



## A temperatura do ar e umidade absoluta em cidade de pequeno porte: características espaciais e temporais

Elis Dener Lima Alves\*, Francisco Arthur Silva Vecchia, Zilda de Fátima Mariano, Erondina Azevedo de Lima e Max Wendell Batista dos Anjos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rodovia GO-154, Km 3, 76300-000, Ceres, Goiás, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: [elis.alves@ifgoiano.edu.br](mailto:elis.alves@ifgoiano.edu.br)

**RESUMO.** O objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade da temperatura do ar e umidade absoluta na área urbana da cidade de Iporá – Goiás, com o intuito de verificar os locais de maior aquecimento e menor umidade absoluta e analisar os fatores geourbanos, responsáveis por essa variação. Dessa maneira, foram utilizados oito termo-higrômetros, distribuídos na malha urbana. Foi observado que: 1 – de acordo com dendogramas, alguns pontos de mensuração se agruparam de forma semelhante, todavia a influência da variável NDVI tornou o ponto 3 destoante dos demais; 2 – na somatória das porcentagens das influências, a declividade das vertentes foi a variável geourbana que mais contribuiu para explicar os padrões da temperatura do ar, seguida pelo IU e NDVI. Enquanto que o NDVI foi a variável que mais contribuiu para explicar a variabilidade da umidade absoluta; 3 – o alcance, obtido pelos semivariogramas, apresentou grande variabilidade nos seus valores, variando de acordo com o horário do dia e com a variável observada; 4 – os padrões dos desvios da umidade absoluta permitiram afirmar que a área central, mais urbanizada, teve os maiores desvios negativos e áreas com maiores valores de NDVI e próximas aos cursos d'água apresentaram os maiores desvios positivos de umidade.

**Palavras-chave:** clima urbano, campo termodinâmico, geoprocessamento.

## Air temperature and absolute humidity in small city: spatial and temporal characteristics

**ABSTRACT.** The objective of this study was to analyze the variability in air temperature and absolute humidity in the urban area of the city of Iporá – state of Goiás, aiming to determine the places of higher heating and lower absolute humidity and to analyze geourban factors responsible for such variation. Thus, eight thermo-hygrometers were distributed in the urban area. It was observed that: 1 – according to dendograms, some measurement points were grouped similarly, but the influence of NDVI made the site 3 discordant from the others; 2 – in the sum of the percentages of influence, the steepness of the slopes was the geourban variable that contributed most to explain the patterns in air temperature, followed by IU and NDVI. While the NDVI contributed most to explain the variability of absolute humidity; 3 – the range, obtained by semivariograms, showed large variability in values, varying according to the time of day and the observed variable; 4 – the patterns of deviations in absolute humidity allowed to affirm that the central area, more urbanized, had the highest negative deviations and the areas with higher NDVI values and near watercourses showed the highest positive deviations of humidity.

**Keywords:** urban climate, thermodynamic field, geoprocessing.

### Introdução

As cidades, atualmente, têm despertado cada vez mais o interesse de pesquisadores sobre a qualidade de vida no ambiente urbano. As preocupações com as condições climáticas e melhoria da qualidade de vida da população das metrópoles levaram vários estudiosos a realizarem pesquisas sobre essa temática (Alcoforado, Andrade, Lopes, & Vasconcelos, 2009; Coutts, Beringer, & Tapper, 2007; Oke, 1981; Souch & Grimmond, 2006; Zoulia, Santamouris, & Dimoudi, 2009).

Os estudos realizados na atmosfera urbana têm mostrado que as cidades geram um clima próprio, o

denominado clima urbano, e que esse é o resultado da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada limite urbana e que agem alterando o clima em escalas local ou regional (Monteiro, 1976).

Nas cidades as modificações da ocupação do solo decorrem da concentração de construções, impermeabilização com o asfaltamento de ruas e avenidas, aumento do fluxo de pessoas e automóveis, além da diminuição da vegetação, fazendo com que essas alterações tenham uma repercussão não só em nível local, mas em dimensão regional, dependendo do tamanho da respectiva área urbana (Alves & Biudes, 2012).

As escalas mesoclimáticas e regionais são as mais retratadas nas pesquisas sobre a variação da temperatura do ar em áreas urbanas. No entanto, dentro do mesoclima e do clima regional, há o local, e, dentro do local, existe grande variedade de microclimas. Por isso a necessidade de se adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura (Monteiro, 1990).

No entanto, nos planejamentos das cidades, não se tem dado a devida atenção à questão climática. Na maioria dos centros urbanos tem se privilegiado o construir sem a preocupação de como essas construções modificariam a atmosfera urbana (Alves & Biudes, 2012; Amorim, Dubreuil, & Cardoso, 2015; Lopes, Alves, Alcoforado, & Machete, 2013).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade da temperatura do ar e umidade absoluta, com os intuitos de verificar os locais de maior aquecimento e menor umidade absoluta e identificar as variáveis geourbanas, responsáveis por essa variação na cidade de Iporá, fornecendo aos administradores públicos subsídios ao reordenamento do território.

## Material e métodos

Para a coleta de dados de temperatura do ar e umidade relativa foram utilizados oito termo-higrômetros na cidade de Iporá. A distribuição destes buscou atender a três critérios: 1 - representar as diferentes características geourbanas da cidade; 2 -

padronizar a superfície de contato; 3 - seguir as recomendações de Oke (2006) em fixar medidores de temperatura do ar em locais sem obstrução. Levando-se em consideração esses aspectos, optou-se por colocá-los em abrigos meteorológicos, fixados em postes de madeira pintados com a cor branca, a uma altura aproximada de 1,80 m nas rotatórias e em canteiros centrais (Figura 1).

Os termo-higrômetros usados são do modelo OM-EL-USB-2-LCD da empresa OMEGA, com exatidão de 0,5°C para a temperatura do ar e 3% para a umidade relativa.

Na Figura 1 estão o mapa de localização dos aparelhos e seus respectivos raios de influência, definidos por Oke (2006) e Alves e Biudes (2013), que correspondem, respectivamente, a 500 e 200 m.

Os termo-higrômetros foram instalados no dia 19 de outubro de 2014, um dia depois o aparelho 2, localizado próximo ao lago Pôr do sol, foi furtado. A primeira coleta de dados ocorreu no dia 27 de outubro. A segunda coleta foi realizada no dia 24 de novembro de 2014<sup>1</sup>. Portanto, as análises correspondem ao período do dia 20/10 a 24/11 de 2014. Os aparelhos foram programados para registrarem dados a cada 30 min., portanto, desconsiderando-se o dia 19 de outubro e parte do dia 24 de novembro, foram obtidos 1.630 dados de temperatura do ar e umidade relativa.



**Figura 1.** Localização dos aparelhos termo-higrômetros e suas respectivas áreas de influência.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ocasão na qual se constatou o furto de mais três termo-higrômetros. Tendo-se em vista a possibilidade de furtos posteriores, decidiu-se recolhê-los.

### Precisão na mensuração dos dados

Com o intuito de verificar se os oito termo-higrômetros estavam calibrados, estes foram colocados lado a lado (Figura 2) e programados para registrarem dados (temperatura do ar e umidade relativa) a cada 5 min. até totalizarem 500 dados. Posteriormente estes foram comparados em relação à precisão entre eles.



Figura 2. Termo-higrômetros OMEGA.

Nas Figuras 3 e 4 são representados os dados da temperatura do ar e umidade relativa, coletados para averiguação da precisão entre os termo-higrômetros.

Nota-se que, para a temperatura do ar, os oito aparelhos apresentaram elevada precisão, enquanto que, para a umidade relativa, o aparelho 7 apresentou superestimação dos valores de umidade relativa.

Diante do observado, foi necessária a calibração do aparelho 7, a qual foi realizada por meio de regressão linear simples. A Figura 5 é constituída por gráfico de dispersão com a equação da regressão linear, que foi calculada entre o termo-higrômetro 7 e o 1. Essa relação apresentou excelente coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,99$ ), que confirma a possibilidade de utilização do aparelho 7 ao se aplicar a equação gerada pelo modelo matemático.

