UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Elis Dener Lima Alves

ANÁLISE DAS INFLUÊNCIAS GEOURBANAS NO CLIMA URBANO DA CIDADE DE IPORÁ- GOIÁS

Elis Dener Lima Alves

ANÁLISE DAS INFLUÊNCIAS GEOURBANAS NO CLIMA URBANO DA CIDADE DE IPORÁ - GOIÁS

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Arthur Silva Vecchia

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Alves, Elis Dener Lima A474a Análise das influênc

Análise das influências geourbanas no clima urbano da cidade de Iporá - Goiás / Elis Dener Lima Alves; orientador Francisco Arthur Silva Vecchia. São Carlos, 2016.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.

1. Clima urbano. 2. Ilha de calor urbana. 3. Sensoriamento remoto. 4. Regressão linear múltipla. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Licenciado ÉLIS DENER LIMA ALVES.

Título da tese: "Análise das influências geourbanas no clima urbano de Iporá-Goiás".

Data da defesa: 10/06/2016

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Francisco Arthur da Silva Vecchia** (**Orientador**)

(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Associado **Adriano Rogério Bruno Tech**

APROVADO

(Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/FZEA-USP)

Prof. Dr. Paulo Henrique de Souza

(Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL)

APROVADO

Profa. Dra. Lea Cristina Lucas de Souza

(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO_

Profa. Dra. **Zilda de Fátima Mariano**

(Universidade Federal de Goiás/UFG)

Julia J. Miniano

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:

Prof. Associado Frederico Fabio Mauad

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Associado Paulo César Lima Segantine

AGRADECIMENTOS

À minha mãe (Dalva Marta de Lima Alves) pela dedicação e carinho.

À minha irmã (Cátia Mara Lima Alves) pelo carinho e atenção.

Ao professor M.e Valdir Specian que despertou o meu interesse pela Climatologia.

Ao professor D.r Francisco Arthur Silva Vecchia por ter aceitado meu ingresso no Programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental.

Ao professor D.r António Lopes e à professora Dra. Maria João Alcoforado por terem aceitado meu estágio de pesquisa na Universidade de Lisboa, onde pude aprender técnicas e procedimentos metodológicos que contribuíram substancialmente nesta pesquisa.

Aos colegas e amigos do grupo de Climatologia e do Programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, pelo afastamento concedido para o término desta pesquisa.

Agradeço também as Instituições públicas nas quais realizei toda minha trajetória acadêmica (Universidade Estadual de Goiás, Universidade Federal de Mato Grosso e Universidade de São Paulo).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de doutorado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

RESUMO

ALVES, E. D. L. **Análise das influências geourbanas no clima urbano de Iporá - Goiás**. 2016. 146p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

As modificações impostas pela ação do homem desequilibram o complexo sistema natural, alterando os elementos e características do clima na escala local. A cidade é o exemplo mais significativo destas transformações e o campo térmico urbano é um dos elementos do sistema cidade-atmosfera mais afetados pela mudança do uso e da cobertura do solo. No Brasil, tem-se observado que a grande maioria dos estudos de clima urbano está focada nas grandes cidades, sobre as características do clima urbano para a região Centro-Oeste, especialmente nas cidades de pequeno porte, pouco se conhece. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi de analisar as influências das características geourbanas na configuração do clima da cidade de Iporá e identificar a variabilidade temporal e espacial das ilhas de calor urbanas. Para tanto, instalou-se oito aparelhos termo-higrômetros para a coleta de dados de temperatura do ar e umidade e duas estação meteorológicas completas, uma na área urbana e a outra na área rural, também foram utilizadas imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 e 8. Nas análises dos dados foram utilizadas regressões lineares simples e múltiplas, modelagem, simulações e foi proposto um índice (InGe) para quantificar a influência do homem no clima da cidade. Os resultados evidenciaram que: 1 - em algumas áreas da cidade de Iporá foram observadas tendências significativas de aumento na intensidade das anomalias térmicas; 2 - as variáveis mais influentes na regressão linear múltipla da temperatura de superfície (TS) foram o NDVI que explicou 35% da variabilidade e a densidade demográfica com 25%; 3 - a equação final, proposta como modelo preditor da intensidade máxima da ilha de calor urbana de superfície para a Região do Oeste Goiano obteve r² de 0,6; 4 - quanto maior a distância da área verde maior a temperatura de superfície, além disso, na primavera ou próximo dela, a intensidade do efeito da área verde na TS foi muito superior ao efeito em outras datas; 5 - 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 6 - as ilhas de calor urbanas em Iporá foram mais frequentes na intensidade de 0,5°C e 1°C, a intensidade máxima observada foi de 3,5°C; 7 - as áreas localizadas nos fundos de vale apresentaram os menores valores térmicos, o que sugere uma drenagem de ar frio. Contudo, constatou-se que a cidade de Iporá, mesmo se tratando de uma cidade pequena, modifica seus parâmetros atmosféricos.

Palavras-chave: Clima urbano. Ilha de calor urbana. Sensoriamento remoto. Regressão linear múltipla.

ABSTRACT

ALVES, E. D. L. **Geourban influences analysis on Iporá - Goiás urban climate**. 2016. 146p. Thesis (Doctorate) – School of Engineer of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2016.

The changes imposed by man unbalance the complex natural system, changing the climate elements and features at local scale. The city is the most significant example of these transformations and the urban thermal field is the element of the cityatmosphere most affected by the use and land cover change system. In Brazil, it has been observed that the vast majority of urban climate research is focused on big cities, so that little is known on urban climate characteristics for the Midwest, especially in small towns. Thus, the objective of this research was to analyze the influence of Geourban characteristics in the climate setting of the city of Iporá and to identify the temporal and spatial variability of urban heat islands. Therefore, eight Thermo-Hygrometer devices for collecting air temperature and humidity data and two complete weather stations were settled, one in the urban area and the other in the rural area; Landsat 5 and 8 multi-spectral images of were also used. In data analysis simple and multiple linear regressions, modeling and simulations were used and an index (InGe) was proposed to quantify the man influence on the city climate. The results showed that: 1 - in some areas of Iporá city significant trends of increasing intensity of thermal anomalies were observed; 2 - the most influential variables in the multiple regression of surface temperature (TS) were explained by NDVI (35 % of the variability) and population density (25 %); 3 - the final equation, proposed as a maximum intensity predictive model of the urban surface heat island for the West Region of Goiás, we obtained an R² 0.6; 4 - the greater the distance from the green area, the higher surface temperature; moreover, in the spring, or close to it, the intensity of the green area effect on TS was by far superior to the effect at other periods; 5 - the patterns of the absolute humidity deviations allow us to affirm that the central area, urbanized, had the highest negative variances, while the areas with higher NDVI values and nearby watercourses showed the highest positive deviations moisture; 6 - urban heat islands on Iporá were more frequent at the intensity of 0.5°C to 1°C, while the maximum intensity was observed at 3.5°C; 7 - the areas located in the valley bottoms had the lowest thermal values, suggesting a cold air drainage. However, it was found that the city of Iporá, despite being a small town, modifies its atmospheric parameters.

Keywords: Urban climate. Urban heat island. Remote sensing. Multiple linear regression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da cidade de Iporá2
Figura 2. Evolução da população no município de Iporá3
Figura 3. Precipitação media mensal (1974 - 2006)4
Figura 4. Espacialização temporal da precipitação em Iporá5
Figura 5. Fluxograma para obtenção das variáveis geourbanas8
Figura 6. Variáveis independentes utilizadas: A - Densidade demográfica (DD); B – Índice de urbanização (IU); C - NDVI; D – Altitude (A); E - Orientação das vertentes (OV); F - Declividade das vertentes (DV)9
Figura 7. Processo para a obtenção da área efetivamente urbanizada dos setores censitários: A - setores censitários; B - área urbanizada; C - Recorte dos setores censitários9
Figura 8. Densidade demográfica (habitantes/km²) de Iporá10
Figura 9. Índice de Urbanização de Iporá11
Figura 10. NDVI de Iporá12
Figura 11. Hipsometria de Iporá13
Figura 12. Declividade das vertentes de Iporá14
Figura 13. Orientação das vertentes de Iporá15
Figura 14. Fluxograma para obtenção das anomalias térmicas18
Figura 15. Anomalias térmicas multitemporais22
Figura 16. Anomalias térmicas médias (1984 – 2011) sobrepostas ao relevo e ocupação do solo
Figura 17. Exposição das vertentes a radiação solar global no equinócio em Iporá - GO23
Figura 18. Anomalias térmicas máximas negativas (A), anomalias térmicas máximas positivas (B) ocorridas no período de 1984 a 201124
Figura 19. Quantidade de anomalias térmicas negativas (A) e anomalias positivas (B) ocorridas no período de 1984 a 201125
Figura 20. Localização dos pontos de mensuração das anomalias25
Figura 21. Bloxplot das anomalias térmicas para cada ponto de mensuração26
Figura 22. Padrões das anomalias térmicas nos pontos de mensuração27
Figura 23. Tendência das anomalias térmicas nos pontos de mensuração de 1984 a 201129
Figura 24. Relação das anomalias térmicas nos pontos de mensuração com tendência significativa e o NDVI de 1984 a 201130
Figura 25. Fluxograma para obtenção da temperatura de superfície33

Figura 26. Transectos utilizados para extração de dados da temperatura de superfície34
Figura 27. Relação entre as variáveis geourbanas e a temperatura de superfície - transecto 1
Figura 28. Relação entre as variáveis geourbanas e a temperatura de superfície - transecto 2
Figura 29. Modelo semivariográfico utilizado para krigagem da temperatura de superfície
Figura 30. Temperatura de superfície - TS (A) e temperatura de superfície estimada - TSE pela regressão linear múltipla (B)
Figura 31. Root mean square error (RMSE) da regressão linear múltipla40
Figura 32. Localização das cidades selecionadas da região do Oeste Goiano e método do cálculo da ilha de calor urbana de superfície (ICUS)45
Figura 33. Bloxplot da temperatura da superfície das cidades do Oeste Goiano46
Figura 34. Cidade de Jandaia (A) e cidade de Bom Jardim de Goiás (B)46
Figura 35. Intensidade das ilhas de calor urbanas de superfície nas cidades do Oeste Goiano
Figura 36. Cidade de Iporá (A) e cidade de Israelândia (B)47
Figura 37. Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e a população das cidades da Região do Oeste Goiano49
Figura 38. Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e a população das cidades da Região do Oeste Goiano50
Figura 39. Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e a área urbana (A) das cidades da Região do Oeste Goiano51
Figura 40. Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e o IDH das cidades da Região do Oeste Goiano
Figura 41. Variação da ilha de calor urbana da superfície observada, estimada e o RMSE53
Figura 42. Buffers utilizados para os cálculos do PCI58
Figura 43. Temperatura de superfície em Iporá, as linhas pretas correspondem aos limites dos <i>buffers</i>
Figura 44. Boxplots da TS nos buffers de 30 m (A), 200 m (B) e 500 m (C)60
Figura 45. Valores sazonais da PCI61
Figura 46. Relação entre a PCI dos <i>buffers</i> de 200 m e 500 m e a diferença do NDVI entre os <i>buffers</i> de 200 m (A) e 500 m (B) com o <i>buffer</i> de 30 m62
Figura 47. Relação entre a PCI dos <i>buffers</i> de 200 m e 500 m e a diferença do LAI entre os <i>buffers</i> de 200 m (A) e 500 m (B) com o <i>buffer</i> de 30 m63
Figura 48. Intensidade da PCI observada e intensidade da PCI estimada pela regressão linear múltipla nos <i>buffers</i> de 200 m (A) e 500 m (B)64

Figura 49. Localização dos aparelhos termo-higrômetros e suas respectivas áreas de influência
Figura 50. Termo-higrômentros OMEGA68
Figura 51. Dados de temperatura do ar dos oito aparelhos termo-higrômetros68
Figura 52. Dados de umidade relativa do ar dos oito aparelhos termo-higrômetros. 68
Figura 53. Calibração do aparelho 7 com o aparelho 169
Figura 54. Variação temporal dos dados meteorológicos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) da estação meteorológica automática de Iporá/GO do dia 20 de outubro de 2014 a 24 de novembro de 201471
Figura 55. Dendograma dos pontos de mensuração pelos valores de temperatura do ar (A) e umidade absoluta (B)
Figura 56. Localização da cidade de Iporá e método de análise73
Figura 57. Atuação de massas de ar no dia 21/10/201474
Figura 58. Variação da temperatura do ar (A) e da umidade absoluta (B) nos pontos de mensuração no dia 21/10/201475
Figura 59. Modelos de semivariogramas utilizados para krigagem da temperatura do ar
Figura 60. Espacialização dos desvios da temperatura do ar obtida pela regressão linear múltipla no dia 21/10/1479
Figura 61. Modelos de semivariogramas utilizados para krigagem da umidade absoluta82
Figura 62. Alcance relativo a temperatura e umidade absoluta82
Figura 63. Espacialização dos desvios da umidade absoluta obtida pela regressão linear múltipla no dia 21/10/1483
Figura 64. Padrões da intensidade da ICU no período de 20/10 a 24/11 de 201487
Figura 65. Valores médios e desvio padrão das ICU87
Figura 66. Número de ocorrências horárias de Ilhas de calor88
Figura 67. Relação entre Intensidade media diária da ilha de calor e total pluviométrico diário
Figura 68. Ilha de calor durante o dia e durante a noite no período de 20/10/2014 a 24/11/2014. O intervalo horário do período diurno foi definido das 7h:30min às 19h:30min e noturno das 20h:00 às 7h:00 (hora local)89
Figura 69. Ocorrências de ICU<2°C e ICU>2°C durante o dia e durante a noite90
Figura 70. Padrão da ilha de calor máxima no dia 21/10, 14/11 e 18/11 de 201490
Figura 71. Variação dos dados meteorológicos da estação automática de Iporá do INMET nos dias de ocorrência de ICU _{max} 91
Figura 72. Atuação de massas de ar no dia 21/10/ (A), no dia 14/11 (B) e 18/11 (C) de 201492
Figura 73. Modelos de semivariogramas utilizados para krigagem das ICU93

