

## ANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR E DE FLUXOS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE OURINHOS, UTILIZANDO O MODELO ENVI-MET

Débora Moreira de Souza  
Universidade Estadual de Campinas  
deborablosson@yahoo.com.br

Ana Claudia Carfan  
Universidade Estadual Paulista

Jonas Teixeira Nery  
Universidade Estadual Paulista

### EIXO TEMÁTICO – CLIMATOLOGIA: POLÍTICA E CIÊNCIA.

#### RESUMO

Com o avanço científico e tecnológico têm surgido ferramentas de análises climáticas que permitem oferecer respostas aos desafios do mundo contemporâneo. Ourinhos, cidade do sudoeste paulista, está situada em uma área de ampla exposição solar, o que justifica a necessidade de analisar a influência da radiação em seu clima local. Este artigo teve como objetivos analisar a temperatura do ar e os fluxos de calor em uma área urbana e em uma área rural. Utilizou-se dados de duas estações meteorológicas para simular duas situações climáticas dentro do modelo microclimático ENVI-met. Analisou-se o comportamento da temperatura do ar à superfície, da temperatura do ar a 2,5m de altura, do fluxo de calor latente, do fluxo de calor sensível e do fluxo de calor para o solo em dois pontos específicos destas áreas, em um período típico de inverno. Com os dados foram feitos e discutidos os gráficos. Notou-se que a diferença na temperatura do ar junto à superfície chegou a 4,5°C, já para a temperatura do ar a 2,5m a diferença foi de 0,5°C, o que ressalta a influência da superfície no aquecimento do ar próximo a ela. Na área urbana, o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor para o solo foram maiores. Enquanto o fluxo de calor latente foi maior para a área rural. Os dados evidenciaram alterações nos elementos meteorológicos, como a temperatura, causadas pelo uso de solo.

**Palavras-chave:** Temperatura do ar; Fluxo de calor; Ourinhos; ENVI-met.

#### ABSTRACT

With the advancement of science and technology have emerged climate analysis tools that enable you to respond to the challenges of the contemporary world. Ourinhos, south western city of São Paulo, is situated in an area of intense sun exposure, which justifies the need to analyze the influence of radiation on your local climate. This article aimed to analyze the air temperature and heat flows in an

urban and in a rural area. We used data from two weather stations to simulate two climatic conditions in the microclimatic model ENVI-met. We analyzed the behavior of the surface air temperature, the air temperature to 2.5m high, the flow of latent heat, the sensible heat flux and the heat flow to the ground at two specific points of these areas, in a typical period of winter. With these data were discussed and made the charts. It was noted that the difference in air temperature near the surface reached 4.5°C, while for the air temperature at 2.5 m the difference was 0.5°C, which highlights the influence of surface heating in the air near it. In urban areas, the sensible heat flux and heat flow to the soil were higher. While the latent heat flux was higher for the rural area. The data showed changes in the weather elements such as temperature, caused by land use.

**Key-words:** Air temperature; Heat flow; Ourinhos; ENVI-met.

## INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento conjunto das ciências e das tecnologias, em um nível global, tem surgido uma série de ferramentas que permite a análise de diferentes desafios que o mundo contemporâneo apresenta. No que diz respeito à ciência climática, esta se tem beneficiado com diversos programas que vem a funcionar como um suporte na tomada de decisões em diversas escalas.

Existem diversos modelos de circulação geral (GCM – sigla em inglês) que estão voltados, sobretudo para a predição de alterações de temperatura, de precipitação e de CO<sub>2</sub> em escala global. O IPCC disponibiliza sete modelos do tipo, tal como CGCM1, ECHAM4 e o HadCM2 (IPCC, 2011).

O Modelo ETA é um exemplo de simulador usado para analisar as variações climáticas de mesoescala. Este modelo, desenvolvido na Universidade de Belgrado, está sendo complementado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos juntamente com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), onde são desenvolvidas diversas simulações para obter resultados referentes à maior parte do território da América do Sul (CHOU, 1996).

Há outros modelos que foram construídos para simular as condições em escala local e microclimática. O Programa ENVI-met (também de origem alemã), por exemplo, é um modelo tridimensional não hidrostático que, além de outras opções, oferece a possibilidade de simular o conforto térmico (CARFAN; GALVANI; NERY, 2009). Diversos estudos brasileiros tem incorporado seu uso.

São diversas as áreas que se beneficiam com estas informações, como os ecossistemas naturais, atividades econômicas, a saúde humana, entre outras. Sendo possível predizer a ocorrência de impactos naturais, que expõe o meio ambiente e a sociedade a diversas consequências, desde perda de biomas até risco à vida.

De forma geral, os modelos climáticos procuram calcular vários processos químicos e físicos do ambiente, no entanto é difícil afirmar como se dará a participação humana no que diz respeito ao sistema climático, já que diferentes usos e ocupações que se fazem do solo também modificam o

balanço radiométrico, por exemplo.

Neste ínterim, é necessário destacar que ciência e tecnologia têm proporcionado avanços importantes para compreender as respostas climáticas diante de diferentes cenários. Entretanto, ainda são poucas as interações entre estas áreas e as políticas públicas, principalmente quanto à perspectiva da Climatologia Urbana.

O trabalho desenvolvido por Eliasson (2000) em três cidades suecas, por exemplo, mostrou que muitas vezes os planejadores urbanos não fazem uso dos conhecimentos climáticos, isto porque não há uma articulação entre estes e os climatologistas na organização do espaço urbano, acarretando no baixo impacto das informações existentes.