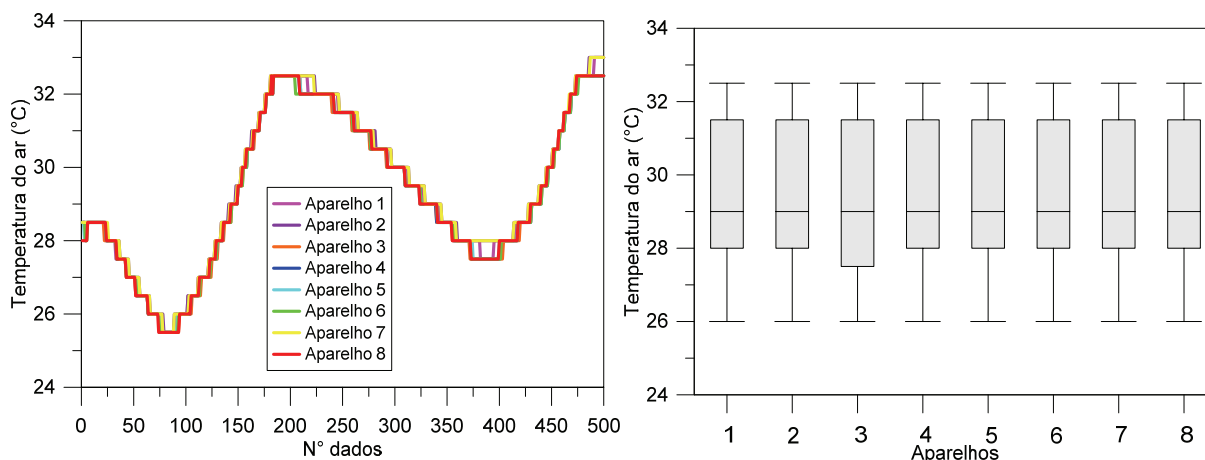


Figura 3. Dados de temperatura do ar dos oito aparelhos termo-higrômetros.

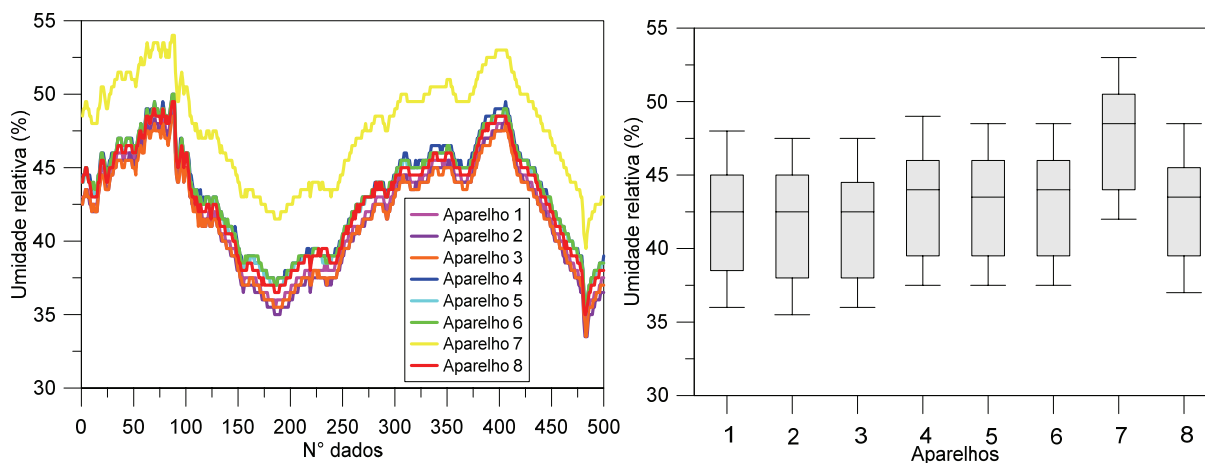
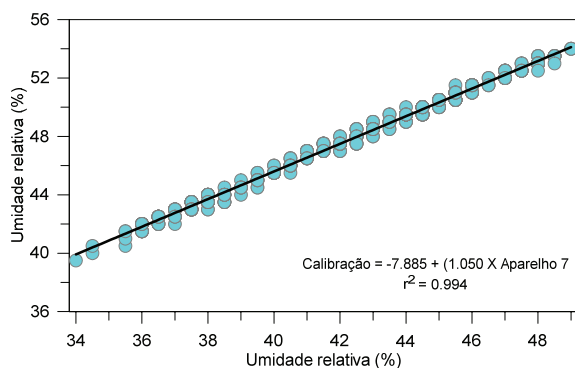


Figura 4. Dados de umidade relativa do ar dos oito aparelhos termo-higrômetros.



**Figura 5.** Calibração do aparelho 7 com o aparelho 1.

Portanto, os dados de umidade relativa do aparelho 7 foram submetidos à calibração pela equação da Figura 5.

#### De umidade relativa do ar para umidade absoluta

Na análise dos resultados, em vez da umidade relativa do ar, utilizou-se a umidade absoluta, pois ela expressa a concentração de vapor de água no ar. A umidade absoluta foi calculada conforme a descrição de Vianello e Alves (2000), a partir das Equações 1 a 3.

$$UA = 2168 \times e_a \div T \quad (1)$$

$$e_a = UR \times e_s \div 100 \quad (2)$$

$$e_s = 0,6108 \times 10^{\frac{7,5 \times T}{237,3 + T}} \quad (3)$$

Em que  $UA$  é a umidade absoluta,  $e_a$  é a pressão atual do vapor de água,  $T$  é a temperatura do ar,  $UR$  é a umidade relativa do ar e  $e_s$ , a pressão de saturação do vapor de água.

#### Resultados e discussão

##### Padrões dos dados meteorológicos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia)

A análise rítmica é apropriada para a investigação da variação do clima em episódios, tanto por suas possibilidades de representação das variações cronológicas dos elementos atmosféricos em dado espaço (ou lugar) como, ainda, pela premissa que encerra, isto é, de que apenas a partir da escala diária é possível associar a variação dos elementos do clima com os tipos de tempo que se sucedem (Monteiro, 1971).

Os ciclos diários da temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, radiação solar global e precipitação podem ser observados na Figura 6, no

período de 20 de outubro a 24 de novembro de 2014.

Nota-se que nos dias de ocorrência de precipitação houve aumento na umidade relativa do ar e diminuição na temperatura do ar, pelo bloqueio da radiação solar global pelas nuvens e pelo processo de evapotranspiração, intensificado pela precipitação. A variação da pressão atmosférica também reflete a entrada de massas de ar. Os elementos meteorológicos são interdependentes e denotam as modificações nos padrões meteorológicos. Esses diferentes padrões implicam em distintas conjecturas dos fenômenos que ocorrem entre a superfície e a atmosfera.

##### Padrões da temperatura do ar e umidade absoluta nos pontos de mensuração

Utilizou-se nesta pesquisa a técnica de agrupamentos hierárquicos que se baseia na menor distância euclidiana entre dois pontos de uma matriz de similaridade e no agrupamento por variância mínima ou método de Ward (Landim, 2003). Esse foi preferido pelo fato de que em cada passo dentro da análise a união de todos os pares possíveis do grupo é considerada (Landim, 2003).

A análise de agrupamentos maximiza as semelhanças entre os dados, criando grupos distintos, bem como diferencia estes grupos entre si (Landim, 2003), no qual o dendograma é a representação gráfica do agrupamento.

O corte na distância de ligação 8 foi escolhido para separação dos grupos. Nos agrupamentos da temperatura do ar formaram-se três grupos. O grupo 1 foi constituído pelos pontos de mensuração 1, 7 e 8; o grupo 2, somente pelo ponto 3; e o grupo 3 pelos pontos 4, 5 e 6 (Figura 7A). Os agrupamentos da umidade absoluta (Figura 7B) formaram quatro grupos. O grupo 1 foi composto pelos pontos 1, 4, 5 e 8, os grupos restantes tiveram cada um apenas um ponto, grupo 2 composto pelo ponto 3, grupo 3, pelo ponto 6 e grupo 4, pelo ponto 7.