Figura 74. Ilhas de calor urbanas estimadas no dia 21/10/14 no horário das 20h30min, 21h e 21h30min94
Figura 75. Boxplot das ICU94
Figura 76. Ilha de calor urbana média do horário das 20h30min, 21h e 21h30min do dia 21/10/1495
Figura 77. Classes da Ilha de calor media do horário das 20h30min, 21h e 21h30min do dia 21/10/1496
Figura 78. Localização da estação meteorológica urbana (EMU) e rural (EMR) em lporá-GO100
Figura 79. Método utilizado para obtenção do fator de visão do céu: criação de polígonos a partir da imagem do Google Earth (A), estimativa da altura dos edifícios.
Figura 80. Elevação dos edifícios próximos a estação meteorológica urbana 103
Figura 81. Diferenças dos valores das variáveis meteorológicas entre a EMU e a EMR105
Figura 82. Direção dos ventos na estação meteorológica urbana (A) e na estação rural (B)
Figura 83. Quantidade de observações das diferenças positivas da temperatura do ar, das diferenças negativas da umidade relativa, das diferenças negativas da radiação solar global e das diferenças negativas da velocidade do vento107
Figura 84. Ilha de calor média, máxima e desvio positivo108
Figura 85. Ilha de calor durante o dia e durante a noite. O intervalo horário do período diurno foi definido das 7h30min às 19h30min e noturno das 20h às 7h (hora local)
Figura 86. Relação entre a ilha de calor urbana e a diferença da umidade relativa entre a EMU e a EMR109
Figura 87. Relação entre a intensidade da ICU e a velocidade do vento110
Figura 88. Observações das ilhas de calor em relação à frequência relativa das classes da velocidade do vento111
Figura 89. Classes da magnitude das influências dos fatores naturais e antrópicos propostas pelo InGe115
Figura 90. Índice Geourbano (InGe) para a temperatura de superfície, temperatura do ar, umidade absoluta e ilhas de calor urbanas máximas119
Figura 91. Simulações dos padrões espaciais das ilhas de calor com o aumento do NDVI
Figura 92. Frequência relativa das classes das ICU simuladas
Figura 93. Ilha de calor máxima (A), ilha de calor máxima simulada com NDVI aumentado em 100% (B), NDVI (C) e NDVI aumentado em 100% (D)126
Figura 94. Ilha de calor máxima e ilha de calor máxima simulada com aumento do NDVI em 100%126
Figura 95. Tamanho e forma da ilha de calor máxima observada e simulada127

LSTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficientes de correlação entre a temperatura de superfície e as variáveis geourbanas
Tabela 2. Contribuição de cada variável no padrão da temperatura de superfície 38
Tabela 3. Características das cidades do Oeste Goiano selecionadas44
Tabela 4. RMSE das ICUS estimadas pela Equação 23, Equação 24, Equação 25, Equação 26, Equação 27 e Equação 2950
Tabela 5. Altitude (A); Declividade das vertentes (DV); Densidade demográfica (DD); NDVI; Orientação das vertentes (OV) e Índice de urbanização (IU)72
Tabela 6. Contribuição de cada variável nos padrões horários da temperatura do ar76
Tabela 7. Contribuição de cada variável nos padrões horários da umidade absoluta80
Tabela 8. Contribuição de cada variável no padrão das ilhas de calor urbana máxima92
Tabela 9. Influência das variáveis geourbanas no padrão da temperatura de superfície
Tabela 10. Influência das variáveis geourbanas nos padrões horários da temperatura do ar
Tabela 11. Influência das variáveis geourbanas nos padrões horários da umidade absoluta
Tabela 12. Influência das variáveis geourbanas nos padrões das ICU máximas 118
Tabela 13. Contribuição das variáveis no padrão das ilhas de calor urbana máxima (21h30min - 21/10/2014)122

LSTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A Altitude

ANA Agência Nacional de Águas

AVHRR Advanced Very High Resolution Radiometer

DD Densidade Demográfica

DV Declividade das Vertentes

EMR Estação Meteorológica Rural

EMU Estação Meteorológica Urbana

FVC Fator de Visão do Céu

GO Goiás

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICU Ilha de Calor Urbana

ICU_{max} Ilha de Calor Urbana Máxima

ICUS Ilha de Calor Urbana de Superfície

IDH Índice de Desenvolvimento Humano

IFU Ilha de Frescor Urbana

InGe Índice Geourbano

INMET Instituto Nacional de Meteorologia

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IU Índice de Urbanização

LAI Leaf Area Index

LSI Landscape shape index

mEc massa Equatorial continental

MRLM Modelo de Regressão Linear Múltipla

mTa massa Tropical atlântica

NDVI Normalized Difference Vegetation Index

OV Orientação das Vertentes

P População

PCI Park Cool Island

RMSE Root Mean Square Error

SAVI Soil Adjusted Vegetation Index

SIG Sistema de Informação Geográfica

SRTM Shuttle Radar Topographic Mission

TS Temperatura de Superfície

TSE Temperatura de Superfície Estimada

ZCIT Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 IPORÁ E SUAS CARACTERÍSTICAS	1
1.1 Processo histórico de emancipação de Iporá – Goiás	1
1.2 Características da área de estudo	
1.3 Estudos de climatologia realizados em Iporá	5
1.4 Variáveis geourbanas	
1.4.1 Características das variáveis geourbanas	7
2 MULTITEMPORALIDADE DAS ANOMALIAS DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM IPORÁ – GOIÁS	16
2.1 Introdução	16
2.2 Material e Métodos	17
2.2.1 Radiância Espectral	18
2.2.2 Reflectância	18
2.2.3 NDVI - Normalized Difference Vegetation Index	19
2.2.4 SAVI - Soil Adjusted Vegetation Index	19
2.2.5 LAI - Leaf Area Index	20
2.2.6 Emissividade	20
2.2.7 Temperatura de Superfície	20
2.2.8 Anomalias Térmicas	21
2.3 Resultados e Discussões	21
2.3.1 Análise dos pontos de mensuração das anomalias térmicas	25
2.3.2 Análise da tendência das anomalias térmicas	27
2.4 Considerações	30
3 INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NATURAIS E ANTRÓPICAS NOS PADRÕES TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE: ANÁLISE POR MEIO DE REGRESSÃO LIN MÚLTIPLA	IEAR
3.1 Introdução	32
3.2 Material e Métodos	33
3.3 Resultados e Discussões	36
3.3.1 Relação entre temperatura de superficie e variáveis geourbanas	36
3.3.2 Regressão linear multipla da temperatura de superfície	38
3.4 Considerações	40
4 INTENSIDADE E MODELAGEM DAS ILHAS DE CALOR URBANAS DE SUPERFÍCIE EM CIDADES DE PEQUENO PORTE: ANÁLISE DA REGIÃO DO OESTE GOIANO	

4.1 Introdução	42
4.2 Material e Métodos	43
4.3 Resultados e discussões	45
4.4 Considerações	53
5 QUANTIFICANDO O EFEITO DOS CURSOS D'ÁGUA/ÁREA VERDE NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE	55
5.1 Introdução	55
5.2 Material e Métodos	56
5.3 Resultados e Discussões	58
5.4 Considerações	64
6 ANÁLISE ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR E UMIDADE ABSOLUTA E CIDADE DE PEQUENO PORTE	
6.1 Introdução	65
6.2 Material e Métodos	66
6.2.1 Precisão na mensuração dos dados	67
6.2.2 De umidade relativa do ar para umidade absoluta	69
6.3 Resultados e Discussões	70
6.3.1 Padrões dos dados meteorológicos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia)	
6.3.2 Padrões da temperatura do ar e umidade absoluta nos pontos de mensuração	71
6.3.2 Regressão linear múltipla da temperatura do ar e umidade absoluta.	73
6.4 Considerações	84
7 ILHA DE CALOR URBANA EM CIDADE DE PEQUENO PORTE E A INFLUÊ DE VARIÁVEIS GEOURBANAS	NCIA 85
7.1 Introdução	85
7.2 Material e Métodos	86
7.3 Resultados e Discussões	86
7.3.1 Características das Ilhas de calor máximas (ICU _{max})	90
7.3.2 Regressão linear múltipla das ilhas de calor máximas do dia 21/10/2	014 92
7.4 Considerações	96
8 O URBANO E O RURAL: ANÁLISE DOS DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS	98
8.1 Introdução	98
8.2 Material e Método	99
8.2.1 Obtenção do Fator de visão do céu (FVC)	100
8.2.2 Cálculo das diferenças	101

8.3 Resultados e Discussões	102
8.3.1 As ilhas de calor e suas características	107
8.4 Considerações	111
9 ÍNDICE GEOURBANO (INGE): PROPOSTA METODOLÓGICA PARA QUANTIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA NATURAL E ANTRÓPICA NO CLIMA DA CIDADES	
9.1 Introdução	
9.2 Material e Método	114
9.3 Resultados e Discussões	116
Figura 90. Índice Geourbano (InGe) para a temperatura de superfície, temp do ar, umidade absoluta e ilhas de calor urbanas máximas	
9.4 Considerações	119
10 ILHAS DE CALOR E SIMULAÇÕES: PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS AO REORDENAMENTO DO TERRITÓRIO	121
10.1 Introdução	121
10.2 Material e Métodos	122
10.3 Resultados e discussões	123
10.3.1 Simulação das ilhas de calor com aumento do NDVI	123
10.3.2 Simulação da ilha de calor máxima da área central	125
10.4 Considerações	127
CONSIDERAÇÕES FINAIS	129
REFERÊNCIAS	131

APRESENTAÇÃO

A grande maioria dos estudos de clima urbano no Brasil está focada nas grandes cidades, devido, principalmente, à localização dos centros de pesquisa. Sobre as características do clima urbano para a região Centro-Oeste, especialmente nas cidades de pequeno porte, pouco se conhece. Portanto, a relevância de estudos dessa natureza pode ser aferida por meio de quatro justificativas básicas, que são:

- 1- As cidades de pequeno porte, especialmente nos países tropicais, carecem tanto quanto as cidades grandes, de estudos de toda ordem. Além disso, há perspectiva de que o futuro será marcado por um fluxo crescente de pobres para as grandes cidades, e da classe média para as cidades médias e pequenas, fruto direto do processo de metropolização e desmetropolização, definido por Santos (1993).
- 2- O planejamento e a intervenção no desenvolvimento das cidades de pequeno porte pode, pelo próprio estágio de desenvolvimento das mesmas, ser mais eficaz que nas cidades grandes.

As cidades de pequeno porte possuem características geográficas bastante diferenciadas daquelas de grande porte e metropolitanas e apresentam consideráveis facilidades para a identificação de suas paisagens intra-urbanas; estas, previamente identificadas, permitirão uma melhor compreensão da interação sociedade-natureza na construção do clima urbano (MENDONÇA, 2003).

- 3- O detalhamento cartográfico das diferenças internas e circunvizinhas, ganha maior riqueza quanto maior for a escala da cidade objeto de estudo. Quando elaborado como etapa inicial de estudos ele permite a identificação da heterogeneidade do espaço urbano a ser estudado, assim como o levantamento de hipóteses concernentes a possíveis diferenças climáticas intra-urbanas.
- 4- Estudos em cidades pequenas podem ajudar a responder indagações básicas: a partir de que porte ou grau hierárquico uma cidade brasileira passa a oferecer condições de geração de um clima urbano? Quais as relações entre os atributos geourbanos nessa definição?

Para tanto, a tese apresentada é composta por dez "capítulos", os quais estão organizados na forma de capítulo-artigo, ou seja, em cada capítulo há introdução, material e métodos, resultados e discussões e considerações, apenas o primeiro capítulo não seguiu essa lógica. Cada um dos capítulos forneceu subsídios para o

desenvolvimento dos capítulos seguintes, buscando o entendimento do clima urbano de Iporá de forma geossistêmica.

No capítulo I: **Iporá e suas características** foi discutido o processo histórico de criação da cidade de Iporá, assim como suas características físicas, sociais e climatológicas. Neste capítulo estabeleceu-se a base para os capítulos subsequentes, a partir da elaboração das variáveis geourbanas.

O capítulo II: **Multitemporalidade das anomalias da temperatura de superfície em Iporá – Goiás** buscou analisar, por meio de imagens de satélite, o padrão de distribuição espacial e temporal das anomalias térmicas de superfície na cidade de Iporá – Goiás no período de 1984 a 2011.

Influência das variáveis naturais e antrópicas nos padrões da temperatura de superfície: análise por meio de regressão linear múltipla - capítulo III, teve como objetivo avaliar a influência das variáveis geourbanas na distribuição espacial da temperatura de superfície, assim como o desempenho de modelos matemáticos para a sua estimação na cidade de Iporá.

No capítulo IV: Intensidade e modelagem das ilhas de calor urbanas de superfície em cidades de pequeno porte: análise da região do Oeste Goiano foram propostas equações baseadas na população, área urbana e IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) para se estimar as intensidades máximas das ilhas de calor urbanas de superfície para Região do Oeste Goiano.

O capítulo V: Quantificando o efeito dos cursos d'água/área verde na temperatura de superfície objetivou conhecer a variabilidade temporal da intensidade da PCI e analisar os fatores que a determina, propondo uma equação para predizer a intensidade da PCI em Iporá que servirá aos planejadores urbanos para mitigar ilhas de calor, seja pela criação de áreas verdes, ou pela sua otimização.

Análise espacial da temperatura do ar e umidade absoluta em cidade de pequeno porte – capítulo VI, teve como objetivo analisar a variabilidade da temperatura do ar e umidade absoluta, com o intuito de verificar os locais de maior aquecimento e menor umidade absoluta e identificar as variáveis geourbanas responsáveis por esta variação na cidade de Iporá.

Analisar a variabilidade temporal e espacial das ilhas de calor em Iporá, verificar a influência das variáveis geourbanas na determinação das ilhas de calor e com isso propor um modelo para se estimar a intensidade máxima da ilha de calor

urbana foram os objetivos do capítulo VII: Ilha de calor urbana em cidade de pequeno porte e a influência de variáveis geourbanas.