Assim, entende-se que o conhecimento na área da Climatologia Geográfica tem se aprofundado e está em difusão, mas ainda nota-se uma falta de interação entre a ciência e a política, o que pode

dificultar a elaboração de ferramentas mais sofisticadas, logo a instituição de políticas eficazes.

A radiação, por exemplo, é um importante parâmetro meteorológico a ser considerado, pois é o principal mecanismo de transmissão de calor, de forma tal que as temperaturas registradas em um ponto qualquer da Terra dependerão, em primeiro lugar, do balanço de radiação nesse ponto. Esta energia é transmitida até a Terra na forma de ondas eletromagnéticas. O saldo de radiação vai determinar a quantidade de energia disponível no meio e que será utilizada em diversos processos como, por exemplo, na transmissão de calor por convecção, advecção e evaporação.

A diferença entre as entradas e as saídas de calor que um lugar experimenta mediante esses mecanismos é o que se denomina balanço térmico desse lugar, sendo fundamental para analisar o comportamento de suas temperaturas.

De acordo com Cavalcanti, et al., (2009, p. 246): “A posição latitudinal da região Sudeste do Brasil, favorece uma ampla exposição à radiação solar”, bem como esta região está situada em uma área em que atuam distintos mecanismos climáticos (CAVALCANTI; et al., 2009, p. 244). Devido a estas particularidades, Ourinhos apresenta a necessidade de estudar a temperatura do ar e do fluxo de calor, para verificar o comportamento de tais variáveis em duas áreas específicas da cidade, uma urbana e outra rural.

Superfícies impermeáveis, como as calçadas, ruas e concreto das edificações, armazenam e conduzem mais rapidamente do calor que superfícies de solo nu ou vegetadas. A estrutura urbana tem múltiplas faces. Telhados e paredes agem como múltiplos refletores, absorvendo, emitindo e reemitindo radiação e calor em todas as direções gerando um grande armazenamento de calor.

Nas áreas rurais, onde predominam vegetação e solos nus, maior quantidade de calor é armazenada no dossel das árvores e nos níveis mais baixos a temperatura é menor. Segundo Meiss (1979) entre as primeiras horas da manhã e o meio dia, a temperatura de uma superfície asfaltada pode variar em 30°C e nas superfícies gramadas esta variação pode chegar a 20°C. A vegetação tem papel importante no balanço de radiação. A atenuação da radiação pelas folhas da vegetação afeta não somente a intensidade da radiação, mas também o espectro desta radiação. A vegetação absorve a

radiação visível mais intensamente que a radiação de ondas longas, o que reflete sobre as diferenças de temperaturas.

## **OBJETIVOS**

O presente artigo teve como objetivos analisar a temperatura do ar e os fluxos de calor em duas superfícies distintas, uma na área urbana e outra em área rural, ambas dentro dos limites urbanos do município de Ourinhos, durante um período típico de inverno.

## **MATERIAL E MÉTODO**

Foram selecionados dados meteorológicos de um dia que representassem condições climáticas típicas de um sistema de alta pressão pós-frontal na região de estudo, tal como ocorrido no dia 05 de agosto de 2010. Estes dados foram coletados em duas estações automáticas instaladas na cidade de Ourinhos, a sudoeste do Estado de São Paulo. Uma dessas estações está localizada na área central da área urbana (estação Centro) e a outra está fixada próxima ao limite urbano (estação Fazenda Santa Maria), como exposto na Figura 1.