Nota-se que o ponto 3 não formou grupo nos dendogramas, provavelmente pela influência do NVDI (Tabela 1) em minimizar a temperatura do ar e aumentar a umidade absoluta o que torna esse ponto destoante dos demais. Os pontos 4 e 5 foram agrupados em ambos os dendogramas, estes pontos possuem semelhança quanto às variáveis altitude e declividade das vertentes.

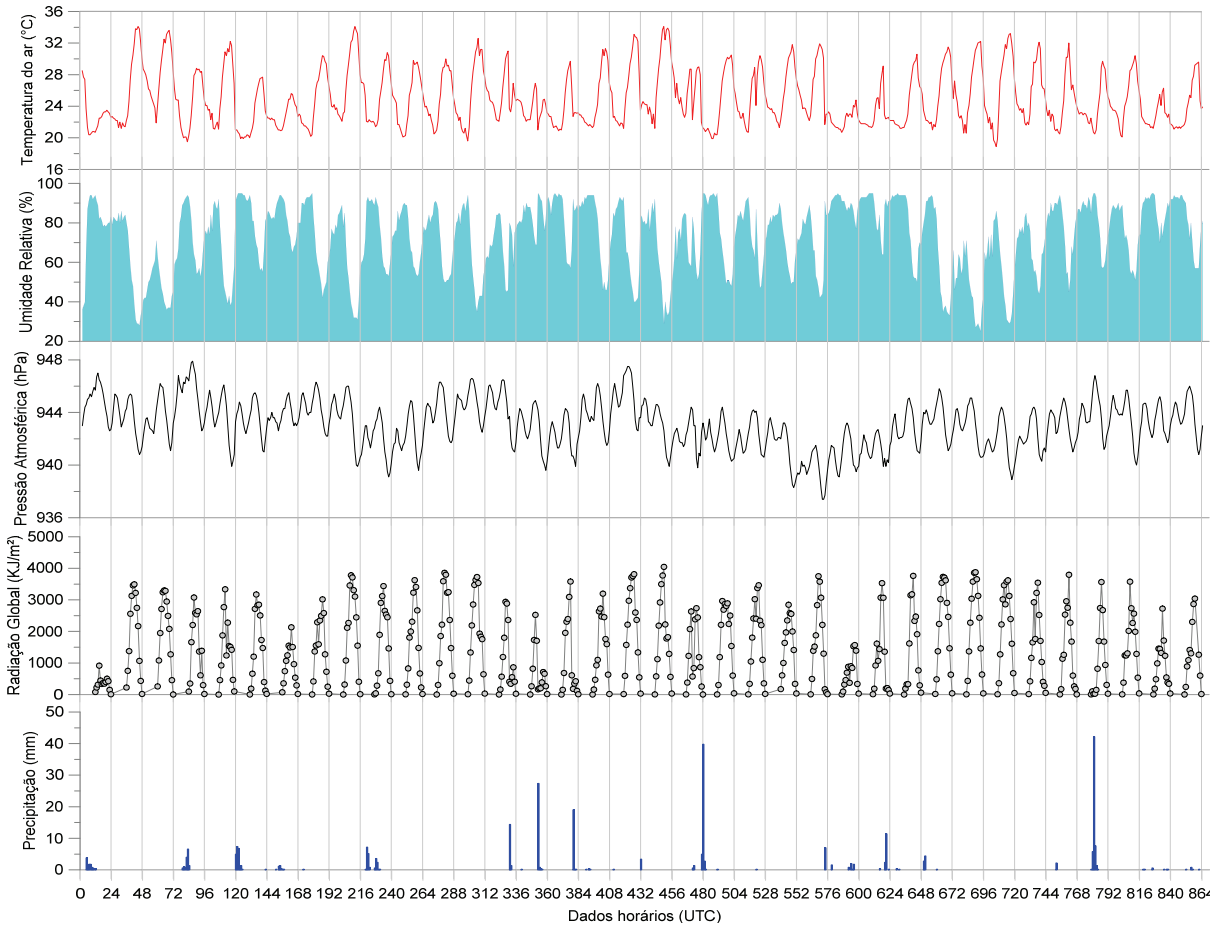


Figura 6. Variação temporal dos dados meteorológicos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, 2014) da estação meteorológica automática de Iporá/GO do dia 20 de outubro de 2014 a 24 de novembro de 2014.

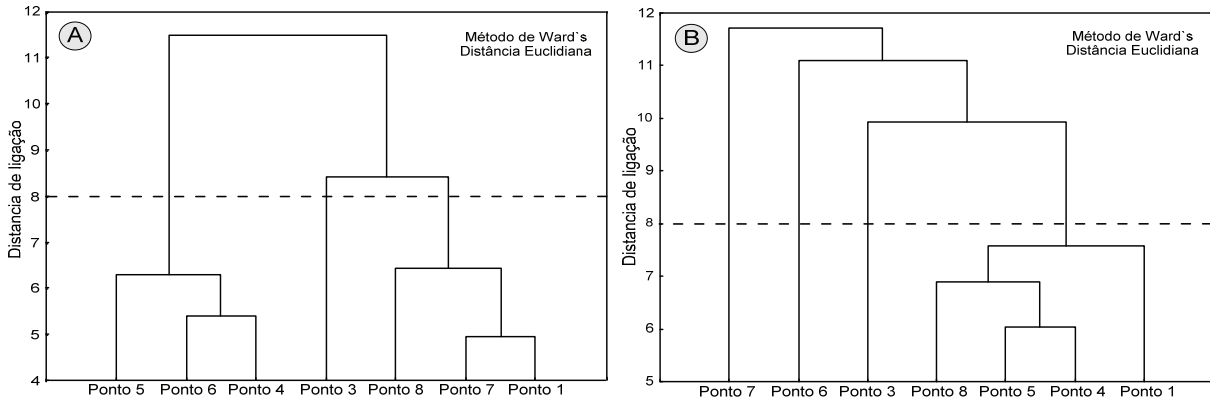


Figura 7. Dendrograma dos pontos de mensuração pelos valores de temperatura do ar (A) e umidade absoluta (B).

Tabela 1. Altitude (A); Declividade das vertentes (DV); Densidade demográfica (DD); NDVI; Orientação das vertentes (OV) e Índice de urbanização (IU).

| Pontos | A*    | DV* | DD***  | NDVI* | OV** | IU*   |
|--------|-------|-----|--------|-------|------|-------|
| 1      | 608,3 | 1   | 684,4  | 0,05  | 213  | -0,09 |
| 3      | 570,6 | 2,4 | 3560,3 | 0,26  | 190  | -0,27 |
| 4      | 588,8 | 2,1 | 2103   | 0,07  | 208  | 0     |
| 5      | 580,8 | 2,7 | 70,6   | 0,01  | 296  | 0,06  |
| 6      | 596,9 | 3,3 | 4002   | 0,08  | 280  | -0,02 |
| 7      | 615,1 | 1,7 | 2084,6 | 0,08  | 282  | 0,01  |
| 8      | 595,8 | 2,4 | 912,6  | 0,09  | 233  | -0,02 |

\* Média num quadrado de 200 m de lado, centrado sobre o ponto de mensuração; \*\* Moda num quadrado de 200 m de lado, centrado sobre o ponto de mensuração; \*\*\* Referente à população atribuída pelo Censo 2010.