No capítulo VIII: **O urbano e o rural: análise dos dados das estações meteorológicas** foi analisada as características dos padrões dos elementos meteorológicos de duas estações meteorológicas instaladas na área urbana e na área rural do município de Iporá.

O capítulo IX: Índice geourbano (InGe): proposta metodológica para quantificação da influência natural e antrópica no clima das cidades objetivou avaliar a influência dos fatores geourbanos (NDVI, declividade das vertentes, orientação das vertentes, altitude, índice de urbanização e densidade demográfica) na variação da temperatura de superfície, temperatura do ar, umidade absoluta e ilha de calor urbana máxima. Assim como propor um método para quantificar a influência natural e antrópica nos padrões espaciais destas variáveis.

No último capítulo: Ilhas de calor e simulações: perspectivas climáticas ao reordenamento do território foram simuladas ilhas de calor urbanas baseadas no aumento do NDVI, com o aporte da regressão linear múltipla obtida para a ilha de calor urbana máxima de Iporá.

Portanto, a tese: **Análise das influências geourbanas no clima urbano da cidade de Iporá - Goiás** buscou, de forma geral, analisar as influências das características geourbanas na configuração do clima da cidade de Iporá e identificar a variabilidade temporal e espacial das ilhas de calor urbanas.

CAPÍTULO I

1 IPORÁ E SUAS CARACTERÍSTICAS

Toda e qualquer sistemática na técnica de análise no interior da cidade, realizada pelo geógrafo, deve ser conduzida por uma ótica que revele o clima da cidade como algo que é produzido a partir de um fenômeno de transformação de energia integrado entre o ar atmosférico e o ambiente urbano edificado pelo homem. (MONTEIRO, 1990, p. 64).

1.1 Processo histórico de emancipação de Iporá - Goiás

Iporá teve sua origem com a formação do arraial de Pilões, na margem do rio Claro. No ano de 1749, com a vinda de Gomes Freire de Andrade, Governador das Capitanias de Minas Gerais e Rio de Janeiro, firmaram-se contratos de exploração de diamantes do rio Claro e rio Pilões. Para essas atividades iniciais de garimpo, vieram duzentos escravos que trabalhavam sob o comando dos exploradores contratados. Forças do exército, enviadas pela Coroa, garantiam a execução do serviço. O povoado nascente recebeu o nome de Rio Claro (IBGE, 2015a).

A grande produção de diamantes e o desenvolvimento rápido do arraial motivaram seu crescimento. Dessa forma, em 5 de julho de 1833, Rio Claro passou à categoria de distrito, mantendo-se a denominação de Rio Claro, pertencente ao Município de Goiás, antiga Vila Boa. O distrito permaneceu com o mesmo nome, até que o povoado entrou em decadência e para agravar a situação, a população foi acometida de um surto de febre amarela, matando e afugentando a maioria dos moradores do lugar. O povoado que, em seus tempos de glória, chegou a contar com cerca de mil habitantes, ficou reduzido a poucas famílias e alguns descendentes de escravos, tendo sido chamado carinhosamente de "Comércio Velho". Em 1930 conjecturou-se a mudança do povoado. Formou-se uma comissão que escolheu o lugar às margens do córrego Tamanduá, onde é a sede atual do município, para abrigar a nova povoação (IBGE, 2015a).

Em 1938, o Distrito de Rio Claro passou a denominar-se Itajubá, topônimo de origem indígena, tupi-guarani, que significa pedra amarela. Em 1942, Joaquim Paes

Toledo e família doaram uma área de 100 alqueires goianos de terras para a edificação da cidade. Em 1943, por Decreto-Lei Estadual nº 8.305, de 31 de dezembro, passa a denominar-se Iporá, também de origem indígena, que significa águas claras (IBGE, 2015a).

Pela Lei Estadual nº 249, de 19 de novembro de 1948, foi elevado à categoria de município, instalando em 1º de janeiro de 1949, desmembrado do Município de Goiás. Em 14/11/1952, através da lei estadual nº 700, Iporá foi elevado a termo de comarca (IBGE, 2015a).

1.2 Características da área de estudo

O município de Iporá localiza-se no Oeste do estado de Goiás (Figura 1), sua área territorial é de 1026,384 km² (IBGE, 2014).

A área de estudo encontra-se na borda da Bacia Sedimentar do Paraná, sendo que parte do município foi instalada em região identificada como Arco Magmático de Goiás (NAVARRO; ZANARDO, 2007). O relevo, em partes do município, é suavemente ondulado, apresentando afloramentos desgastados do arco magmático, com vertentes mais abruptas e elevações de até 850 m, contrastando com a média de altitude do município que é de 600 m (SPECIAN; VECCHIA, 2014).

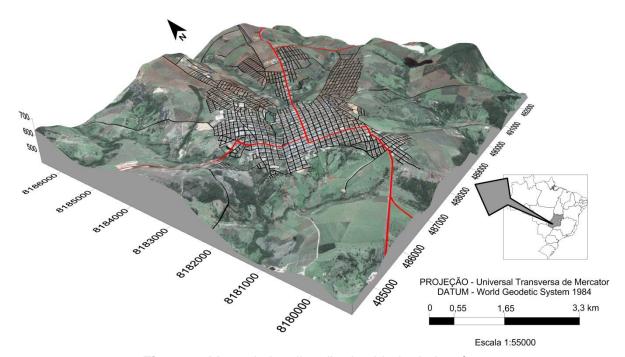


Figura 1. Mapa de localização da cidade de Iporá.

Nas últimas décadas a população de Iporá não se alterou de forma substancial (Figura 2), atualmente Iporá possui população de 31274 habitantes (IBGE, 2011). De 1980 aos dias atuais houve acréscimo de, aproximadamente, 4920 pessoas, distribuído ao longo dos anos.

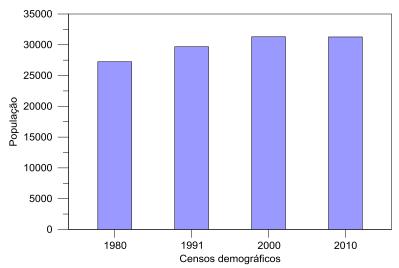


Figura 2. Evolução da população no município de Iporá. **Fonte**: (IBGE, 2015b).

A ocupação, uso do solo, segue a lógica da própria característica do relevo, em Iporá predomina as pastagens. A economia tem sua base na pecuária de corte e de leite desenvolvidas de forma extensiva, além do comércio que atende aos outros municípios da região (SPECIAN; VECCHIA, 2014).

Nimer (1979) define o clima do estado de Goiás como Tropical Semi-Úmido e que o estado e a região Centro Oeste estão sujeitos a mudanças bruscas, ocasionados pelo sistema de correntes perturbadas. O estudo de Alves e Specian (2008) indica que o clima de Iporá é "primeiro" úmido com moderado déficit de água no inverno e grande excesso no verão.

O clima da Região Centro Oeste é dominado por uma série de sistemas atmosféricos, destaque para massa Tropical atlântica (mTa) que, devido à ação persistente do anticiclone do Atlântico Sul, possui atuação durante o ano todo, sendo que no inverno, o resfriamento basal aumenta a estabilidade superior, contribuindo para a ocorrência de bom tempo (STEINK, 2004). A autora afirma ainda que durante o verão a massa Equatorial continental (mEc) em conjunto com outros sistemas é responsável pelo aumento de umidade e chuvas na região.

Na Figura 3 nota-se que a marcha crescente da precipitação inicia-se em julho e vai até janeiro, e em março inicia-se marcha decrescente que se encerra em julho (ALVES, 2011; ALVES et al., 2011).

Os meses de abril e outubro são meses de transição entre as estações, pois apresentam, na maioria dos anos, índice pluviométrico médio de 91,675 mm em abril e 119,875 mm em outubro (ALVES, 2011; ALVES et al., 2011).

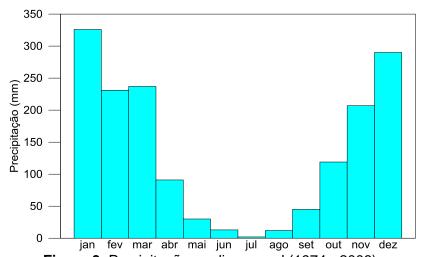


Figura 3. Precipitação media mensal (1974 - 2006). Fonte: Agencia Nacional de águas – ANA; (ALVES et al., 2011)

A distribuição da precipitação pluviométrica de 1974 a 2006 pode ser observada na Figura 4. Nota-se, nitidamente, a sazonalidade do regime pluviométrico, o período que vai de abril a setembro é caracterizado como seco, pois em média a soma da precipitação nesses meses não ultrapassa os 12% da precipitação anual, sendo que o mês que apresenta a menor média é julho, com 2,6 mm. De outubro a março, a pluviosidade é elevada, ocorrendo em média 88% da precipitação, no qual o mês de janeiro se destaca como o mais chuvoso (ALVES et al., 2011).

No ano de 1985 ocorreu o menor total anual pluviométrico (1172,4 mm) dos 32 anos de análise, enquanto que em 1997 verificou-se o maior total anual de precipitação (2198,6 mm), devido principalmente a elevada precipitação do mês de junho (ALVES et al., 2011), conforme Figura 4.

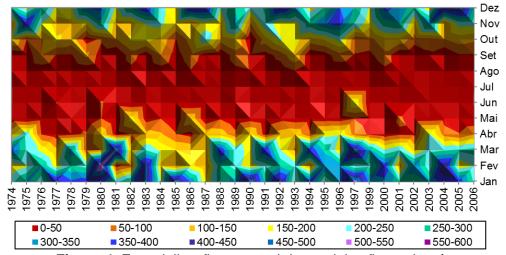


Figura 4. Espacialização temporal da precipitação em Iporá. **Fonte**: Agencia Nacional de águas – ANA; (ALVES et al., 2011).

1.3 Estudos de climatologia realizados em Iporá

Existem alguns estudos de climatologia para a cidade de Iporá, a maioria destes são oriundos dos trabalhos de conclusão de curso. Tais estudos contribuíram, até certo ponto, para o entendimento de padrões, notadamente, no campo termodinâmico e hidrometeorológico.

A primeira publicação sobre o aspecto do clima urbano foi de Alves e Specian (2009), neste artigo os autores buscaram verificar a existência de variações térmicas e higrométricas em quatro pontos de coleta na área urbana de Iporá-GO, estes pontos se diferenciavam basicamente no uso e ocupação do solo. Neste estudo foi possível observar que, independentemente do período de coleta, os pontos localizados nas áreas mais urbanizadas apresentaram temperaturas mais elevadas, configurando nestes locais ilhas de calor, este estudo foi um dos pioneiros a cerca do campo termodinâmico em Iporá.

O trabalho de Alves e Specian (2010a) teve como objetivo investigar os padrões da temperatura do ar e da umidade relativa, a fim de se identificar possíveis anomalias termo-higrométricas no espaço intra-urbano de Iporá. Os resultados evidenciaram que existe uma lógica espacial da temperatura e da umidade, e que essa acompanha os tipos de uso e ocupação do solo. Verificou-se também a presença de ilhas de calor na magnitude de 2,8°C de intensidade e ilhas secas na magnitude de 8%.

A pesquisa de Alves (2011) sobre a frequência e a probabilidade de chuvas no município de Iporá constatou que, em todos os meses, a intensidade de precipitação ocorreu com grande frequência (63,5%) no intervalo de classe de 0,1 - 13 mm e frequência moderada no intervalo de 13 - 26 mm (19,3% dos dias). Os meses de dezembro e janeiro apresentaram as maiores probabilidades de chuvas, com probabilidades médias de 63% e 64%, respectivamente. Nos dias 17 de dezembro, 3 e 12 de janeiro a probabilidade foi superior a 80%.

Quanto à análise histórica dos eventos de precipitação Alves et al. (2011) observaram que nos anos de 1980, 1983, 1992, 1997 e 1998 a precipitação excedeu o desvio padrão positivo, caracterizando esses anos como anomalias positivas da precipitação. Em 1977, 1981, 1985 e 2002 as chuvas foram inferiores ao desvio padrão negativo, caracterizando-os como anomalias negativas. Além disso, foi detectada uma relação estreita entre a anomalia pluviométrica e o El Niño do ano de 1997.

O estudo de Specian, Silva Junior e Vecchia (2013) analisou a variação dos valores de temperatura do ar e umidade relativa para dois pontos distintos no interior do sítio urbano de Iporá, o primeiro ponto foi em uma praça e o segundo em área remanescente de cerrado. Os resultados mostraram variação de até 4°C de temperatura entre os dois pontos, sendo que o ponto 2 manteve-se sempre com a temperatura menor. A umidade relativa do ar apresentou variação máxima de 19% entre os pontos de coleta, com maiores valores para o remanescente de cerrado.

A pesquisa de Oliveira e Alves (2013) verificou os padrões da temperatura e da umidade entre duas praças públicas de Iporá, que se diferenciavam pela densidade de vegetação. Os resultados mostraram que a praça com vegetação arbórea obteve os menores valores de temperatura e os maiores de umidade, registrando diferenças térmicas de 6,3°C e higrométricas de 21%, às 15 horas. O estudo concluiu que a vegetação arbórea nas praças públicas desempenha função importante, pois ameniza os efeitos do clima urbano. Resultados semelhantes foram obtidos por Siqueira, Oliveira e Alves (2013).

O objetivo da pesquisa de Alves e Vecchia (2014) foi de analisar a influência dos atributos geourbanos na configuração dos padrões da temperatura de superfície em Iporá. O método de análise consistiu em analisar as contribuições das variáveis em explicar os padrões da temperatura de superfície. Os resultados evidenciaram que as variáveis NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e IU (Índice de

Urbanização) conseguiram explicar cerca de 60% da variabilidade. Outro resultado foi que o modelo de regressão conseguiu representar os padrões da TS (Temperatura de Superfície) com precisão adequada, mesmo tratando-se de estudo experimental.