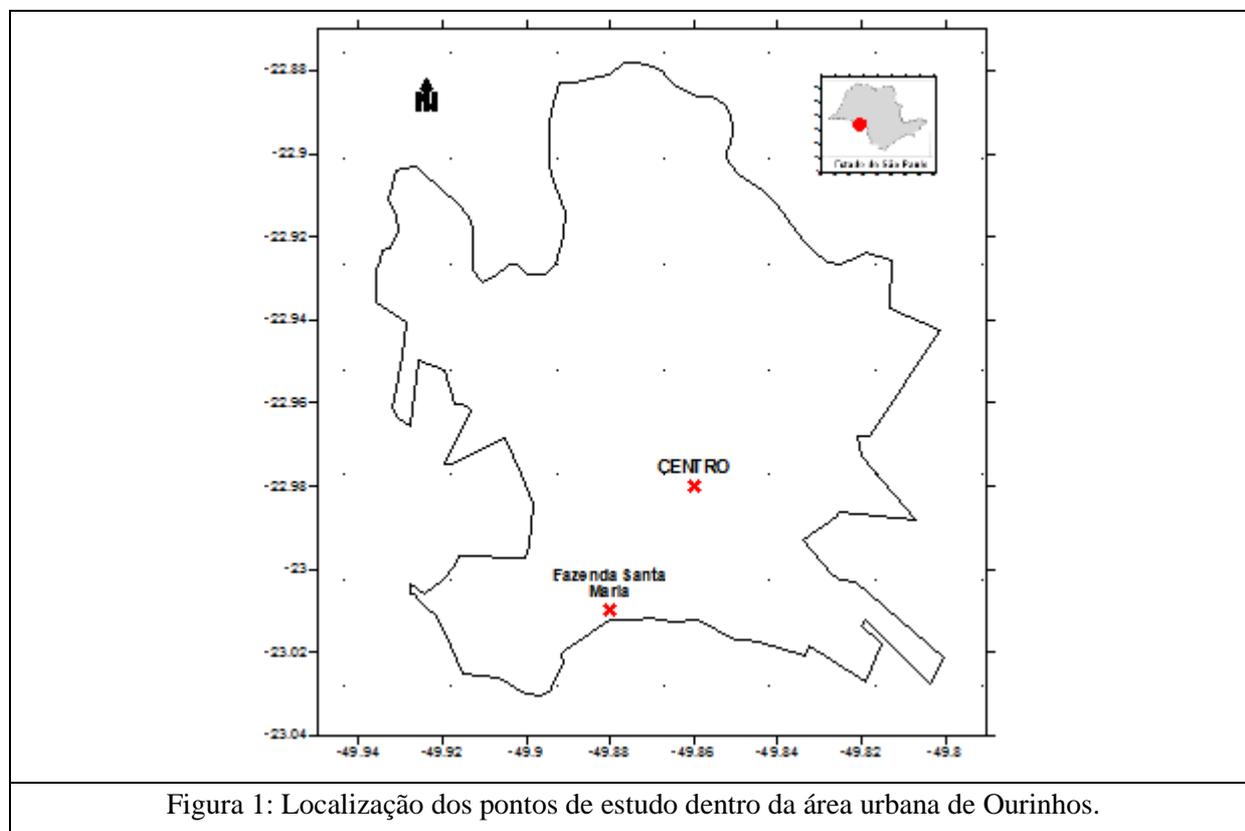


Figura 1: Localização dos pontos de estudo dentro da área urbana de Ourinhos.

Ressalta-se que a estação Centro (a 22°59'S e 49°52'W, com altitude de 496,0 metros de altitude, sendo o ponto mais elevado do município) está localizada nas dependências da Superintendência de Água e Esgoto (SAE), na região central e comercial do município de Ourinhos, área intensamente urbanizada com vegetação esparsa – altamente propícia à formação de ilhas de calor, segundo Grimmond e Oke (1999). De modo geral, possui edificações de um e dois pavimentos e prédios isolados com mais de sete pavimentos entre pequenas propriedades e grande impermeabilização da superfície, o que resulta em um baixo índice de escoamento superficial e subsuperficial de águas pluviais (Figura 2).

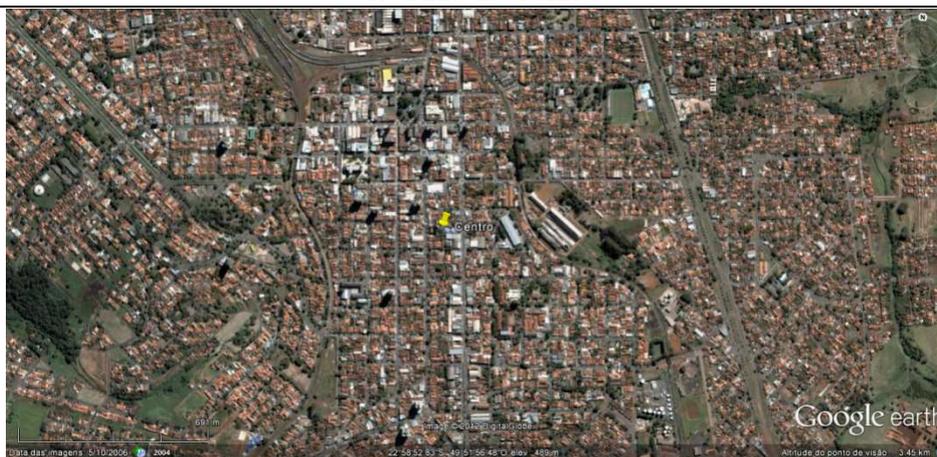


Figura 2 - Entorno da área central de Ourinhos.

Fonte: Google Earth (2012).

Destaca-se também que a estação localizada na área rural, Fazenda Santa Maria (FSM) (a  $23^{\circ}01'S$ ,  $49^{\circ}53'W$  e a 445,0 metros de altitude) encontra-se numa posição de contato entre os bairros Itamaraty e Pacheco Chaves (ambos de significativa densidade habitacional) e uma área de mata nativa (Figura 3).

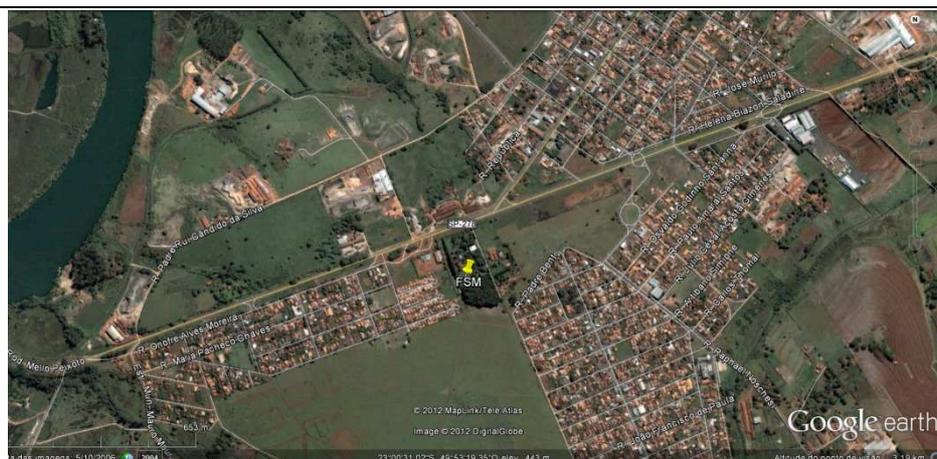


Figura 3 - Entorno da Fazenda Santa Maria - Ourinhos.