### Regressão linear múltipla da temperatura do ar e umidade absoluta

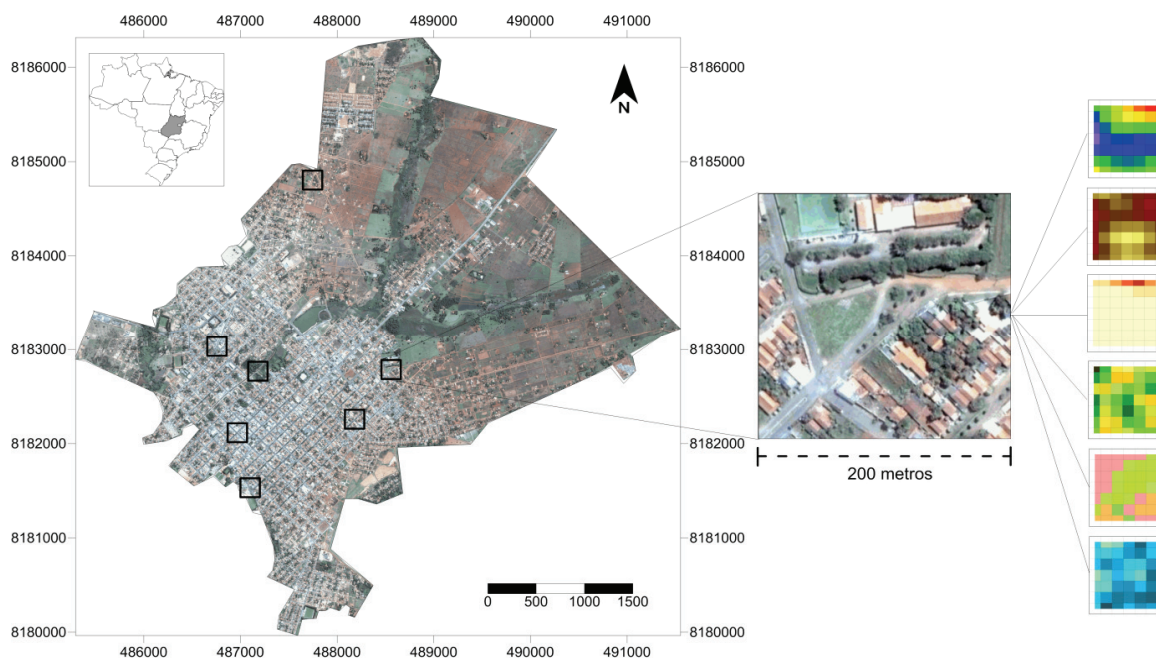
As variáveis geourbanas, utilizadas para a regressão linear múltipla, foram a altitude, declividade das vertentes, densidade demográfica, NDVI, orientação das vertentes e índice de urbanização. Foram selecionadas sete áreas (conforme Figura 8) que correspondem ao local de instalação dos termo-higrômetros, estabeleceu-se um quadrado com 40.000 m<sup>2</sup>, centrado sobre cada área, em seguida extraíram-se o valor médio e a moda para cada quadrado. Esse procedimento foi realizado em um SIG (Sistema de Informação Geográfica), no qual as variáveis independentes constituíram os diferentes *layers*.

A partir dos valores médios e da moda de cada quadrado realizou-se um processo passo a passo para selecionar a melhor função de regressão, sendo a

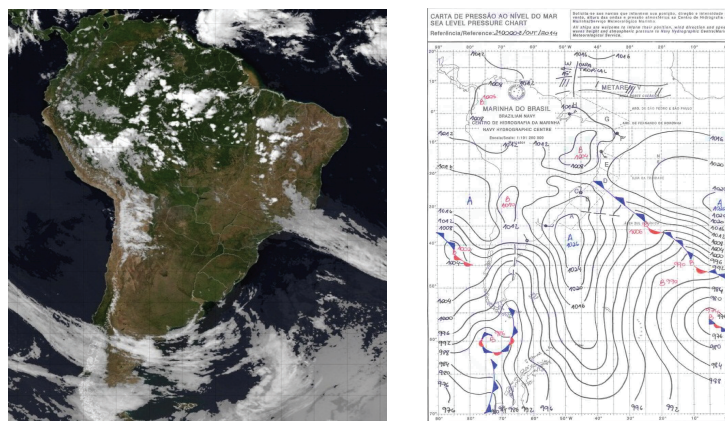
temperatura do ar e a umidade absoluta as variáveis dependentes e os fatores geourbanos, as variáveis independentes. As imagens obtidas pela regressão linear múltipla representaram, assim, o campo térmico e higrométrico para toda a área urbana.

Selecionou-se o dia 21 de outubro de 2014, dia típico do período de coleta. A cada dado horário calculou-se a regressão linear múltipla, a partir da qual foram elaborados mapas de temperatura do ar e umidade absoluta, com o intuito de se analisar a evolução horária do campo termo-higrométrico.

No dia 21/10/14 (Figura 9) a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscilou em torno de 08° N a 10° N no Pacífico e em torno de 07° N a 09° N no Atlântico, atuando na área de estudo uma massa de ar tropical continental (mTc) quente e seca.

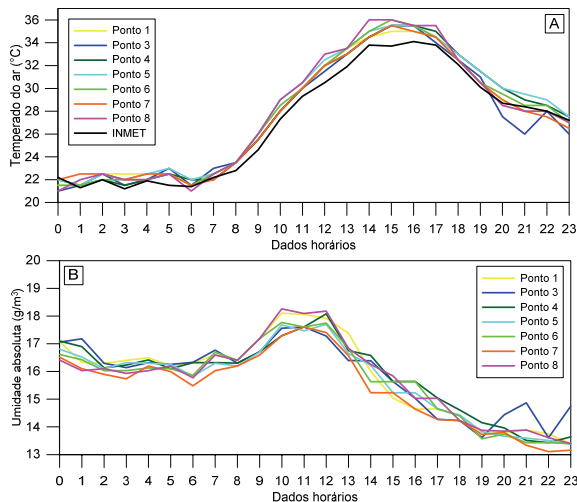


**Figura 8.** Localização da cidade de Iporá e método de análise.



**Figura 9.** Atuação de massas de ar no dia 21/10/2014 (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [INPE], 2014; Brasil, 2014).

A temperatura do ar na estação do INMET (Figura 10) teve amplitude de 12,9°C, a mínima foi observada às 3h da manhã com 21,2°C e a máxima às 16h com 34,1°C. Os pontos 6 e 8 obtiveram temperatura do ar de 36°C às 15h. A umidade absoluta mínima ocorreu às 23h e as máximas, das 10 às 12h. A amplitude diária foi de 15°C para temperatura do ar e de 5,2 g m<sup>-3</sup> para a umidade absoluta. Os valores da radiação solar global na estação do INMET denotaram um dia de céu claro, conforme as características da mTc.



**Figura 10.** Variação da temperatura do ar (A) e da umidade absoluta (B) nos pontos de mensuração no dia 21/10/2014.

Na Tabela 2 tem-se a contribuição de cada variável, dentro da regressão, para explicar a variabilidade da temperatura do ar. Conforme a Tabela 2, em cada horário, diferentes variáveis foram utilizadas nas regressões. A Equação 8, correspondente ao horário das 19h, obteve o maior coeficiente de determinação ( $r^2 = 99,28$ ) seguida pela Equação 10, às 21h, com  $r^2 = 90,88$ . O menor coeficiente de determinação (66,1) foi observado na Equação 5, às 15h, pois foi constituída, somente, por uma variável.

Para a temperatura do ar, as equações obtidas por meio das regressões lineares múltiplas, mostraram que, no dia em questão, a variável orientação das vertentes (OV) não teve influência detectada nos padrões da temperatura do ar, apenas 0,61% na Equação 10 (21h). O índice de urbanização (IU) teve influência significativa em seis momentos, com maior influência na Equação 10 (21h). A altitude teve influência no entardecer, 16 h, 18 h e 19h. A densidade demográfica (DD), declividade das vertentes (DV) e o NDVI contribuíram em quatro equações, notadamente o NDVI foi mais significativo no período noturno. Na somatória das porcentagens das influências, observa-se que a DV

foi a variável geourbana que mais contribuiu para explicar os padrões da temperatura do ar, seguida pelo IU e NDVI.

