Boundary layer climates*. Londres: **Routledge**, 1987.

\_\_\_\_\_. *Review of urban climatology: 1968-1973 (1974)*. Geneva: World Meteorological Organization, (**WMO Technical Note**, n. 134).

ORTOLANI, C.; VITALE, M. The importance of local scale for assessing, monitoring and predicting of air quality in urban areas. **Sustainable Cities and Society**, 2016. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221067071630107X>)

PATTERSON, L.A., LUTZ, B., DOYLE, M.W., 2013. Climate and direct human contributions to changes in mean annual streamflow in the South Atlantic. USA. **Water Resour. Res.** 49, 7278-7291. <https://doi.org/10.1002/2013WR014618>

PEREIRA, G., MORAES, E.C., ARAI, E., OLIVEIRA, L.G.L., FERREIRA, N.J., Estimativas de alterações do albedo de superfície e da emissão de gases do efeito estufa em áreas queimadas inferidas através de imagens Landsat. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4527-4534.

ROMEO, C., ZINZI, M., 2005. Impact of a cool roof application on the energy and comfort performance in an existing non-residential building. A Sicilian case study. **Energy Build.** 6 (1), 39-49.

SALMORAL, G., WILLAARTS, B.A., TROCH, P.A., GARRIDO, A., 2015. Drivers influencing streamflow changes in the Upper Turia basin. Spain Sci. **Total Environ.** 503-504, 258-268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.041>

SANTAMOURIS, M., 2015. Regulating the damaged thermostat of the cities – status, impacts and mitigation challenges. *Energy Build.* 91 (15), 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.027>

SOLECKI, W.D., ROSENZWEIG, C., PARSHALL, L., POPE, G., CLARK, M., COX, J., WIENCKE, M., 2005. Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environ. Change Part B: Environ. Hazards* 6 (1), 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.12.002>

TAKÁCS, Á.; KISS, M.; HOF, A.; TANÁCS, E.; GULYÁS, Á.; KÁNTOR, N. Microclimate Modification by Urban Shade Trees–An Integrated Approach to Aid Ecosystem Service Based Decision-making. *Procedia Environmental Sciences*, v. 32, p. 97-109, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.015>

ZHAO, L., LEE, X., SMITH, R.B., OLESON, K., 2014. Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature* 511, 216–219. <https://doi.org/10.1038/nature13462>



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.