Fonte: Google Earth (2012).

Através do *SoftwareLeonardo* (produto incluído ao *ENVI-met*) foi possível obter uma visualização em 3D do entorno imediato dos pontos de estudo, no qual também é possível observar o tipo de uso de solo dentro das áreas de estudo. Nota-se que as grades em branco, ao redor do núcleo do modelo, representam a área de contorno do modelo (necessário para mover as bordas do modelo a partir da área de interesse e minimizar efeitos de borda indesejáveis durante a simulação).

Na Figura 04 é possível visualizar a planta baixa em 3D da estação Centro. Em cinza estão

representadas as construções. Os dois tons de verde representam a vegetação, em verde claro está representada a área de grama (densidade média e 50 cm de altura) e em verde escuro estão representadas as árvores (muito densa e com 15 metros de altura). Os pontos em azul e vermelho representam o local de estudo, sendo que no ponto em azul está localizada a estação automática meteorológica (em uma altura de 06 metros a partir do solo, aproximadamente) e o ponto vermelho foi escolhido como um ponto específico para o estudo de fluxo de calor e temperaturas (próxima à calçada).

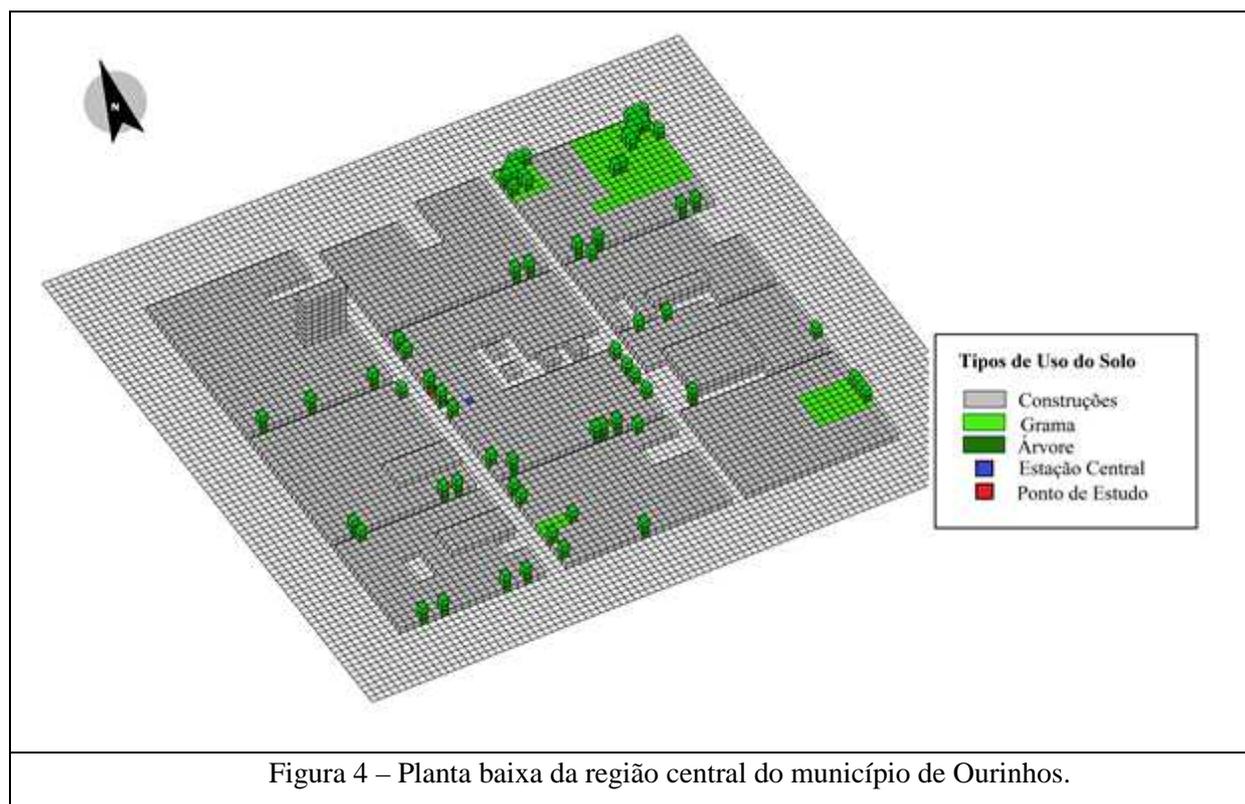


Figura 4 – Planta baixa da região central do município de Ourinhos.

Na Figura 5 tem-se uma representação do ponto de estudo da área rural. Esta região é composta por grama com densidade média e 50 cm de altura, árvores densas, (com 10m de altura e copa com distintas camadas) árvores muito densas (com 15m de altura e copa com distintas camadas), construções (em cinza) e o ponto azul representa a localização da estação automática meteorológica sobre a grama da área rural, que também serviu como ponto específico da área de estudo.