Specian e Vecchia (2014) averiguaram a frequência diária de chuvas para dois postos pluviométricos, representando as regiões Oeste e Sudoeste de Goiás (Montividiu e Iporá). Os autores notaram diferença entre a frequência de chuvas para os dois postos pluviométricos, principalmente, no período que marca o inicio das chuvas na região (agosto e setembro). O posto pluviométrico de Montividiu apresentou maiores ocorrências de eventos de chuvas para os meses de agosto e setembro, quando comparado com o posto de Iporá. Por outro lado, as chuvas apresentaram maior concentração, totais diários com mais de 25 mm, no posto pluviométrico de Iporá.

1.4 Variáveis geourbanas

1.4.1 Características das variáveis geourbanas

Principalmente nas cidades de pequeno porte há uma carência de informações cartográficas. Por isso toda a base cartográfica, na maioria das cidades pequenas, tem de ser criada, portanto o próprio pesquisador é o responsável pela manipulação e criação da base de dados.

Dessa forma, O primeiro passo da pesquisa foi à aquisição das imagens de satélite no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), solicitadas no catálogo de imagens Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*). As cenas selecionadas foram do satélite Landsat 5 TM, órbita 223, ponto 71, de 05/09/2010 por apresentarem menor quantidade de nuvens.

Utilizou-se dos dados do projeto TOPODATA que oferece livre acesso a variáveis geomorfométricas locais, derivadas de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para todo o território nacional. Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90 m) para 1 arco-segundo (~30 m) por krigagem.

Além disso, utilizou-se os dados do censo demográfico de 2010 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O fluxograma para obtenção das variáveis geourbanas pode ser observado na Figura 5A, B e C.

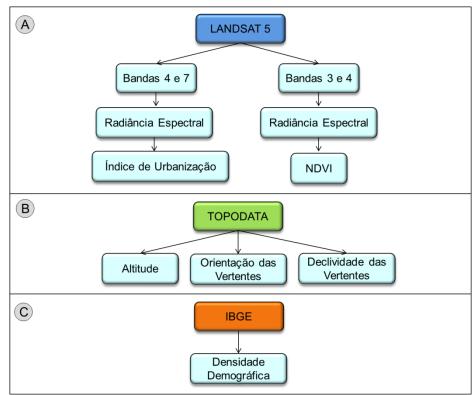


Figura 5. Fluxograma para obtenção das variáveis geourbanas.

As variáveis geourbanas derivadas do satélite Landsat 5, TOPODATA e IBGE podem ser observadas na Figura 6.

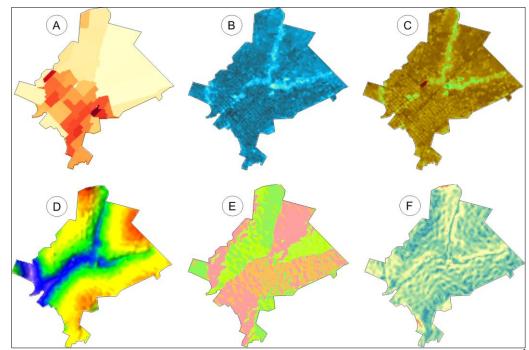


Figura 6. Variáveis independentes utilizadas: A - Densidade demográfica (DD); B – Índice de urbanização (IU); C - NDVI; D – Altitude (A); E - Orientação das vertentes (OV); F - Declividade das vertentes (DV).

1.4.1.1 Densidade demográfica (DD)

Para a obtenção as densidade demográfica foram utilizados os dados dos resultados do universo do censo de 2010 (IBGE, 2011). No Censo de 2010 a cidade de Iporá foi dividida em 57 setores censitários. Esses setores urbanos ocupavam área maior que a área efetivamente urbanizada observada por meio de imagens de satélite, por isso os limites originais dos setores censitários foram combinados com o limite da área urbana do município e foram gerados novos limites para os setores censitários, conforme já realizado por Silva, Morato e Kawakubo (2013). A Figura 7 ilustra a operação realizada.

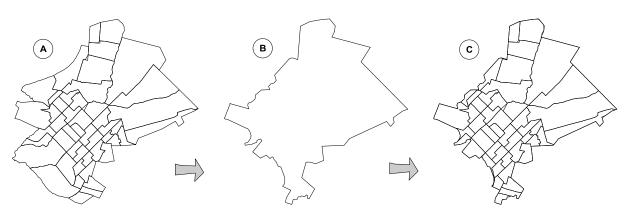


Figura 7. Processo para a obtenção da área efetivamente urbanizada dos setores censitários: A - setores censitários; B - área urbanizada; C - Recorte dos setores censitários.

Para cada setor censitário calculou-se a densidade demográfica (Equação 1).

$$Dd = \frac{P_a}{A}$$
 Equação 1

Em que P_a é a população absoluta e A a área em km². Na Figura 8 encontrase a densidade demográfica calculada.

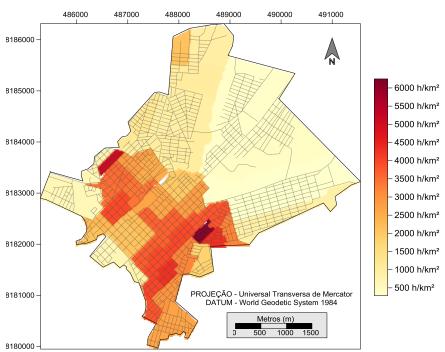


Figura 8. Densidade demográfica (habitantes/km²) de Iporá.

1.4.1.2 Índice de Urbanização (IU)

O índice de Urbanização (Equação 2), é calculado usando as bandas 4 e 7 do satélite Landsat 5, este índice foi proposto pelos autores Kawamura, Jayamanna e Tsujiko (1996) para estimar a urbanização, podendo variar de -1 a 1.

$$IU = rac{
ho_7 -
ho_4}{
ho_7 +
ho_4}$$
 Equação 2

Em que ρ_4 corresponde a banda 4 e ρ_7 a banda 7. Na Figura 9 encontra-se o índice de urbanização calculado.

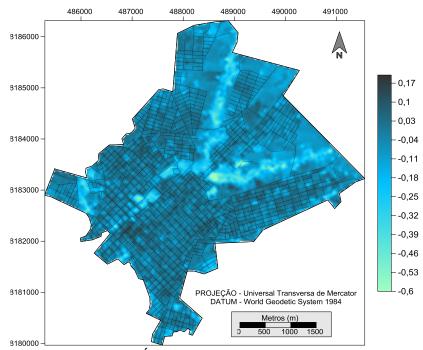


Figura 9. Índice de Urbanização de Iporá.

1.4.1.3 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

O NDVI foi obtido pela razão entre a diferença da medida da refletância nos canais do infravermelho próximo (ρ_4) e vermelho (ρ_5) e a soma desses canais, conforme Equação 3.

$$NDVI = rac{
ho_4 -
ho_3}{
ho_4 +
ho_3}$$
 Equação 3

O *NDVI* é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde. Os valores variam de -1 a +1, valores positivos são obtidos em áreas com algum tipo de vegetação, e varia de acordo com a atividade fotossintética das plantas nessa área e sua densidade, enquanto que superfícies com água, o *NDVI*, geralmente, é menor que zero (GIONGO et al., 2010). O *NDVI* calculado pode ser observado na Figura 10.

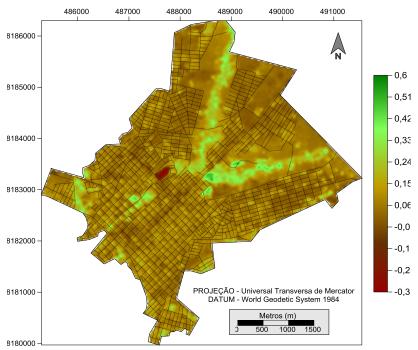


Figura 10. NDVI de Iporá.

1.4.1.4 Altitude (A)

O mapa hipsométrico possibilita a observação tanto da variação da altimetria, como das feições geomorfológicas, fatores importantes na configuração do clima urbano, pois os elementos do clima são diretamente influenciados pela variação destes; o estudo de tal influência compõe um dos clássicos campos da climatologia (ALCOFORADO et al., 2009; MENDONCA; MONTEIRO, 2003).

Quanto maior a variação da altimetria do relevo de um determinado sítio urbano, maiores serão as variações em termos de temperatura do ar e umidade relativa (LOPES, 1995). A hipsometria da área de estudo pode ser averiguada na Figura 11.

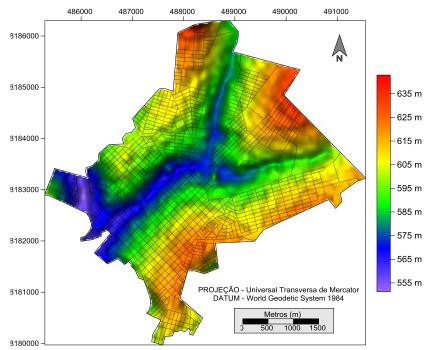


Figura 11. Hipsometria de Iporá.

1.4.1.5 Declividades das vertentes (DV)

A variação na inclinação das vertentes do relevo desempenha associada à variação altimétrica e orientação do mesmo, importante papel na distribuição da energia calorífico-luminosa das mesmas (LOPES, 1995; PASZYNSKI, 1991).

O fluxo radiativo de uma vertente bastante inclinada e posicionada em direção norte, por exemplo, será bem mais intenso do que de outra, com a mesma inclinação, no mesmo local, posicionada em direção sul. Da mesma forma, o sombreamento de edifícios e árvores, dentre outros, será mais expressivo em áreas planas que naquelas voltadas para o norte no mesmo local (GEIGER, 1990; MENDONCA; MONTEIRO, 2003).

Este importante fator topo-microclimático pode ser identificado a partir da elaboração de um mapa de classes de declividades do relevo (GEIGER, 1990; MENDONCA; MONTEIRO, 2003; PASZYNSKI, 1991). Na Figura 12 está o mapa de declividade das vertentes de Iporá.

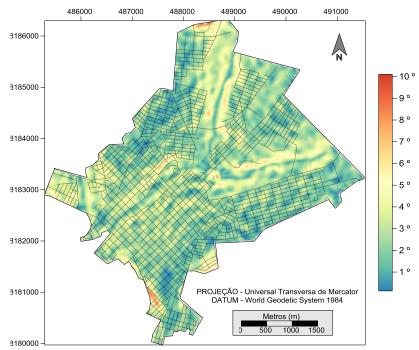


Figura 12. Declividade das vertentes de Iporá.

1.4.1.6 Orientação das vertentes (OV)

A disposição das faces das vertentes do relevo pode influenciar de maneira direta na formação de topoclimas e microclimas, pois dependendo da mesma, o balanço de energia pode ocorrer de maneira diferenciada (OKE, 1987). Este fator torna-se mais notável quanto maior o afastamento da localidade em relação ao Equador, pois "[...] em regiões de excesso de calor e com posições do sol próximas do zênite a diferença das exposições das encostas não tem o mesmo significado prático que apresenta nas nossas latitudes" (GEIGER, 1990, p. 392); estas de zonas temperadas.

A junção da declividade da vertente à sua exposição solar é fundamental para a compreensão da variação do balanço de energia das mesmas. No caso do Hemisfério Sul as faces das vertentes voltadas ao norte, noroeste, oeste e leste recebem mais energia calorífico-luminosa do que aquelas voltadas às outras direções (FROTA; SCHIFFER, 2001). A orientação das vertentes da área de estudo pode ser averiguada na Figura 13.

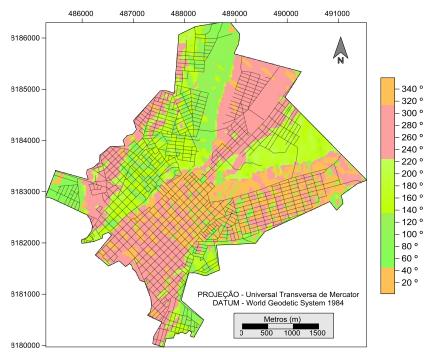


Figura 13. Orientação das vertentes de Iporá.

CAPÍTULO II

2 MULTITEMPORALIDADE DAS ANOMALIAS DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM IPORÁ – GOIÁS

A natureza deve ser encarada no momento historicamente determinado da produção social. O homem reage na natureza, a modifica, constrói novas condições vida. A natureza é dinâmica, o que se deve, também, à atividade humana. (LOMBARDO, 1985, p. 17).

2.1 Introdução

O desenvolvimento tecnológico ocorrido, a partir da segunda metade do século XX, atingiu um estágio sem precedentes na história humana, obrigando as diversas ciências, como a Geografia, a repensar seus métodos e técnicas de análise. Nesse contexto, as técnicas de sensoriamento remoto têm se mostrado importante instrumento utilizado pelos geógrafos, além de outros profissionais, para auxiliar na aquisição de dados, análises, e representação das informações obtidas do espaço geográfico.

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto se destaca nos estudos ambientais com o crescente uso de seus recursos na pesquisa científica. Nos estudos de clima urbano, o uso do sensoriamento remoto tem experimentado crescimento nas últimas décadas, principalmente na análise de anomalias térmicas (BARBOSA; VECCHIA, 1996).

Existem diversos estudos que utilizaram o processamento de imagens na faixa do infravermelho termal para estimar a temperatura de superfície terrestre e assim, compreender a relação das diferentes paisagens e coberturas urbanas com a radiação (SOUSA; FERREIRA, 2012). Segundo Weng (2009), a maioria destes estudos efetua avaliação de ilhas de calor urbanas, bem como a relação entre índices de vegetação e temperatura de superfície terrestre. O autor evidencia que

Rao (1972) foi o primeiro autor a identificar a possibilidade de utilização do sensoriamento remoto para o estudo do padrão de distribuição de temperaturas superficiais em ambiente urbano.

O uso do sensoriamento remoto para o estudo do clima urbano possibilita o levantamento sistemático e contínuo de dados, uma importante vantagem frente ao pequeno detalhamento espacial das estações meteorológicas (SOUSA; FERREIRA, 2012).

No Brasil o trabalho executado por Lombardo em (1985) foi o pioneiro na utilização de imagens térmicas, tendo como área de estudo a região metropolitana de São Paulo, neste estudo foram utilizada imagens termais do sensor TM (Landsat 5) e dados do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) para identificar ilhas de calor urbanas.