**Tabela 2.** Contribuição de cada variável nos padrões horários da temperatura do ar.

| Equação          | Variáveis        | R <sup>2</sup> | Influência (%) |
|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Equação 4 (11h)  | DD               | 0,43           | 43,59          |
|                  | DD, IU           | 0,45           | 1,43           |
|                  | DD, IU, DV*      | 0,90           | 45,69          |
| Equação 5 (15h)  | DV*              | 0,66           | 66,10          |
| Equação 6 (16h)  | DV               | 0,66           | 66,82          |
|                  | DV, A            | 0,86           | 19,43          |
|                  | DV, A, DD*       | 0,87           | 1,06           |
| Equação 7 (18h)  | IU               | 0,23           | 23,82          |
|                  | IU, NDVI         | 0,24           | 0,2            |
|                  | IU, NDVI, DD     | 0,28           | 4,06           |
|                  | IU, NDVI, DD, A* | 0,73           | 45,79          |
| Equação 8 (19h)  | A                | 0,45           | 45,46          |
|                  | A, DV            | 0,48           | 2,81           |
|                  | A, DV, DD        | 0,56           | 8,11           |
|                  | A, DV, DD, IU*   | 0,99           | 42,89          |
| Equação 9 (20h)  | NDVI             | 0,73           | 73,63          |
|                  | NDVI, IU*        | 0,76           | 2,90           |
| Equação 10 (21h) | IU               | 0,86           | 86,49          |
|                  | IU, NDVI         | 0,90           | 3,78           |
| Equação 11 (23h) | IU, NDVI, OV*    | 0,90           | 0,61           |
|                  | NDVI             | 0,71           | 71,46          |
|                  | NDVI, IU*        | 0,71           | 0,14           |

\*Variáveis utilizadas na regressão linear múltipla ( $p\text{-value} < 0,05$ ).

A seguir estão as equações que melhor explicaram a variabilidade da temperatura do ar no dia 21 de outubro. Não foi possível, em alguns horários, a obtenção de equação porque o  $p\text{-value}$  para inserção das variáveis foi maior que 0,05 ou as premissas da regressão linear múltipla não foram atendidas. As equações utilizadas referem-se às 11, 15, 16, 18, 19, 20, 21 e 23h.

$$TEMP_{11h} = 29,86 + (0,279 \times DV) - (0,000190 \times DD) - (0,55 \times IU) \quad (4)$$

$$TEMP_{15h} = 34,72 + (0,382 \times DV) \quad (5)$$

$$TEMP_{16h} = 39,753 - (0,00808 \times A) + (0,201 \times DV) - (0,0000190 \times DD) \quad (6)$$

$$TEMP_{18h} = 40,443 + (0,0128 \times A) - (0,00000786 \times DD) - (1,384 \times NDVI) + (0,914 \times IU) \quad (7)$$

$$TEMP_{19h} = 64,417 - (0,0539 \times A) - (0,751 \times DV) + (0,000211 \times DD) + (0,914 \times IU) \quad (8)$$

$$TEMP_{20h} = 29,729 - (5,464 \times NDVI) + (3,35 \times IU) \quad (9)$$

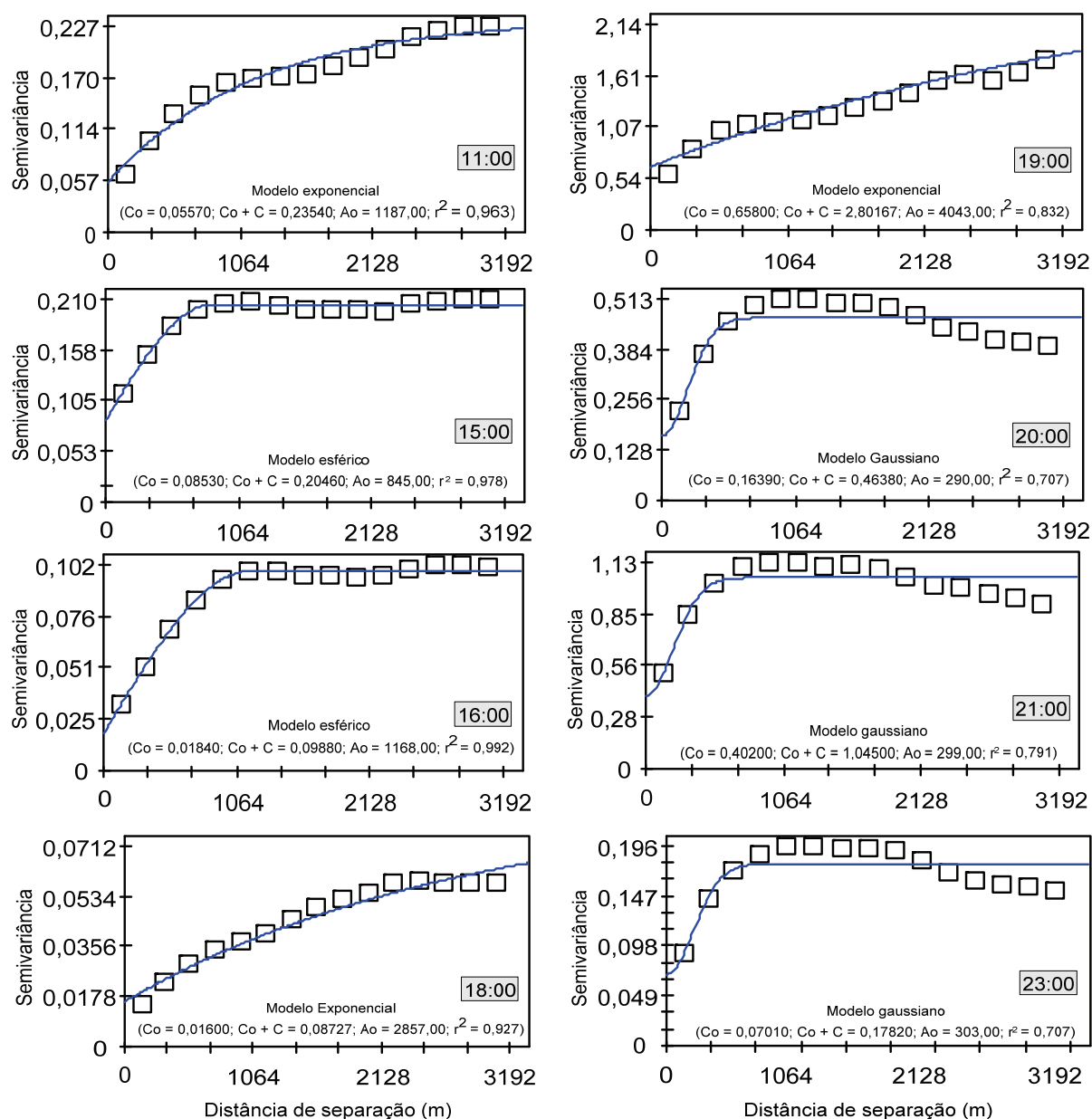
$$TEMP_{21h} = 29,741 - (0,993 \times NDVI) - (0,00309 \times OV) + (6,478 \times IU) \quad (10)$$