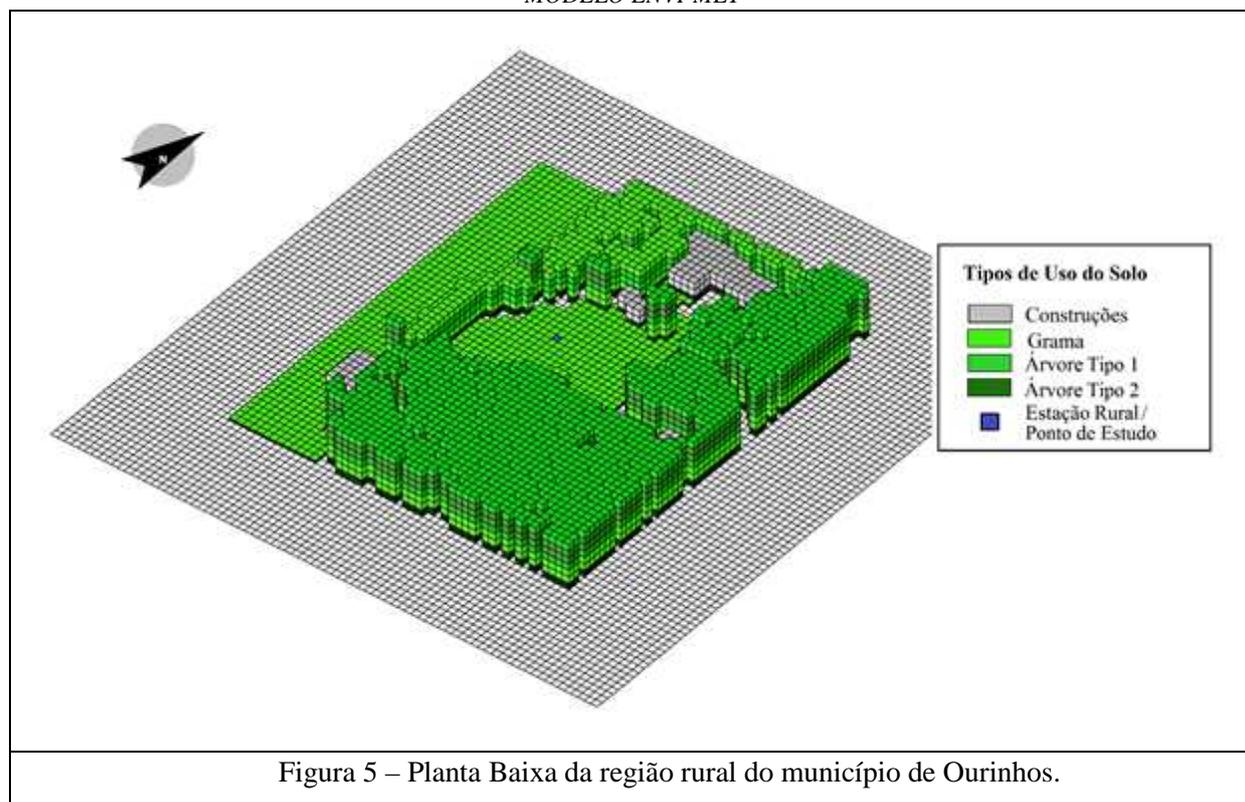


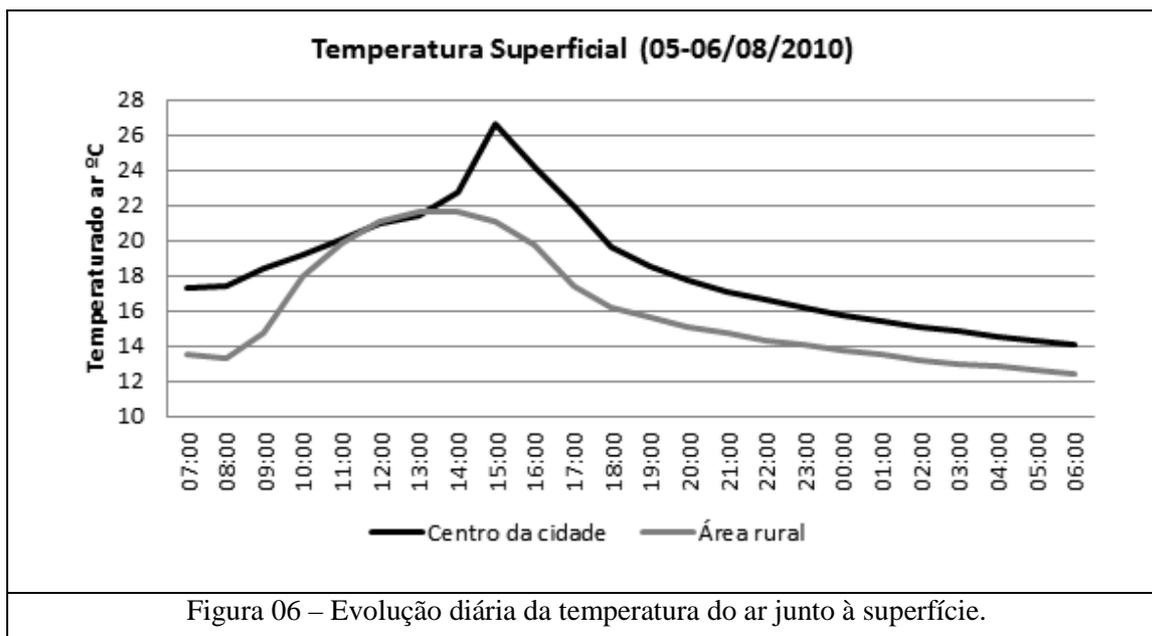
Figura 5 – Planta Baixa da região rural do município de Ourinhos.