O objetivo desta pesquisa foi de analisar, a partir de dados de satélite, o padrão de distribuição espacial das anomalias térmicas na cidade de Iporá - Goiás, assim como efetuar análise temporal destas anomalias de 1984 a 2011.

2.2 Material e Métodos

Para o estudo espaço-temporal das anomalias térmicas em Iporá-Goiás foram utilizadas imagens multiespectrais (banda termal do satélite Landsat 5), disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) dos anos de 1984 a 2011. Todas as imagens foram obtidas para o mês de agosto e setembro, cujo período de seca proporciona menor cobertura de nuvens, bem como pouco vapor de água na atmosfera, que se trata de um dos maiores absorvedores da radiação emitida pela superfície na faixa do infravermelho termal.

Dentro do período (1984 – 2011) não foi possível a aquisição das imagens para os anos de 1989, 1990, 1992, 1997, 2000 e 2002. Além da banda termal, utilizou-se as bandas 3 e 4 para correção dos valores da temperatura de superfície.

Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos matemáticos por meio da ferramenta *Model Maker* do *software* Erdas Imagine 11. Na Figura 14 está o fluxograma, com as etapas do processamento das imagens para obtenção das anomalias térmicas.

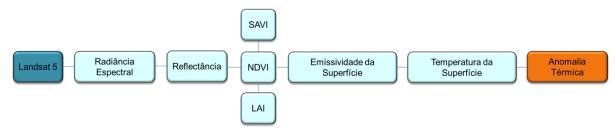


Figura 14. Fluxograma para obtenção das anomalias térmicas.

2.2.1 Radiância Espectral

A primeira etapa foi a conversão do número digital de cada pixel da imagem em radiância espectral monocromática de acordo com a Equação 4 (MARKHAM; BARKER, 1987).

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i + a_i}{255} \times ND$$
 Equação 4

Em que a_i e b_i são as radiâncias espectrais mínimas e máximas, ND é o número digital da imagem que corresponde a um intervalo de 0 a 255 e i corresponde as bandas do satélite em estudo.

2.2.2 Reflectância

A etapa seguinte foi o cômputo da reflectância monocromática de cada banda (Equação 5), que é definido como sendo a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2002).

$$ho_{\lambda i=} rac{\pi imes L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} imes cos Z imes dr}$$
 Equação 5

Onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar e dr (Equação 6) é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol, conforme Iqbal (1983).

$$dr = 1 + 0.033cos\left(\frac{DJ \times 2\pi}{365}\right)$$
 Equação 6

O ângulo zenital foi obtido com a Equação 7.

$$CosZ = cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right)$$
 Equação 7

Em que E é o ângulo de elevação do sol, obtido no cabeçalho de cada imagem.

2.2.3 NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

Após os cálculos anteriores, procedeu-se o cálculo do NDVI, obtido pela razão entre a diferença da medida da reflectância nos canais do infravermelho próximo (ρ_4) e vermelho (ρ_3) e a soma desses canais, conforme Equação 8.

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}$$
 Equação 8

O *NDVI* é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde. Os valores variam de -1 a +1, valores positivos são obtidos em áreas com algum tipo de vegetação, e varia de acordo com a atividade fotossintética das plantas nessa área e sua densidade, enquanto que superfícies com água o *NDVI*, geralmente, é menor que zero (GIONGO et al., 2010).

2.2.4 SAVI - Soil Adjusted Vegetation Index

O SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) é um índice que visa atenuar os efeitos espectrais de "fundo" do solo, e pode ser obtido por meio da Equação 9.

$$SAVI = \frac{(1+L) \times (\rho_4 - \rho_3)}{L + \rho_4 + \rho_3}$$
 Equação 9

Em que *L* é uma variável que oscila entre 0,25 utilizado para vegetação densa, 0,5 utilizado para vegetação intermediária e 1 para vegetação rarefeita. Para este trabalho utilizou-se 0,5 por se tratar de um período de transição da estação

seca para a chuvosa. Época em que a vegetação possui atividades metabólicas reduzidas, por conta dos efeitos da seca.

2.2.5 LAI - Leaf Area Index

O *LAI* (*Leaf Area Index*) é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área ocupada por essa vegetação, pode ser calculado pela Equação 10.

$$LAI = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0.91}$$
 Equação 10

2.2.6 Emissividade

Para a obtenção da emissividade da superfície, foi utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ε_{NB} . Conforme Allen, Tasumi e Trezza (2002) as emissividades ε_{NB} e ε_0 podem ser obtidas, para NDVI > 0 e LAI > 3, de acordo com a Equação 11 e Equação 12.

$$\varepsilon_{NB} = 0.97 + 0.00331 \times LAI$$
 Equação 11

$$\varepsilon_0 = 0.95 + 0.01 \times LAI$$
 Equação 12

Entretanto, para pixels com $LAI \ge 0.98$, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0.98$. Para corpos de água (NDVI < 0), utilizou-se os valores de $\varepsilon_{NB} = 0.99$ e $\varepsilon_0 = 0.985$, conforme Allen, Tasumi e Trezza (2002).

2.2.7 Temperatura de Superfície

O cálculo da temperatura de superfície foi realizado a partir da radiância espectral da banda termal $L_{\lambda 6}$ e a missividade ε_{NB} obtida na etapa anterior. Dessa forma, obteve-se a temperatura da superfície em graus Kelvin (K) pela Equação 13, e posteriormente foi convertida para graus Celsius (°C) (Equação 14).

$$T_{s(K)} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} \times K_1}{L_{\lambda 6}} + 1\right)}$$
 Equação 13
$$T_{s(^{\circ}C)} = T_{s(K)} - 273$$
 Equação 14

Em que $T_{s(K)}$ é a temperatura de superfície obtida em graus kelvin, $T_{s({}^{\circ}C)}$ é a temperatura de superfície obtida em graus celsius e K_1 = 607,76 W.m-².sr-¹. μ m-¹ e K_2 = 1260,56 K, que são constantes de calibração da banda termal do Landsat 5 TM, propostas por Allen, Tasumi e Trezza (2002).

2.2.8 Anomalias Térmicas

Utilizou-se para análise, as anomalias térmicas, pois com elas é possível a comparação temporal. As imagens das anomalias térmicas foram obtidas, com base nas respectivas imagens de temperatura da superfície a partir do desvio padrão associado à cada pixel, conforme Equação 15.

$$A_t = \frac{T_s - \mu}{\sigma}$$
 Equação 15

Onde T_s corresponde à temperatura de superfície, μ a média da T_s e σ o desvio padrão da T_s para cada imagem termal. cálculos semelhante já foram utilizados por Alcoforado e Andrade (2006), Busato, Lazzarin e Noro, (2014) e Cuadrat, Vicente-Serrano e Saz (2015).

2.3 Resultados e Discussões

Com a utilização das anomalias térmicas, ao invés da temperatura de superfície, os mapas ficaram homogêneos, pois os valores das anomalias de cada

pixel foram calculados a partir da media e do desvio padrão da TS para cada imagem. Em toda a série histórica (1984 a 2011) notou-se que determinados padrões se repetiram, as áreas com os menores e maiores valores das anomalias persistiram ao longo dos anos, conforme a Figura 15.

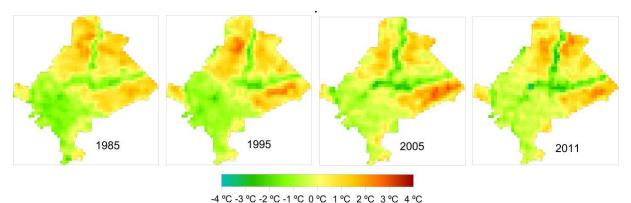


Figura 15. Anomalias térmicas multitemporais.

A partir das 22 imagens termais obtidas, calculou-se a média da anomalia termal de cada pixel. Na Figura 16 está esse padrão médio das anomalias térmicas sobreposto ao relevo e a ocupação do solo.

Nota-se que as áreas de solo exposto, neste caso, solo de coloração vermelho-escuro, têm em média os maiores valores das anomalias térmicas. Esse tipo de solo se aquece mais rapidamente que outras áreas. Observa-se que as anomalias médias (Figura 16) tiveram variação de -2°C a 1,8°C e as anomalias negativas se concentraram preponderantemente nos fundos de vale.

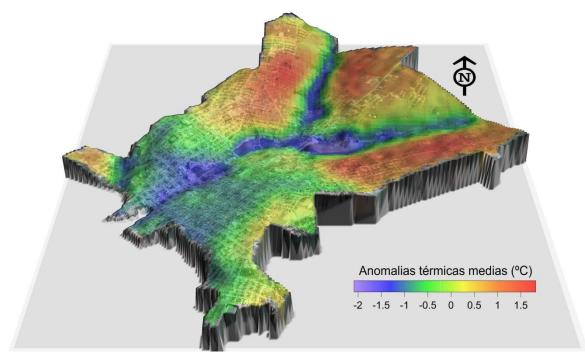


Figura 16. Anomalias térmicas médias (1984 – 2011) sobrepostas ao relevo e ocupação do solo.

Como o registro dessas anomalias térmicas refere-se ao horário das 10 horas da manhã (horário de passagem do Landsat 5) esse padrão fica mais evidente. Na Figura 17 observa-se a exposição das vertentes em relação a radiação solar global durante o equinócio (data próxima a data das imagens adquiridas). Verifica-se que algumas áreas de Iporá estão mais expostas a radiação solar nas horas iniciais do dia (7h, 8h, 9h e 10h), áreas estas que correspondem, em parte, às áreas com as maiores anomalias térmicas médias (Figura 16).

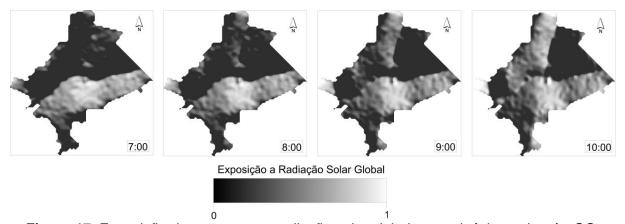


Figura 17. Exposição das vertentes a radiação solar global no equinócio em Iporá - GO.

Conforme Figura 18, as anomalias térmicas máximas de superfície ocorreram em áreas de pouca urbanização, com solo exposto, fato observado em Pereira et al.

(2012). Os valores mínimos das anomalias térmicas máximas negativas foram observados nas áreas com maior vegetação e próximas ao córrego Tamanduá e ao lago pôr do sol.

Em muitos estudos foi constatado esse efeito da vegetação de amenizar a temperatura de superfície (DORIGON; AMORIM, 2013; HAMADA; OHTA, 2010; HART; SAILOR, 2008; SOUSA; FERREIRA, 2012), estudos sobre a temperatura de superfície de lagos tem mostrado que estas superfícies se aquecem mais lentamente que a superfície do solo, devido ao seu calor específico (OESCH et al., 2005). Nota-se que foram observadas anomalias negativas de -4°C (Figura 18A) e anomalias positivas de 3°C (Figura 18B).

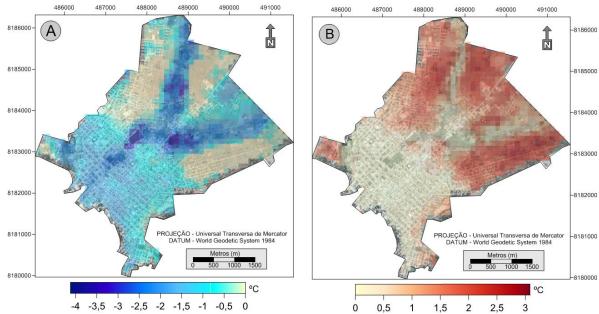


Figura 18. Anomalias térmicas máximas negativas (A), anomalias térmicas máximas positivas (B) ocorridas no período de 1984 a 2011.

Aspecto importante de se analisar, além das anomalias térmicas máximas, são os locais de maior ocorrência das anomalias positivas e negativas. Na Figura 19 nota-se, assim como no mapa das anomalias máximas, que a maior ocorrência de anomalias positivas foi nas áreas de baixa urbanização, com solos expostos. Enquanto que nas áreas mais urbanizadas com presença de vegetação e próximas a superfície de água, ocorreu a maior quantidade de anomalias negativas. Os mapas da Figura 19, graficamente, parecem inversos, denotando que estes são padrões representativos.

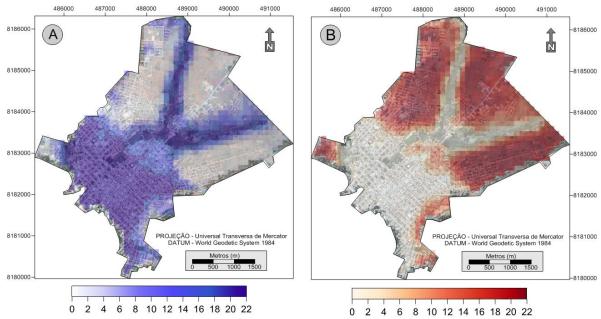


Figura 19. Quantidade de anomalias térmicas negativas (A) e anomalias positivas (B) ocorridas no período de 1984 a 2011.

2.3.1 Análise dos pontos de mensuração das anomalias térmicas

Após os cálculos para obtenção das anomalias térmicas foram realizadas análises pormenorizadas em 10 pontos (Figura 20), esses pontos diferenciam-se pelas suas características geourbanas.

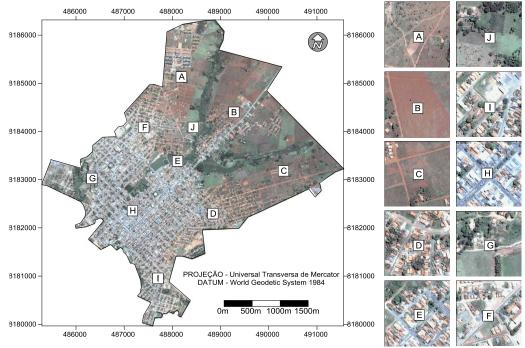


Figura 20. Localização dos pontos de mensuração das anomalias.