$$TEMP_{23h} = 27,422 - (5,162 \times NDVI) + (0,447 \times IU) \quad (11)$$

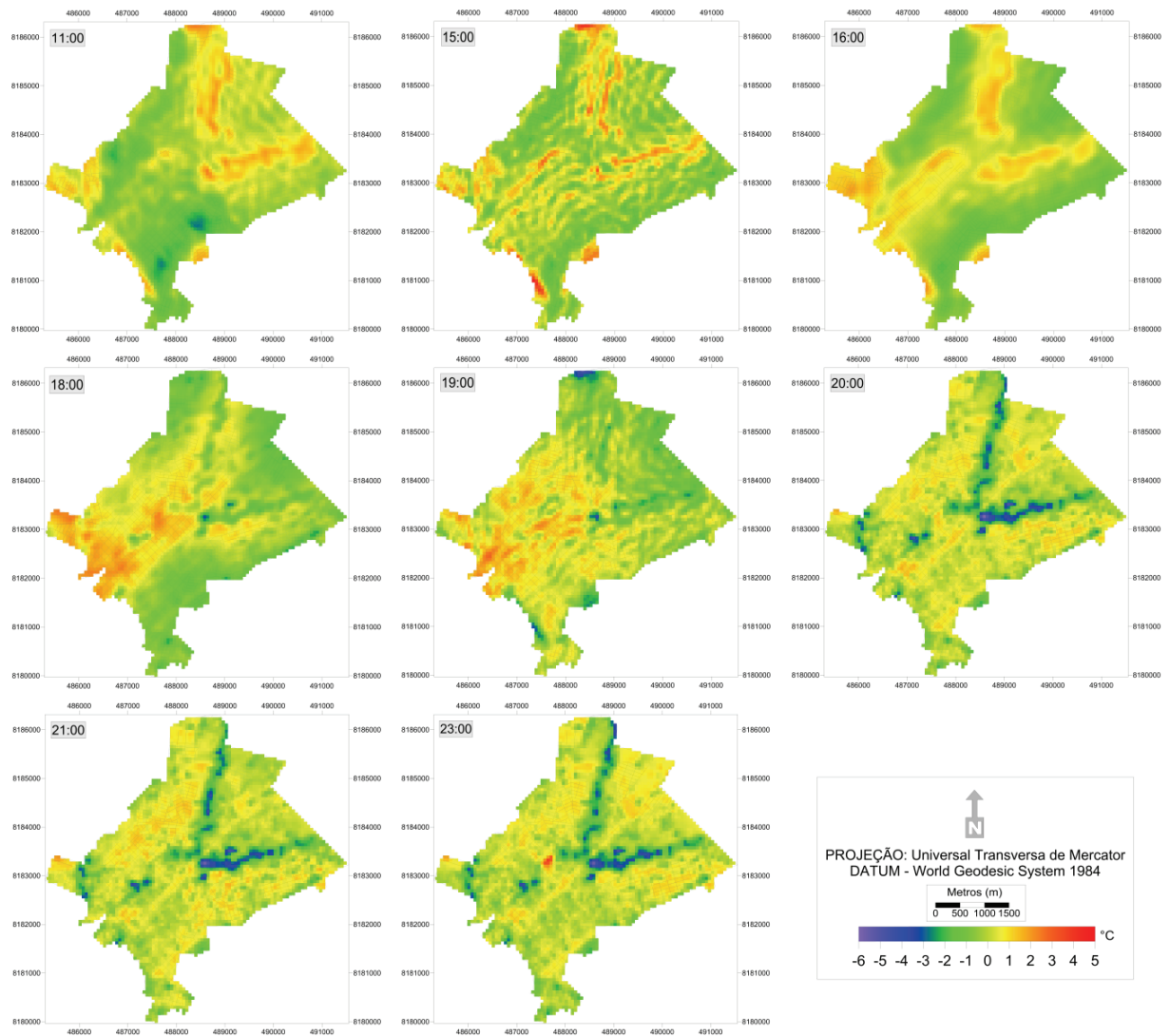
As Equações 4 a 11 foram utilizadas para se estimar os valores da temperatura do ar, posteriormente se utilizaram modelos semivariográficos para interpolá-la e espacializá-la. Na Figura 11 estão os melhores modelos obtidos para cada horário. O modelo exponencial foi utilizado em três horários; às 11, 18 e 19h, o gaussiano também em três momentos; às 16, 20 e 21h e o modelo esférico foi utilizado em duas circunstâncias; 15 e 16h. Nota-se que às 11, 15, 16 e 18h, período diurno, os semivariogramas tiveram  $r^2$  elevado, acima de 0,9.

Após a krigagem da temperatura do ar e da umidade absoluta, foram calculados os desvios térmicos (Figura 12) e higrométricos (Figura 15). Na Figura 12 nota-se modificação nos padrões térmicos a partir das 20h. No

horário das 11, 15 e 16h as áreas próximas aos corpos d'água apresentaram os maiores desvios positivos, ressalta-se que a estimação dos desvios para as 15h contou com apenas a variável declividade das vertentes, o que generaliza, tornando os padrões das declividades os padrões dos desvios térmicos. Às 16, 18 e 19h os maiores desvios positivos foram observados nas áreas centrais da cidade. Entretanto, na área urbana, às 20, 21 e 23h os desvios estiveram com valores semelhantes, somente nas proximidades dos corpos d'água, e nas áreas vegetadas os desvios foram maiores, neste caso, desvios negativos. Conforme a Figura 12, os valores dos desvios variaram de  $-6$  a  $5^\circ\text{C}$  durante o dia 21/10/2014.



**Figura 11.** Modelos de semivariogramas utilizados para krigagem da temperatura do ar.



**Figura 12.** Espacialização dos desvios da temperatura do ar obtida pela regressão linear múltipla no dia 21/10/2014.

Na Tabela 3 tem-se a contribuição de cada variável, dentro da regressão, para se explicar a variabilidade da umidade absoluta. Conforme a Tabela 3, em cada horário, diferentes variáveis foram utilizadas nas regressões. As Equações 13, 14, 15, 16 e 18 obtiveram coeficientes de determinação acima de 0,97. O menor coeficiente de determinação (0,70) foi observado na Equação 12, às 1h, com a utilização de duas variáveis: A e IU.

As variáveis DD e DV tiveram influência somente na Equação 14 às 11h (Tabela 3), enquanto o índice de urbanização foi utilizado em todas as equações, e, portanto, teve influência na variabilidade da umidade absoluta em todos os horários utilizados. A altitude e a orientação das vertentes não foram utilizadas nas Equações 17 e 12, respectivamente. Entretanto, na somatória das influências, o NDVI foi a variável que mais contribuiu para explicar a variabilidade da umidade absoluta.

No dia 21 de outubro as equações que melhor explicaram a variabilidade da umidade absoluta foram as Equações 12 e 18. Em alguns horários, não foi possível a obtenção de uma equação porque nessas ocasiões o *p-value* para inserção das variáveis foi maior que 0,05 ou porque as premissas na regressão linear múltipla não foram atendidas. As equações utilizadas referem-se às 1, 2, 11, 14, 20, 21 e 23h.

As equações 12 a 18 foram utilizadas para se estimar os valores de umidade absoluta, posteriormente se utilizaram modelos semivariográficos para interpolar e espacializar a umidade absoluta. Na Figura 13 estão os modelos semivariográficos e horários que foram utilizados. Seis dos sete modelos apresentaram coeficiente de determinação acima de 0,9, apenas às 21h o  $r^2$  foi inferior (0,85). Na maioria dos semivariogramas

observou-se existência do efeito pepita ( $C_0 + C$ ), isso denota que podem existir padrões espaciais subjacentes à menor distância utilizada. O modelo exponencial foi utilizado em quatro circunstâncias e o esférico, em três.

$$UMID_{01h} = 26,956 - (0,0177 \times A) - (1,222 \times IU) \quad (12)$$

$$UMID_{02h} = 18,848 - (0,00385 \times A) - (2,579 \times NDVI) - (0,00124 \times OV) - (2,054 \times IU) \quad (13)$$

$$UMID_{11h} = 2,244 + (0,0274 \times A) + (0,517 \times DV) - (0,000225 \times DD) - (0,00650 \times OV) - (2,072 \times IU) \quad (14)$$

$$UMID_{14h} = 33,625 - (0,0251 \times A) - (2,235 \times NDVI) - (0,00994 \times OV) + (1,731 \times IU) \quad (15)$$

$$UMID_{20h} = 15,526 - (0,00229 \times A) + (2,610 \times NDVI) - (0,00205 \times OV) + (0,337 \times IU) \quad (16)$$

$$UMID_{21h} = 13,745 + (0,417 \times NDVI) - (0,00075 \times OV) - (3,957 \times IU) \quad (17)$$

$$UMID_{23h} = 22,411 - (0,0148 \times A) + (2,069 \times NDVI) - (0,00121 \times OV) - (1,732 \times IU) \quad (18)$$

O alcance (limite no qual existe dependência espacial), obtido pelos semivariogramas, expressa a distância na qual existe dependência espacial entre as amostras. Na Figura 14 é representada a variação do alcance em relação à temperatura do ar e à umidade absoluta nos horários de coleta. Nota-se grande variabilidade nos valores do alcance, conforme já observado por Alves e Biudes (2013), o alcance varia de acordo com o horário do dia e com a variável, isso fica evidente na Figura 14, na qual se observam valores discrepantes entre a temperatura do ar e a umidade absoluta, a média do alcance foi de 1.374 m

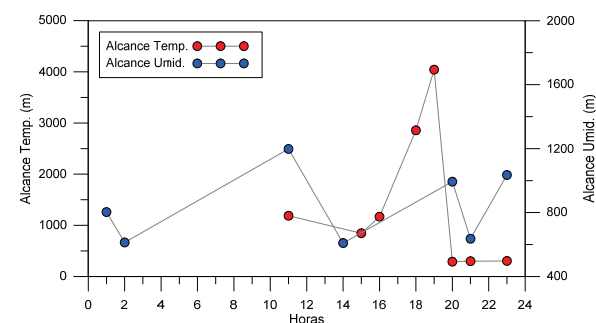
para temperatura do ar e 841 m para umidade absoluta, com máximos de 4.043 m e 1.198 m, respectivamente.