Em seguida, foram realizadas as configurações dos arquivos de entrada a serem inseridos no modelo microclimático tridimensional *ENVI-met 3.1* versão *Beta*. O editor do arquivo referente à planta baixa permite inserir informações sobre o tipo de solo, a localização e a orientação geográfica da área de estudo, a estrutura das construções, posição dos receptores (o qual permite um estudo detalhado em pontos específicos da grade), dentre outros. No arquivo de entrada das condições climáticas iniciais são requisitados alguns dados básicos, tais como o dia e a hora inicial, a velocidade e direção do vento a 10 metros de altura, a rugosidade do terreno, a temperatura do ar, a umidade específica a 2500 m de altura, entre outros dados opcionais.

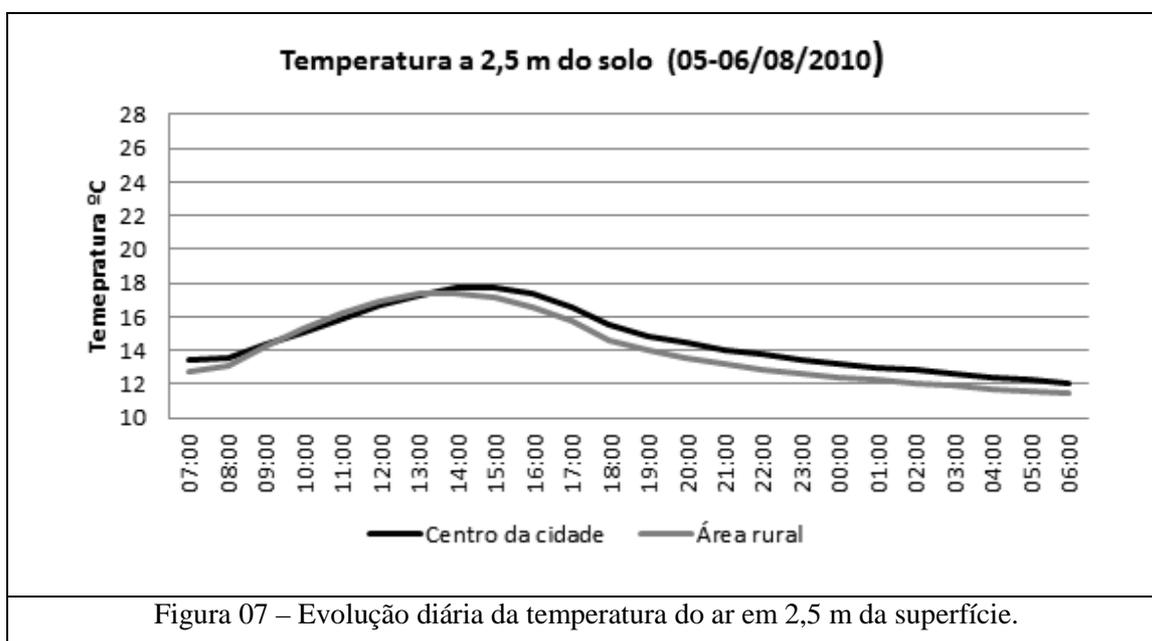
Os dados dos pontos de interesse foram extraídos pelo *Software Surfer8* e importados para o aplicativo *Excel*, onde foi possível gerar gráficos que permitissem visualizar e comparar os resultados obtidos. Também foi calculado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os dados das estações e os dados obtidos através da simulação. Para a estação do centro o  $R^2$  foi de 0,80 e a estação da Fazenda Santa Maria o  $R^2$  foi de 0,89. Com base em ambos os valores do  $R^2$  é possível assegurar-se que os dados discutidos oferecem uma ampla margem de segurança.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 6 observa-se a evolução diária da temperatura do ar junto à superfície, na qual se nota que os valores encontrados no centro da cidade mantiveram-se, na maior parte do tempo, acima dos valores encontrados na área rural. Entre 11 e 13h a diferença foi mínima, no entanto às 15 horas, horário em que ocorreu a temperatura máxima na área urbana, a diferença foi de 5,6°C.



As diferenças de temperaturas observadas à superfície (Figura 6) não foram encontradas a 2,5m do solo (Figura 7). Neste último caso, os dois pontos de estudos apresentaram temperaturas e comportamentos similares com uma temperatura máxima de 17,7°C para o centro da cidade e 17,2°C para a área rural. Isto mostra a influência da superfície no aquecimento do ar próximo a ela.