Na Figura 21 estão expostos, por meio de bloxplots, os conjuntos de dados das anomalias térmicas, para cada ponto, durante o período analisado (1984 a 2011). Os pontos A, B e C, apresentaram os conjuntos de dados com os maiores valores de anomalias térmicas, conforme se nota na Figura 21. A menor mediana e os menores 50% dos dados foram averiguados no ponto G. Os pontos A, B, C e F apresentaram medianas positivas, enquanto que os pontos D, E, G, H, I e J medianas negativas.

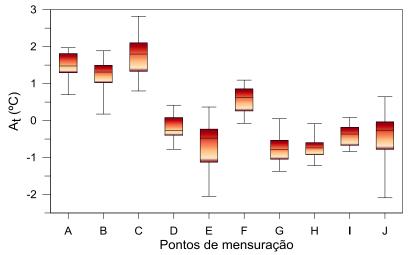


Figura 21. Bloxplot das anomalias térmicas para cada ponto de mensuração.

Na Figura 22 têm-se os padrões das anomalias térmicas nos pontos de mensuração de 1984 a 2011. Pode-se observar que nos pontos de G a J ocorreram as menores anomalias, enquanto que do ponto A ao D observou-se as maiores anomalias térmicas, com picos no ponto C.

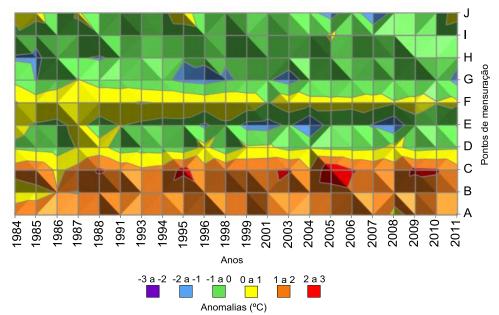


Figura 22. Padrões das anomalias térmicas nos pontos de mensuração.

2.3.2 Análise da tendência das anomalias térmicas

Para análise das tendências utilizou-se o teste de hipóteses dos coeficientes angulares das retas de regressão. Para tanto se aplicou o modelo de regressão linear, dado pela seguinte equação:

$$Y=eta_0+eta_1x+arepsilon$$
 Equação 16

Em que y é a variável dependente, β_0 o coeficiente linear, β_1 o coeficiente angular, x a variável independente e ε o erro aleatório.

Os parâmetros β_0 e β_1 foram determinados por meio das Equação 17 e Equação 18.

$$\beta_0 = \frac{1}{n} (\sum Y_i - \beta_1 \sum X_i)$$
 Equação 17

$$eta_1 = rac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$
 Equação 18

O coeficiente β_1 indica a tendência da série temporal representada pela declividade da reta de regressão. A significância estatística das séries foi verificada mediante a aplicação do teste de hipótese para o coeficiente de regressão linear (β_1) dado por:

 H_0 : $\beta_1 = 0$, não existe tendência.

H₁: $\beta_1 \neq 0$, existe tendência em dado nível de significância.

Normalmente, em estudos climáticos, fixa-se o nível de significância (*p-value*) do teste (probabilidade de se rejeitar H₀ dado que ele é verdadeiro) em 0,05 ou 0,10 (SALVADOR; SANTOS, 2010). Sendo considerado, neste estudo, como não significativo qualquer valor acima 0,05.

Atualmente existe grande discussão sobre questões voltadas ao clima, principalmente as que se referem às mudanças climáticas. De um lado estão os cientistas que afirmam que o homem é o grande responsável pelas mudanças climáticas, do outro estão cientistas que não constatam essa influência em escala global. Muitos estudos foram elaborados a partir de simulações computacionais ou de análise de dados ao longo de uma série histórica. Por isso analisar a tendencia de aumento ou dimuição nos valores das anomalias térmicas é importante, pois esta revela modificação no uso e ocupação do solo, que por conseguinte pode refletir em mudança climática local. A variação e a tendência das anomalias térmicas podem ser observadas na Figura 23. Em quatro pontos (B, E, F e H) as tendências foram estatisticamente significativas com *p-value* <0,05. Os pontos B e H com tendência a aumento da intensidade das anomalias, e E e F com tendência a diminuição.

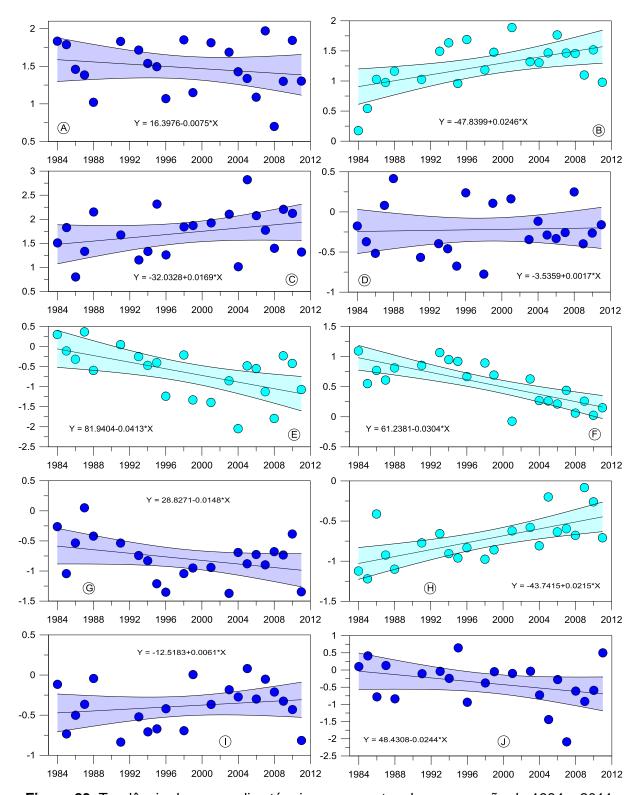


Figura 23. Tendência das anomalias térmicas nos pontos de mensuração de 1984 a 2011.

Na Figura 24 são comparados os valores de NDVI com as anomalias térmicas dos pontos B, E. F e H. Os pontos de mensuração B e F obtiveram correlações negativas, -0,41 e -0,13 respectivamente. Porém nos pontos E e H observou-se correlações positivas (0,13 e 0,18). A correlação do ponto B parece indicar que a

variação do NDVI ao longo dos anos teve influência nas anomalias térmicas, ou seja, com a diminuição do NDVI a intensidade das anomalias aumentou. Enquanto que nos outros pontos, parece que, outros fatores foram mais importantes na tendência das anomalias.

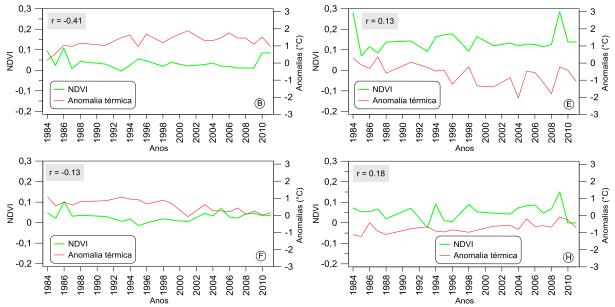


Figura 24. Relação das anomalias térmicas nos pontos de mensuração com tendência significativa e o NDVI de 1984 a 2011.

2.4 Considerações

- 1 A utilização das anomalias térmicas, ao invés da temperatura de superfície, tornou os mapas homogêneos, o que possibilitou comparação temporal.
- 2 Anomalias térmicas máximas de superfície ocorreram em áreas de pouca urbanização, com solo exposto.
- 3 O maior número de anomalias positivas ocorreu nas áreas de baixa urbanização, com solos expostos. Enquanto que nas áreas mais urbanizadas com presença de vegetação e próximas a superfície de água, ocorreu a maior quantidade de anomalias negativas.
- 4 As máximas das mínimas das anomalias foram observadas nas áreas com maior vegetação e próximas ao córrego Tamanduá e ao lago pôr do sol.
- 5 Os pontos A, B e C (solo exposto) apresentaram os conjuntos de dados com os maiores valores de anomalias térmicas.

6 - Em quatro pontos (B, E, F e H) as tendências foram estatisticamente significativas com p-value <0,05. Os pontos B e H com tendência a aumento da intensidade das anomalias, e E e F com tendência a diminuição.

CAPÍTULO III

3 INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NATURAIS E ANTRÓPICAS NOS PADRÕES DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE: ANÁLISE POR MEIO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

[...] ainda existe muita dificuldade em separar os efeitos das atividades humanas no clima e a sua variabilidade natural, sobretudo porque o sistema climático é extremamente complexo e sua dinâmica ainda não é completamente compreendida [...] (STEINKE, 2012, p. 134).

3.1 Introdução

A temperatura de superfície (TS) é influenciada por diversos fatores. No momento em que a superfície recebe a radiação solar, ocorre uma interação em que parte da radiação é absorvida. Nas cidades, diversos fatores influenciam a absorção da radiação, como o tipo de superfície, localização, entre outros. Compreender esta relação pode fornecer subsídios ao planejamento urbano e consequentemente, minimização dos efeitos adversos.

O processamento de imagens de satélite na banda do infravermelho termal permite a obtenção de uma imagem momentânea da distribuição da temperatura de superfície terrestre com boa resolução espacial, algo que não é possível de se obter com qualquer rede de medições estacionárias em solo. O sensoriamento remoto de dados no infravermelho termal tem sido amplamente usado para analisar a temperatura da superfície.

Atualmente, muitas metodologias são adotadas para se estudar o clima urbano (MIRZAEI; HAGHIGHAT, 2010). Os dados necessários para estes estudos podem ser obtidos a partir de estações meteorológicas, medições em pontos fixos, medições moveis, sensoriamento remoto, também podem ser obtidos a partir de modelos matemáticos (ELNESR; ABU-ZREIG; ALAZBA, 2010). Vários estudos apresentam modelos matemáticos para estimar variáveis ambientais, tais como a temperatura do ar e de superfície umidade, radiação solar (PEZZUTO; LABAKI; MOTA, 2011).

A temperatura de superfície é um parâmetro importante nos estudos da dinâmica do ambiente térmico urbano (WENG, 2009). A TS modula a temperatura do ar da camada inferior da atmosfera urbana e é um fator primordial na troca de energia (VOOGT; OKE, 1998). A avaliação da termografia por processamento de imagens de satélite parece, portanto, ser uma primeira investida no estudo das características térmicas ao nível local.

Diante disto, este trabalho buscou avaliar a influência das variáveis geourbanas na distribuição espacial da temperatura de superfície, assim como o desempenho de modelos matemáticos para a sua estimação na cidade de Iporá – Goiás.

3.2 Material e Métodos

Neste estudo utilizou-se imagens do satélite Landsat 5, do dia 5 de setembro de 2010. Foram selecionadas 4 bandas, sendo as bandas 3, 4 e 7 para a confecção das variáveis geourbanas e a banda 6 para a elaboração da imagem da temperatura de superfície. Estas imagens foram obtidas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos matemáticos por meio da ferramenta *Model Maker* do software Erdas Imagine 11, conforme o fluxograma da Figura 25. O cômputo da TS foi realizado por meios das equações 4 a 14.

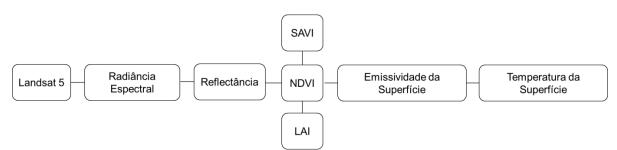


Figura 25. Fluxograma para obtenção da temperatura de superfície.

Após o cálculo da TS foram extraídos dados em dois trasectos, um com direção norte - sul e outro com direção leste - oeste Figura 26. O transecto norte - sul obteve 224 dados e o transecto leste - oeste 208, estes transectos foram utilizados para se nalisar a relação das variaveis geourbanas e a temperatura de superfície.

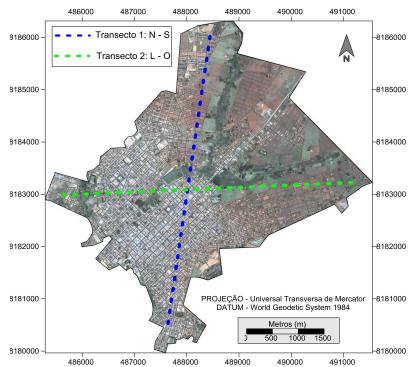


Figura 26. Transectos utilizados para extração de dados da temperatura de superfície.

A regressão linear múltipla é uma técnica multivariada cuja finalidade principal é obter uma relação matemática entre uma das variáveis estudadas (variável dependente ou resposta) e o restante das variáveis que descrevem o sistema (variáveis independentes ou explicativas), e reduzir o número de variáveis independentes com o mínimo de perda de informação. Sua principal aplicação, após encontrada a relação matemática, é produzir valores para a variável dependente quando se têm as variáveis independentes (LAPPONI, 2005).

De acordo com Montgomery, Peck e Vining (2012) o modelo de regressão linear múltipla (MRLM) com k variáveis de controle pode ser representado pela Equação 19.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i$$
 Equação 19

Os coeficientes de regressão β_0 , β_1 ,..., β_k são descrito por Montgomery, Peck e Vining (2012) como: β_0 coeficiente do intercepto, o qual corresponde à media de Y_i quando todas as variáveis de controle são iguais a zero; os coeficientes β_1 ,..., β_k coeficientes de regressão parciais. O coeficiente β_k pode ser interpretado como a derivada parcial de Y_i em relação a X_{ki} , ou seja, é a variação de Y causada por uma variação unitária em X_k dado que as outras variáveis de controle sejam mantidas constantes.

Com a finalidade de verificar estatisticamente quais as variáveis independentes com maior potencialidade de contribuir para o cálculo da temperatura de superfície empregou-se a técnica de regressão linear múltipla passo-a-passo.

Conforme descrito por Ribeiro Júnior (2001) e Lapponi (2005), a regressão passo-a-passo é uma ferramenta bastante conhecida, utilizada para verificar quais as melhores variáveis independentes para uma determinada variável dependente, levando em conta apenas a dependência linear entre as variáveis. Neste tipo de análise, um modelo é desenvolvido pela inserção de uma variável independente a cada passo, a partir do conjunto total de variáveis. A primeira variável independente inserida será aquela que apresentar maior correlação com a variável dependente. Isto é, aquela que melhor explicar a variância. A partir daí, a cada passo, será inserida nova variável independente que assegure a representação da maior fração de variância que não foi explicada pela inserção das anteriores.