**Tabela 3.** Contribuição de cada variável nos padrões horários da umidade absoluta.

| Equação          | Variáveis          | R <sup>2</sup> | Influência (%) |
|------------------|--------------------|----------------|----------------|
| Equação 12 (1h)  | A                  | 0,62           | 62,44          |
|                  | A, IU*             | 0,70           | 8,22           |
| Equação 13 (2h)  | OV                 | 0,59           | 59,88          |
|                  | OV, IU             | 0,63           | 4,07           |
|                  | OV, IU, A          | 0,68           | 4,19           |
|                  | OV, IU, A, NDVI*   | 0,99           | 31,15          |
| Equação 14 (11h) | DV                 | 0,24           | 24,50          |
|                  | DV, OV             | 0,30           | 5,53           |
|                  | DV, OV, A          | 0,50           | 20,20          |
|                  | DV, OV, A, DD      | 0,81           | 31,65          |
|                  | DV, OV, A, DD, IU* | 0,99           | 17,90          |
| Equação 15 (14h) | A                  | 0,54           | 54,53          |
|                  | A, OV              | 0,72           | 17,96          |
|                  | A, OV, IU          | 0,96           | 23,91          |
|                  | A, OV, IU, NDVI*   | 0,98           | 2,16           |
| Equação 16 (20h) | NDVI               | 0,89           | 89,91          |
|                  | NDVI, IU           | 0,90           | 0,68           |
|                  | NDVI, IU, OV       | 0,95           | 5,33           |
|                  | NDVI, IU, OV, A*   | 0,97           | 1,40           |
| Equação 17 (21h) | IU                 | 0,85           | 85,23          |
|                  | IU, NDVI           | 0,85           | 0,03           |
|                  | IU, NDVI, OV*      | 0,85           | 0,16           |
| Equação 18 (23h) | NDVI               | 0,81           | 81,39          |
|                  | NDVI, IU           | 0,84           | 2,78           |
|                  | NDVI, IU, A        | 0,98           | 14,05          |
|                  | NDVI, IU, OV*      | 0,98           | 0,41           |

\*Variáveis utilizadas na regressão linear múltipla ( $p\text{-value} < 0,05$ ).

Os mapas da Figura 15 foram confeccionados a partir da krigagem obtida pelos semivariogramas da Figura 13. Os desvios da umidade absoluta permitem afirmar que a área central, mais urbanizada, teve os maiores desvios negativos, ou seja, os menores valores de umidade absoluta em relação ao restante da área urbana, fato marcante no mapa das 11h. As áreas com maiores valores de NDVI e próximas aos cursos d'água apresentaram os maiores desvios positivos de umidade, o que evidencia relação direta entre a vegetação e umidade absoluta. No período noturno esse padrão persiste, talvez por causa do efeito fundo de vale nessas áreas. Nota-se que os desvios de umidade variaram de -3 a 6°C.



**Figura 14.** Alcance relativo à temperatura e umidade absoluta.

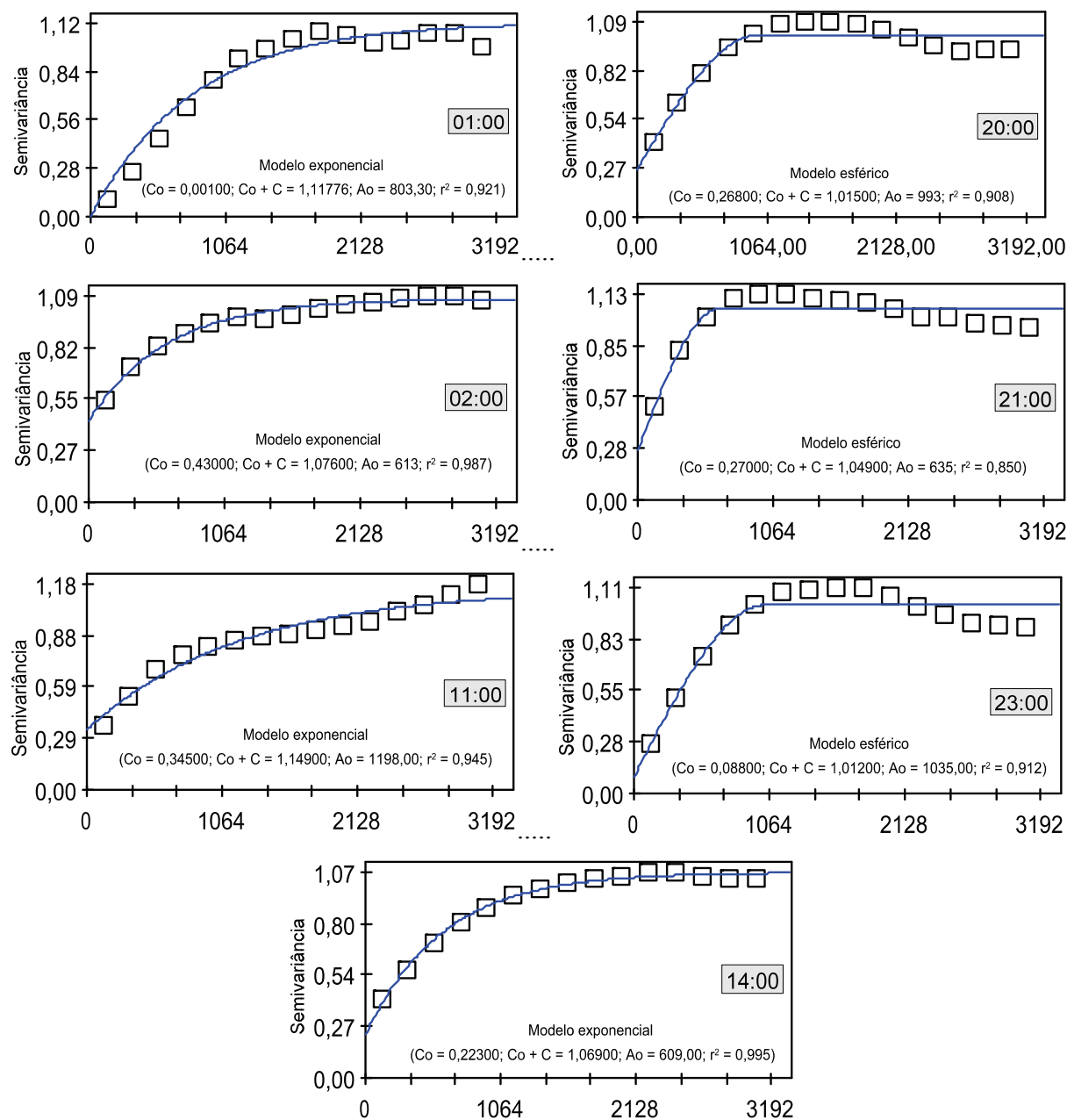


Figura 13. Modelos de semivariogramas utilizados para krigagem da umidade absoluta.