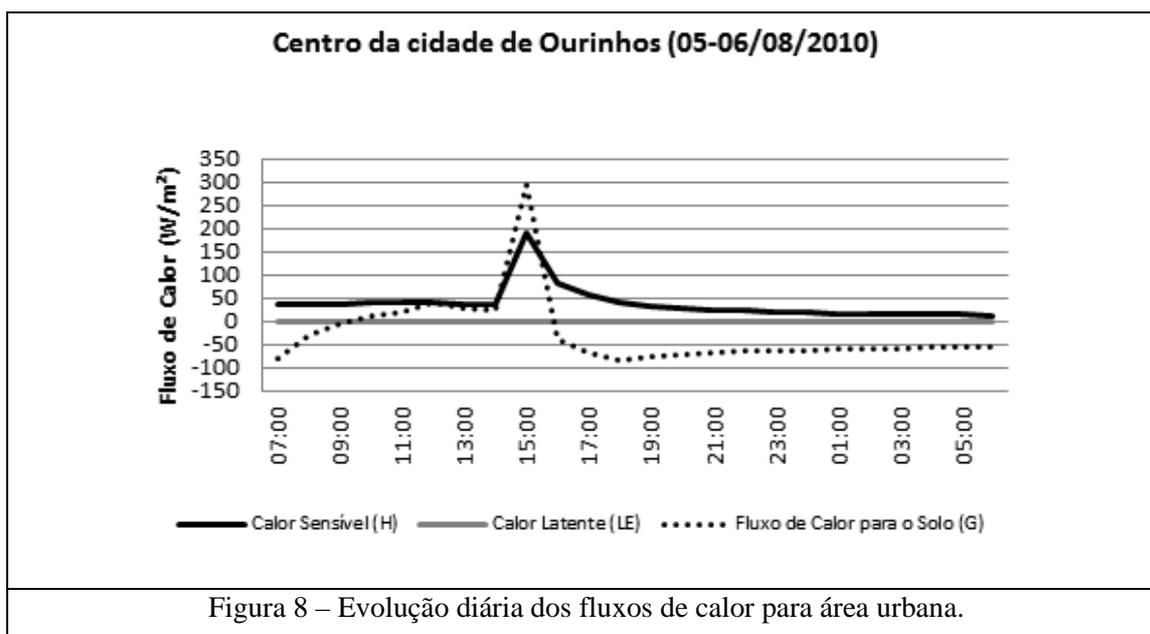
A quantidade de energia que chega à superfície, segundo Oke (1988), é determinada pela radiação solar incidente e pela radiação emitida pela atmosfera, porém, a energia armazenada no sistema será determinada pelo tipo de cobertura superficial, variando com o albedo. A energia líquida disponível no meio vai ser utilizada em diferentes processos como aquecimento do ar (utilizando calor sensível), aquecimento do solo por condução, evaporação e transpiração pelas plantas (utilizando calor

latente).

Na Figura 8 é possível observar os fluxos de calor em um ponto dentro da área urbana localizado sobre uma superfície impermeabilizada como o concreto, portanto uma superfície seca. O fluxo de calor latente mantém-se zero e há variações nos fluxos de calor para o solo e de calor sensível.

O fluxo de calor para o solo é negativo entre 7 e 8h da manhã indicando um fluxo de calor no sentido solo-atmosfera. Após as nove horas o fluxo passa a ser positivo com seu máximo às 15 horas indicando o fluxo inverso, ou seja, o calor sendo transmitido da superfície para as camadas mais profundas do solo. A partir das 16 horas o fluxo volta a ser negativo e o solo começa a perder calor para a atmosfera novamente.

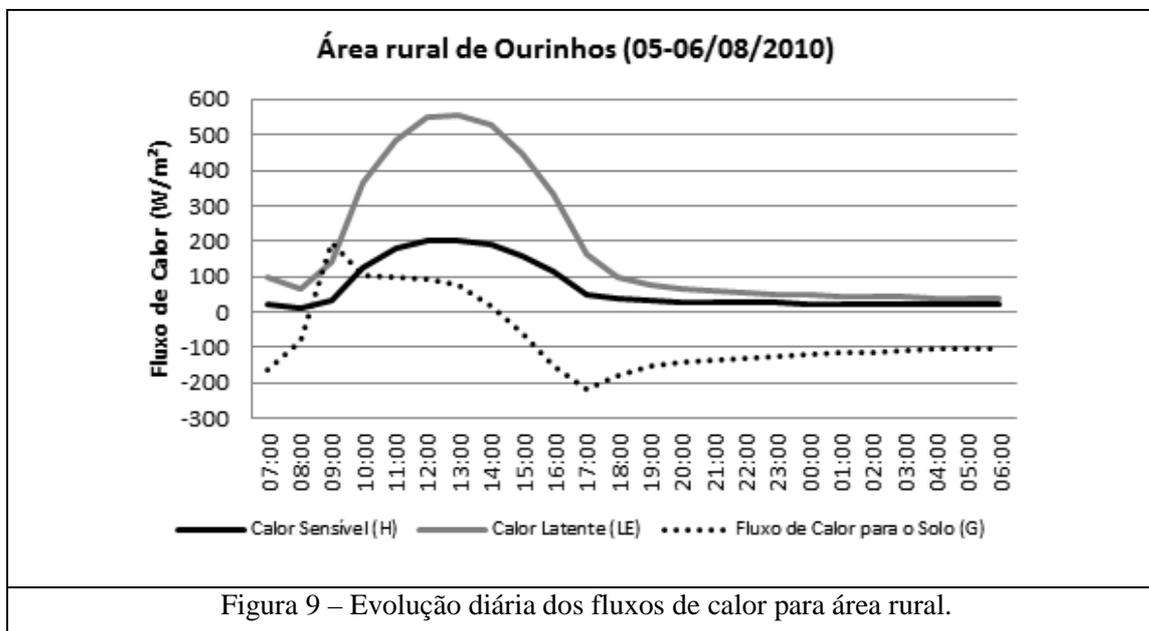
O fluxo de calor sensível mantém-se em aproximadamente 40 W/m<sup>2</sup> até as 14 horas e seu máximo ocorre às 15 horas com 191 W/m<sup>2</sup>. Comparando-se com a Figura 05 (temperatura superficial do centro da cidade), vê-se que o fluxo de calor sensível e a máxima temperatura ocorrem simultaneamente. O fluxo de calor sensível chega a 39 W/m<sup>2</sup> às 18 horas tendendo a zero nas horas seguintes, com a ausência de radiação solar.