Ao longo do processo, variáveis independentes podem também ser excluídas do modelo, caso a inserção de outras, consiga explicar melhor a variância, tornando-a desnecessária. O critério adotado para entrada e saída no modelo foi o nível de significância de cada variável independente com relação à variável dependente em cada passo, o *software* utilizado foi o Statistica.

Foi fixado como critério de entrada *p-value* < 0,05 (intervalo de confiança de 95%). Assim, a variável que explicar uma fração de variância que levar a um *p-value* < 0,05 em cada passo, será inserida.

De posse do melhor modelo de regressão linear múltipla, este foi utilizado para a estimativa dos valores de temperatura de superfície. No *software* Surfer 13 foi realizada a análise semivariográfica e a interpolação no intuito de se identificar o melhor método para representação dos dados estimados.

Utilizou-se o *root mean square error* (RMSE) para se analisar os erros da estimativa. RMSE é a medida da magnitude média dos erros estimados, tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, maior a qualidade dos valores medidos ou estimados (ALVES; VECCHIA, 2011), o RMSE pode ser calculado pela Equação 20.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (E_i - O_i)^2}$$

Em que E_i e O_i são os valores estimados e observados (medidos), respectivamente, n é o número de observações. O RMSE tem sido utilizado como estatística padrão para mensurar o desempenho dos modelos em meteorologia (CHAI; DRAXLER, 2014).

3.3 Resultados e Discussões

3.3.1 Relação entre temperatura de superficie e variáveis geourbanas

Os dados da Figura 27 e Figura 28 foram padronizados pelo processo de standardize, para que os dados das variavéis geourbanas e da temperatura de superfície ficassem na mesma escala de valores, por isso os valores da escala y não são importantes, o que é interessante são as relações entre a TS e as variáveis geourbanas.

Conforme a Figura 27 a temperatura de superfície no transecto 1 (norte-sul) teve correlação negativa com o NDVI, densidade demográfica, altitude e orientação das vertentes. Correlações positivas foram observadas com as variáveis geourbanas: índice de urbanização e declividade das vertentes.

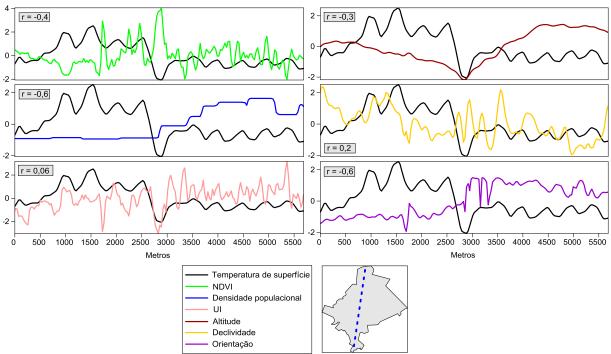


Figura 27. Relação entre as variáveis geourbanas e a temperatura de superfície - transecto

Na Figura 28 estão as relações observadas no transecto 2 (leste – oeste). Assim como no transecto 1, as variáveis NDVI e densidade demográfica obtiveram correlações negativas e o índice de urbanização correlação positiva. Diferentemente do transecto 1, no transecto 2 a altitude e a declividade tiveram correlações negativas e a orientação das vertentes correlação positiva.

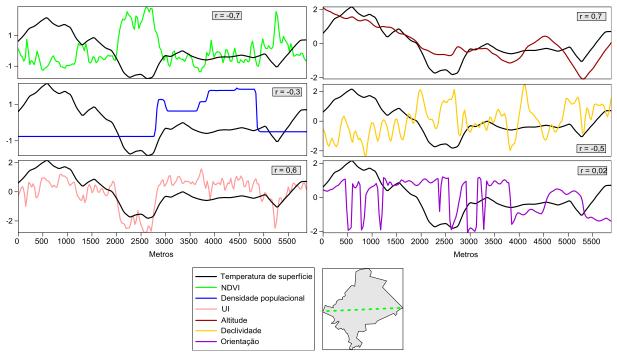


Figura 28. Relação entre as variáveis geourbanas e a temperatura de superfície - transecto 2.

Devido às discrepâncias das correlações do trasecto 1 e 2 realizou-se o computo das correlações com todo o conjunto de dados. Essas correlações podem ser averiguadas na Tabela 1, nesta observa-se que quatro variáveis (NDVI, densidade demográfica, declividade e orientação das vertentes) apresentaram correlação negativa com a temperatura de superfície, isso denota que quanto menores os valores destas variáveis maiores serão os valores da temperatura de superfície. Esta relação inversa entre NDVI e a TS já foi observada por diversos autores (LIU; ZHANG, 2011; WENG, 2009). Entretanto, a relação negativa da densidade demográfica não apresenta correspondência na literatura (OKE, 1973), contudo, isso se justifica devido a influência majoritária das outras variáveis geourbanas.

Tabela 1. Coeficientes de correlação entre a temperatura de superfície e as variáveis geourbanas.

NDVI	DD	ĪU	Α	DV	OV
r = -0.59	r = -0.38	r = 0,44	r = 0.32	r = -0.14	r = -0.25

3.3.2 Regressão linear multipla da temperatura de superfície

Conforme a Tabela 2 a regressão que melhor explicou a variabilidade da TS foi constituída pelas 6 variáveis utilizadas nesta pesquisa, com *p-value* <0,05. O NDVI explicou 35% da variabilidade da TS e a densidade demográfica 25%, estas foram as variáveis mais influentes observadas na regressão linear múltipla.

Tabela 2. Contribuição de cada variável no padrão da temperatura de superfície.

Variáveis	r²	Influência (%)
NDVI	0,353	35,33
NDVI, DD	0,607	25,34
NDVI, DD, A	0,676	6,91
NDVI, DD, A, IU	0,728	5,23
NDVI, DD, A, IU, OV	0,738	0,96
NDVI, DD, A, IU, OV, DV	0,743	0,50

A equação que melhor explicou a variabilidade da Ts está representada na Equação 21, com r² de 0,743.

$$T_{s}$$
 = 8,262 $-$ (5,772 \times NDVI) $-$ (0,00108 \times DD) $+$ (8,418 \times UI) $+$ +(0,0416 \times A) $-$ (0,147 \times DV) $-$ (0,00235 \times OV)

O modelo semivariográfico utilizado para a interpolação da temperatura de superfície (Figura 29) foi o modelo exponencial, com r^2 de 0,97, com 1,32 de efeito pepita (C_0). O patamar ($C_0 + C$) foi de 7,65 e o alcance (A_0) de 6666 m, valores que estão acima do valor máximo estipulado (5,6 para o patamar e 3200 para o alcance). Portanto, o semivariograma utilizado não indicou o limite de dependência espacial dentro da área de estudo, com isso todos os valores da temperatura de superfície na área foram interdependentes.

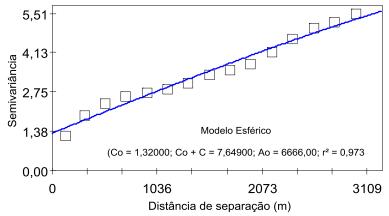


Figura 29. Modelo semivariográfico utilizado para krigagem da temperatura de superfície.

O modelo semivariográfico (Figura 29) foi utilizado na krigagem dos valores da temperatura de superfície obtidos por meio da regressão linear múltipla. Na Figura 30A tem-se a temperatura de superfície e na Figura 30B a temperatura de superfície estimada (TSE).

A TS e a TSE variaram de 20°C a 36°C. Nota-se que com o modelo da regressão foi possível a representação dos padrões da TS. Observa-se que a temperatura de superfície estimada subestimou as máximas e os valores absolutos são relativamente diferentes. As áreas da imagem da TSE na faixa de 32°C a 33°C (principalmente no norte, nordeste e leste da imagem) foram bem maiores que as áreas da TS. Ressalta-se que um modelo/regressão possui suas limitações e, naturalmente, a sua representação da realidade consiste em uma aproximação.

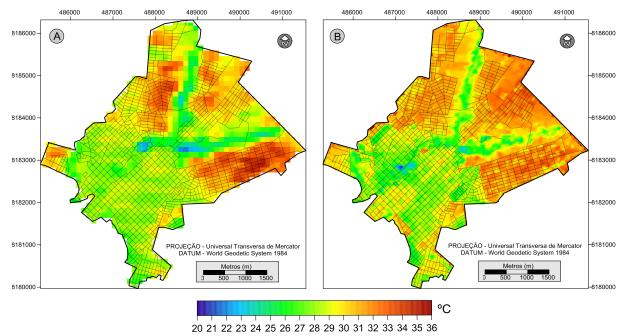


Figura 30. Temperatura de superfície - TS (A) e temperatura de superfície estimada - TSE pela regressão linear múltipla (B).

O Root mean square error (RMSE) da estimativa da temperatura de superfície (Figura 31) variou de 0°C a 10°C, o que denota grande amplitude, entretanto, ao se analisar mais estritamente, nota-se que 80,76% dos RMSE observados ocorreram na classe de 0°C a 2°C, 17,65% na classe de 2°C a 4°C, 1,39% na classe de 4°C a 6°C e acima de 6°C apenas 0,25%. Portanto a amplitude verificada na Figura 31 não reflete o desempenho do modelo, pois a maior parte dos RMSE foi baixa, o que reflete a qualidade da estimativa realizada.

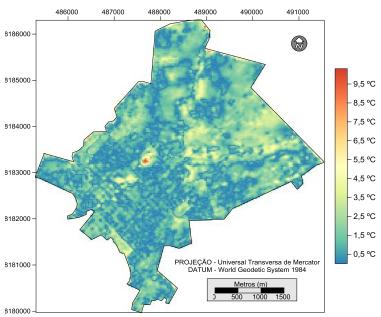


Figura 31. Root mean square error (RMSE) da regressão linear múltipla.

3.4 Considerações

- 1 De modo geral, as variáveis geourbanas (NDVI, densidade demográfica, declividade e orientação das vertentes) apresentaram correlação negativa com a temperatura de superfície, isso denota que quanto menores os valores destas variáveis maiores serão os valores da temperatura de superfície.
- 2 As variáveis mais influentes observadas na regressão linear múltipla foram o NDVI que explicou 35% da variabilidade da TS e a densidade demográfica com 25%.
- 3 O modelo semivariográfico utilizado não indicou o limite de dependência espacial dentro da área de estudo, com isso todos os valores da temperatura de superfície foram dependentes espacialmente.

4 - Com o modelo de regressão linear múltipla utilizado foi possível a representação dos padrões da TS, sendo que 80,76% dos RMSE observados ocorreram na classe de 0°C a 2°C.

CAPÍTULO IV

4 INTENSIDADE E MODELAGEM DAS ILHAS DE CALOR URBANAS DE SUPERFÍCIE EM CIDADES DE PEQUENO PORTE: ANÁLISE DA REGIÃO DO OESTE GOIANO

[...] em todas as etapas do processo de tratamento de um conjunto de dados (parte da realidade) tem de haver um constante recuo ao fenómeno físico com o objetivo de avaliar e validar o modelo como apropriado ao caso de estudo. (SOARES, 2006, p. 20).

4.1 Introdução

A temperatura de superfície é um importante parâmetro para se analisar a Ilha de calor urbana (MA; KUANG; HUANG, 2010). A ilha de calor urbana é geralmente avaliada de duas formas. Tradicionalmente, a ICU tem sido mensurada pelas observações terrestres por meio de transectos móveis ou redes de estações meteorológicas (VOOGT; OKE, 2003), com o avanço de novas tecnologias geoespaciais, os pesquisadores tem utilizado cada vez mais as imagens de satélite para a estimação da ilha de calor urbana de superfície.

Comparado ao método tradicional, o sensoriamento remoto por satélite fornece uma maneira direta e consistente para examinar o ambiente térmico das cidades, podendo se obter uma cobertura espacial contínua de grandes áreas (XU; QIN; WAN, 2010), entretanto, conforme Alcoforado et al. (2007) e Lucena (2013) a ilha de calor urbana (ICU) difere da ilha de calor urbana de superfície (ICUS), pois a primeira se refere a diferença da temperatura do ar da área urbana em relação à rural, enquanto que a segunda se refere a temperatura da superfície.

A ICUS é afetada por vários fatores, incluindo o tamanho da cidade e a população (OKE, 1973), superfícies impermeáveis (baixo albedo, diminuição da evapotranspiração), topografia, liberação de calor antropogênico, população e as condições meteorológicas (COSEO; LARSEN, 2014; TAN; LI, 2015).

Diversos pesquisadores desenvolveram equações, com diferentes fatores, para se estimar a ilha de calor urbana, tais como: Coseo e Larsen (2014), Oke (1973), Oke (1981), Souza et al. (2010), Tan e Li (2015) e Torok et al. (2001).

Entretanto, não se tem registros de estudos que relacionaram o índice de desenvolvimento humano (IDH) com a ilha de calor urbana. No entanto, é importante observar se existe influência do IDH sobre a ICU e a ICUS. Primeiro porque pode contribuir para a modelagem climática, previsão do tempo e planejamento urbano. Segundo que estas questões são de particular interesse para os países que estão em fase de desenvolvimento ou rápida urbanização (TAN; LI, 2015; WU et al., 2014). Por isso, o objetivo desta pesquisa foi de propor equações baseadas na população, área urbana e IDH para se estimar as intensidades máximas das ilhas de calor urbanas de superfície para Região do Oeste Goiano.

4.2 Material e Métodos

A primeira etapa foi o cálculo da temperatura da superfície, computada a partir na banda termal (banda 10) do Landsat - 8, com resolução espacial de 100 m, porém processadas para 30 m, com comprimento de onda de 10.6 μm a 11.19 μm. Os cálculos utilizados na obtenção da temperatura de superfície foram baseados na Equação 4 a Equação 14, com modificações referentes às características do satélite Landsat - 8.