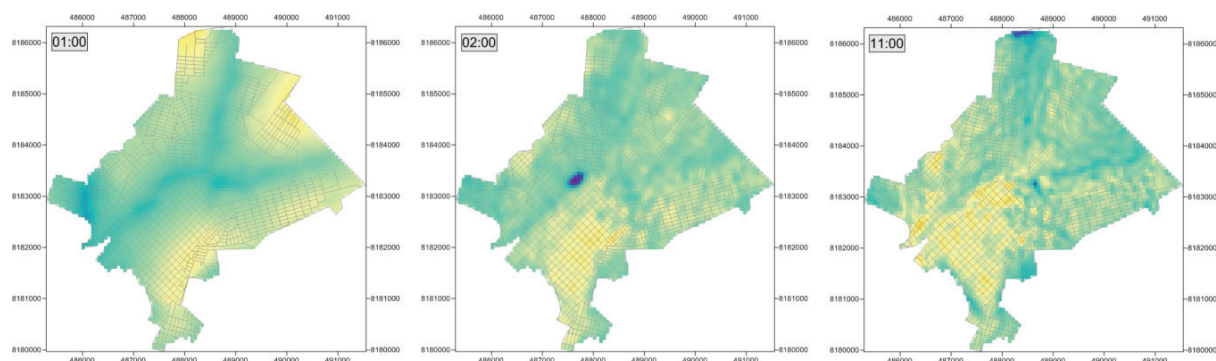


Figura 15. Espacialização dos desvios da umidade absoluta obtida pela regressão linear múltipla no dia 21/10/2014. (continua...)

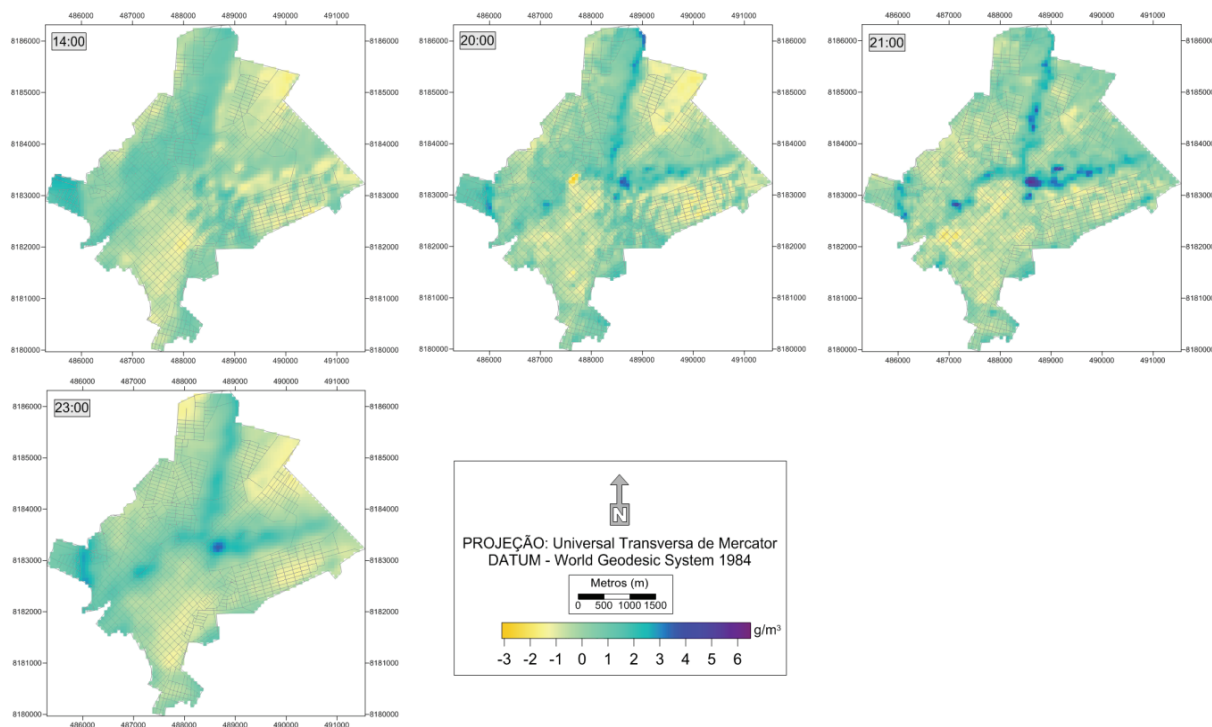


Figura 15 (cont.). Espacialização dos desvios da umidade absoluta obtida pela regressão linear múltipla no dia 21/10/2014.

### Considerações finais

Os dendogramas mostraram que alguns pontos de mensuração se agruparam de forma semelhante, todavia a influência da variável NDVI tornou o ponto 3 destoante dos demais. Na somatória das porcentagens das influências, a declividade das vertentes foi a variável geourbana que mais contribuiu para explicar os padrões da temperatura do ar, seguida pelo IU e NDVI, enquanto que o NDVI foi a variável que mais contribuiu para explicar a variabilidade da umidade absoluta.

Os semivariogramas da temperatura do ar, no período noturno, tiveram  $r^2$  elevado, acima de 0,9. O modelo exponencial e o gaussiano foram os mais utilizados, três vezes cada um. Para a umidade absoluta, seis dos sete modelos apresentaram coeficiente de determinação acima de 0,9, apenas às 21h o  $r^2$  foi inferior (0,85). O modelo exponencial foi o mais utilizado (quatro ocasiões). O alcance, obtido pelos semivariogramas, apresentou grande variabilidade nos seus valores, variando de acordo com o horário do dia e com a variável observada.

Em relação aos padrões dos desvios da temperatura do ar, estes se diferenciaram em dois padrões, que representaram os períodos diurno e noturno. Os padrões dos desvios da umidade absoluta permitiram afirmar que a área central, mais urbanizada, teve os maiores desvios negativos e áreas com maiores valores de NDVI e próximas aos cursos

d'água apresentaram os maiores desvios positivos de umidade.

### Referencias

- Alcoforado, M.-J., Andrade, H., Lopes, A., & Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 90(1-2), 56-65.
- Alves, E. D. L., & Biudes, M. S. (2012). Análise da temperatura do ar e da umidade relativa: estudo de microclimas. *Interthesis*, 9(2), 139-156.
- Alves, E. D. L., & Biudes, M. S. (2013). Method for determining the footprint area of air temperature and relative humidity. *Acta Scientiarum. Technology*, 35(2), 187-194.
- Amorim, M. C. C. T., Dubreuil, V., & Cardoso, R. S. (2015). Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 16(11), 29-45.
- Brasil, M. (2014). *Cartas Sinóticas*. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Hidrografia da Marinha.
- Coutts, A. M., Beringer, J., & Tapper, N. J. (2007). Characteristics influencing the variability of urban CO2 fluxes in Melbourne, Australia. *Atmospheric Environment*, 41(1), 51-62.
- Instituto Nacional de Meteorologia [INMET] (2014, december). *Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática*. Recuperado de <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [INPE]. (2014). *Boletim técnico*. Recuperado de [http://tempo.cptec.inpe.br/bol\\_tecnico.shtml](http://tempo.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtml).

- Landim, P. M. B. (2003). *Análise Estatística de dados Geológicos* (2a ed.). Rio Claro, SP: Edunesp.
- Lopes, A., Alves, E., Alcoforado, M. J., & Machete, R. (2013). Lisbon urban heat island updated: New highlights about the relationships between thermal patterns and wind regimes. *Advances in Meteorology*, 2013(2013), ID 487695, 1-11. doi.org/10.1155/2013/487695.
- Monteiro, C. A. F. (1971). *Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho* (Série Clim). São Paulo: Instituto de Geografia. Recuperado de <https://books.google.com.br/books?id=YGgcmwEACAAJ>.
- Monteiro, C. A. F. (1976). *Teoria e clima urbano*. São Paulo, SP: USP.
- Monteiro, C. A. F. (1990). Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. *Geosul*, 5(9), 61-79.
- Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1(3), 237-254.
- Oke, T. R. (2006). *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites* (IOM Report No. 81, WMO/TD. No. 1250). Geneva, SW: World Meteorological Organization. Recuperado de <https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>
- Souch, C., & Grimmond, S. (2006). Applied climatology: urban climate. *Progress in Physical Geography*, 30(2), 270-279.
- Vianello, R. L., & Alves, A. R. (2000). *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa, MG: UFV.
- Zoulia, I., Santamouris, M., & Dimoudi, A. (2009). Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. *Environmental Monitoring and Assessment*, 156(1-4), 275-292.

Received on March 28, 2016.

Accepted on July 18, 2016.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.