Na área rural, a partição da radiação líquida é diferente. A maior quantidade de energia vai para a evapotranspiração, agora presente no sistema. O calor latente é intenso entre 9 e 17 horas e atinge seu máximo às 15 horas. O fluxo de calor para o solo é menor, sendo positivo somente entre 9 e 14h, nos demais horários o solo perde calor para as camadas superficiais e destas para a atmosfera. O fluxo de calor sensível teve um comportamento similar ao fluxo de calor latente, mas com uma intensidade menor e juntamente com o fluxo de calor latente teve seu mínimo às 6 horas (Figura 9).

O valor máximo do fluxo de calor sensível da superfície foi de 191 W/m<sup>2</sup> no centro da cidade e de 202 W/m<sup>2</sup> na área rural (Figura 7), às 15 e às 12 horas respectivamente, ou seja, a área urbana

apresentou uma defasagem de 3 horas em relação à radiação máxima incidente na atmosfera. Destaca-se que as temperaturas máximas nos dois pontos estudados foram 26,6°C no centro (15h) e de 21,6°C na área rural (14h), ou seja, a área urbana apresentou temperaturas 5°C acima da apresentada na área rural (Figura 6).



Comparando-se os fluxos de calor sensível das duas áreas, a temperatura da área urbana deveria ser menor que a apresentada pela área rural, o que não aconteceu. Assim, além do fluxo de calor sensível da superfície, devem existir outras fontes de calor para a atmosfera neste ponto, como por exemplo, as paredes e telhados adjacentes.

## CONCLUSÕES

As duas áreas estudadas apresentaram comportamentos diferentes quanto ao balanço de calor influenciado pelo uso de solo de cada localidade. Na área urbana o fluxo de calor para o solo foi maior comparativamente a área rural. Isto se dá pela ausência de umidade da superfície, sendo assim a partição de energia será apenas entre o aquecimento do ar e o aquecimento do solo.

O armazenamento de calor pelos materiais de construção (concreto) que compõe a superfície é maior e este calor é transmitido tanto para a atmosfera como para o solo. Embora o fluxo de calor sensível tenha sido maior na área rural para o ponto em estudo, a temperatura do ar foi maior no ambiente urbano, demonstrando haver outras fontes de calor sensível para a atmosfera neste ambiente. A temperatura no ambiente rural foi menor, o que pode ser justificado pela partição diferenciada do saldo de radiação, onde maior parcela de energia foi destinada a evapotranspiração devido à presença de vegetação e ausência de impermeabilização do solo. No que se refere ao fluxo de calor latente, observou-se variações apenas para a área rural.

Os dados obtidos para as análises de pontos específicos da área de estudo demonstraram que a diferença na temperatura do ar, junto à superfície, nos pontos estudados chegou a 5,6°C, enquanto a

diferença da temperatura do ar a 2,5m do solo entre os mesmos pontos foi de 0,5°C. O que coloca em evidência a influência da superfície no aquecimento do ar próximo a ela.

No estudo da temperatura do ar no ambiente urbano, principalmente em ambientes densamente construídos, necessita-se levar em conta paredes e telhados que absorvem, emitem e reemitem radiação e calor em todas as direções. Ressalta-se que, embora seja um bom indicador, somente o estudo de pontos específicos na superfície não é suficiente para explicar o comportamento da temperatura do ar.

Os dados discutidos evidenciaram as particularidades entre a interação de diferentes elementos e fatores meteorológicos. Os quais, sempre, deveriam ser discutidos conjuntamente entre cientistas e o poder público, a fim de serem considerados durante o planejamento e a execução de políticas públicas eficazes diante dos diferentes desafios do mundo contemporâneo.

## REFERÊNCIAS

CARFAN, A. C.; GALVANI, E.; NERY, J. T. **Análise de Conforto Térmico no Município de Ourinhos, Utilizando o Modelo ENVI-met.** In: Anais...Congresso Latinoamericano e Ibérico de Meteorologia, XIII. Buenos Aires, 2009. Buenos Aires: UBA, 2009. v. 01. p. 01-10.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, A. F.; SILVA, G. A. J (Org). **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CHOU, S. C. **Modelo Regional** Eta. In: Climanálise. Edição Comemorativa de 10 anos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Cachoeira Paulista: 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/cliesp10a/27.html>. Acesso em: 30 jan. 2012.

ELIASSON, I. **The use of the climate knowledge in the urban planning.** Revista Elsevier, n. 48, p. 31-44, 2000.

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. 1999. **Heat storage in urban areas: Local-scale observations and evaluation of a simple model.** Journal of Applied Meteorology, 38(7), 922-940. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/15200450%281999%29038%3C0922%3AHSIUAL%3E2%3C0%3B2>. Acesso em: 31 jan. 2012.

IPCC - **Intergovernmental Panel on Climate Change. IS92 Climate Scenario Data. 2011.** Disponível em: [http://www.ipcc-data.org/is92/gcm\\_data.html](http://www.ipcc-data.org/is92/gcm_data.html). Acesso em: 30 jan. 2012.

\_\_\_\_\_. **Climate Change 2007: Synthesis Report.** 2007. Disponível em: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf). Acesso em: 30 jan. 2012.

MEISS, M. **The climate of cities.** Laurie (ed.) In: Ian C. New York, NY. John Wiley, 1979.

OKE, T. R. **The urban energy balance.** Progress in Physical Geography. v.12, p. 471-508, 1988.