Foram utilizadas as imagens do dia 16/09/2014, por se tratar de um período de pouca cobertura de nuvens, além disso, nos outro anos, não foram possíveis a obtenção simultânea das imagens para toda a área de estudo. Foram necessárias seis imagens para cobrir toda a Região do Oeste Goiano. Posteriormente, para o cálculo da ilha de calor urbana de superfície, foram elaborados dois *buffers* para cada cidade, um que representa a área urbana e o outro que representa a área rural circundante (550 m), conforme a Figura 32.

De posse dos buffers da temperatura de superfície, seguindo a definição da intensidade da ilha de calor urbana de superfície, como sendo a diferença da temperatura entre a área mais aquecida da cidade e o seu subúrbio (OKE, 1973), calculou-se a ICUS de acordo com a Equação 22.

 $ICUS = TS_C - TS_R$

Em que TS_C é o valor máximo da temperatura da superfície dentro da área urbana e TS_R o valor médio da temperatura de superfície no *buffer* de 500 m a partir do limite urbano (Figura 32).

A região do Oeste Goiano possui 43 munícipios, que representam 17,5% dos municípios e 15,5% da área territorial do estado de Goiás (SEPIN, 2010). Destas 43 cidades foram selecionadas 20 (Tabela 3). O critério para escolha de cada cidade baseou-se em três características (População, Área Urbana e IDH), procurou-se selecionar cidades com características diferentes.

Tabela 3. Características das cidades do Oeste Goiano selecionadas.

Cidade	População	Área urbana (Km²)	IDH
Americano do Brasil	5508	1,6	0,732
Anicuns	20272	3,438	0,721
Aragarças	18310	6,897	0,748
Bom Jardim de Goiás	8423	2,718	0,737
Cachoeira de Goiás	1417	0,56	0,704
Caiapônia	16734	4,234	0,735
Córrego do Ouro	2629	0,83	0,726
Doverlândia	7892	2,575	0,71
Firminópolis	11603	2,662	0,745
lporá	31274	12,602	0,78
Israelândia	2888	0,885	0,73
Itapirapuã	7851	4,201	0,707
Jandaia	6164	2,81	0,746
Jussara	19086	4,74	0,74
Montes Claros de Goiás	8000	2,022	0,75
Novo Brasil	3516	1,365	0,712
Palmeiras de Goiás	23333	5,907	0,76
Piranhas	11268	4,045	0,737
Sanclerlândia	7563	2,242	0,734
São Luís de Montes Belos	30050	9,289	0,752

Fonte: (SEPIN, 2010).

A localização das cidades selecionadas do Oeste Goiano pode ser observada na Figura 32, assim como os limites estabelecidos para o cálculo da intensidade da ICUS.

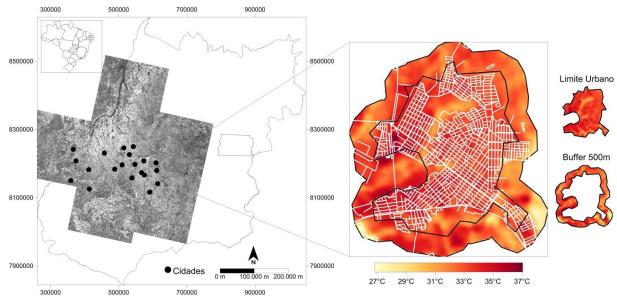


Figura 32. Localização das cidades selecionadas da região do Oeste Goiano e método do cálculo da ilha de calor urbana de superfície (ICUS).

De posse da intensidade da ilha de calor urbana de superfície das 20 cidades, utilizou-se da técnica de regressão linear múltipla passo-a-passo (conforme descrito no capítulo 3 – Material e Métodos) nas quais as variáveis: população, área urbana e IDH, foram inseridas no modelo quando o *p-value* fosse menor que 0,05. Os erros da estimativa feita pela regressão foram calculados pelo RMSE, conforme a Equação 20.

4.3 Resultados e discussões

A temperatura da superfície nas cidades do Oeste Goiano variou de 25,3°C em Palmeiras de Goiás (valor mínimo) a 38,8°C em Iporá (valor máximo), portanto, amplitude de 13,5°C (Figura 33). A menor média da temperatura da superfície foi observada em Jandaia (29,9°C) e a maior média foi verificada na cidade de Bom Jardim de Goiás com 34,8°C. Além disso, o conjunto de dados da temperatura de superfície, correspondente a 50%, foram os mais elevados em Bom Jardim de Goiás, enquanto que a cidade de Jandaia apresentou o conjunto de dados com menores valores do Oeste Goiano (Figura 33).

Na Figura 34 estão as cidades de Jandaia e Bom Jardim de Goiás. Nota-se que na área central da cidade de Jandaia há um lago juntamente com área vegetada, em Bom Jardim também existe um lago, entretanto, este se localiza na borda do limite urbano, com pouca área vegetada.

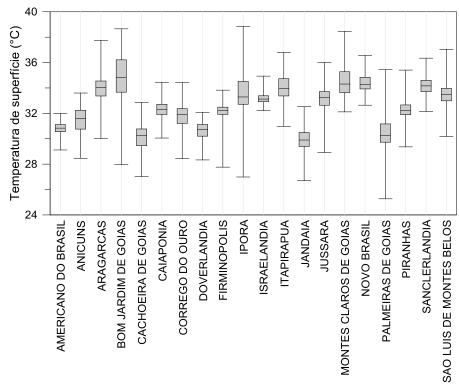


Figura 33. Bloxplot da temperatura da superfície das cidades do Oeste Goiano.



Figura 34. Cidade de Jandaia (A) e cidade de Bom Jardim de Goiás (B).
Fonte: (GOOGLE, 2016).

As diferenças da temperatura de superfície do limite urbano e do *buffer* de 500 m, neste trabalho, denominada de ICUS (Ilha de Calor Urbana de Superfície), foram maiores nas cidades de Aragarças e Iporá, com 5,4°C e 5,8°C, respectivamente (Figura 35). Iporá possui a maior população (31274 habitantes), assim como a maior área territorial urbana (12,6 km²) das cidades analisadas. As menores intensidades ocorreram em Israelândia (ICUS = 1,6°C), Americano do Brasil (ICUS = 1,7°C) e Doverlândia (ICUS = 1,7°C), cidades nas quais possuem

baixa população (2888, 5508 e 7892 habitantes, respectivamente) e pequena área territorial urbana (0,88, 1,6 e 2,5 km², respectivamente). Iporá e Israelândia possuem contrastes muito acentuados em diversos aspectos, conforme descrito, destaca-se a população, a área urbana e o uso e ocupação do solo (Figura 36).

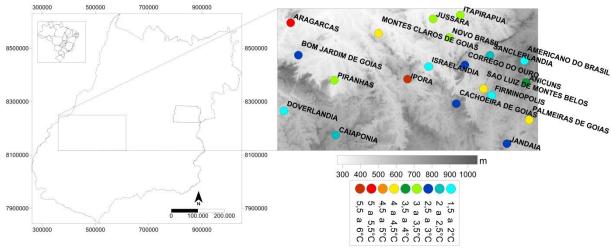


Figura 35. Intensidade das ilhas de calor urbanas de superfície nas cidades do Oeste Goiano.

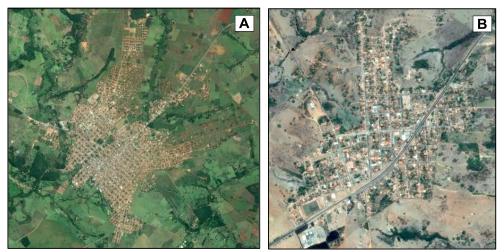


Figura 36. Cidade de Iporá (A) e cidade de Israelândia (B). **Fonte**: (GOOGLE, 2016).

Peterson (2003) nos Estados Unidos analisou a relação da população com os desvios de temperatura e afirmou que cidades com população de até 10000 habitantes não requer ajuste para urbanização, pois não foi observada diferença significativa dos valores na área urbana com a área rural. Entretanto, Oke (1973) em estudo nas cidades da América do Norte e na Europa e Torok et al. (2001) em estudo no sudeste da Austrália, mostraram que até mesmo cidades com população

de 1000 pessoas têm aquecimento urbano de 2,2°C em comparação com a área rural próxima.

Nestes estudos, Oke (1973) e Torok et al. (2001) encontraram evidências de que a ilha de calor urbana máxima aumenta com o aumento da população (P) de forma logarítmica para a América do Norte, Europa e Sudeste da Austrália, conforme, respectivamente a Equação 23 com r^2 = 0,96, Equação 24 com r^2 = 0,74 e Equação 25 com r^2 = 0,99.

Em cidades de Taiwan, Sun (2015) encontrou a Equação 26, com $r^2 = 0.9$ para a ilha de calor média. Para as cidades da Coréia do Sul com população inferior a 300000, Lee (1993) verificou a relação da Equação 27 com $r^2 = 0.5$.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 2,96 \log_{10}(P) - 6,41 (América do Norte)$$
 Equação 23

$$\Delta T_{u-r(max)} = 2,01 \log_{10}(P) - 4,06 (Europa)$$
 Equação 24

$$\Delta T_{u-r(max)} = 1,42 \log_{10}(P) - 2,09$$
 (Sudeste da Austrália) Equação 25

$$\Delta T_{u-r(media)} = 1,49 \log_{10}(P) - 5,08 (Taiwan)$$
 Equação 26

$$\Delta T_{u-r(max)} = 2,38 \log_{10}(P) - 7,75$$
 (Coréia do Sul) Equação 27

O efeito da ilha de calor urbana sobre dados históricos tem sido estudado por meio das comparações dos dados dos centros urbanos com os das localidades rurais (TOROK et al., 2001). A comparação de dados históricos é essencial para a quantificação do efeito da ICU ou ICUS. Os resultados de Karl e Williams (1987) sugerem uma relação exponencial entre a diferença de temperatura média anual da área urbana e da rural com a população (Equação 28).

$$\overline{\Delta T}_{n-r} = a \times (P)^{0.45}$$
 Equação 28

O coeficiente a varia de acordo com a população da cidade, mais detalhes em Karl e Williams (1987).

Para as cidades do Oeste Goiano também foi calculada essa relação, entretanto, a melhor regressão observada foi a linear, conforme a Figura 37. Na Equação 29 tem-se a equação obtida para se estimar a ICUS a partir da população, com r² de 0,46.

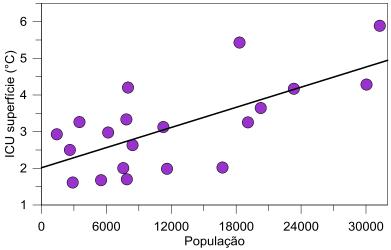


Figura 37. Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e a população das cidades da Região do Oeste Goiano.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 0.0000916 \times (P) + 2.015 (Oeste Goiano)$$
 Equação 29

Afim de verificar se as equações propostas por Oke, (1973), Torok et al. (2001), Sun, (2015) e Lee, (1993), para estimar as ilhas de calor urbanas máximas nas cidades da América do Norte, Europa, Sudeste da Austrália, Taiwan e Coréia do Sul a partir da população das mesmas, conseguiriam estimar, satisfatoriamente, as intensidades máximas das ICUS da Região do Oeste Goiano, elaborou-se a Figura 38. Nota-se que os valores das ICUS estimadas pela Equação 23 (cidades da América do Norte) e Equação 26 (cidades de Taiwan) foram muito discrepantes das intensidades das ICUS observadas.

A Equação 29, proposta nesta pesquisa, estimou as ICUS com maior exatidão em relação às outras equações. A Equação 25, proposta para cidades do sudeste da Austrália, foi a segunda melhor.

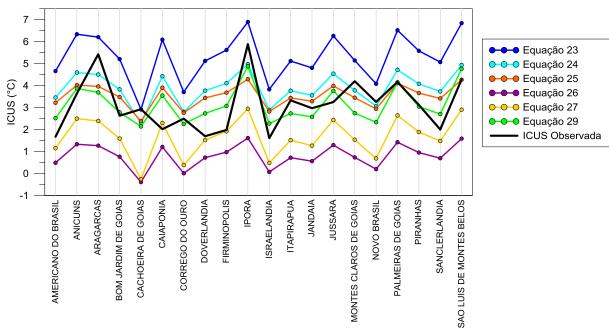


Figura 38. Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e a população das cidades da Região do Oeste Goiano.

Os RMSE das estimativas das equações (Tabela 4) demostram que a equação proposta para se estimar as ilhas de calor urbanas de superfície máximas para a Região do Oeste Goiano apresentou a menor média (0,68) e o menor total (15,17) dos RMSE.

Tabela 4. RMSE das ICUS estimadas pela Equação 23, Equação 24, Equação 25, Equação 26, Equação 27 e Equação 29.

CIDADES	Eq. 23	Eq. 24	Eq. 25	Eq. 26	Eq. 27	Eq. 29
Americano do Brasil	2,99	1,78	1,55	1,18	0,52	0,84
Anicuns	2,69	0,95	0,38	2,31	1,14	0,23
Aragarças	0,78	0,92	1,47	4,16	3,03	1,74
Bom Jardim de Goiás	2,58	1,2	0,85	1,86	1,04	0,15
Cachoeira de Goiás	0,01	0,65	0,54	3,31	3,18	0,78
Caiapônia	4,07	2,41	1,89	0,81	0,28	1,53
Córrego do Ouro	1,21	0,31	0,27	2,48	2,11	0,24
Doverlândia	3,42	2,07	1,74	0,97	0,18	1,04
Firminópolis	3,63	2,12	1,7	1,01	0,06	1,09
lporá	1,01	0,91	1,59	4,27	2,94	1,01
Israelândia	2,22	1,28	1,21	1,54	1,13	0,67
Itapirapuã	1,79	0,44	0,11	2,61	1,81	0,6
Jandaia	1,83	0,58	0,32	2,41	1,71	0,4
Jussara	3,01	1,29	0,73	1,96	0,82	0,51
Montes Claros de Goiás	0,94	0,42	0,75	3,47	2,66	1,45
Novo Brasil	0,83	0,19	0,31	3,06	2,57	0,92
Palmeiras de Goiás	2,35	0,55	0,06	2,74	1,52	0,02

Piranhas	2,46	0,96	0,54	2,17	1,23	0,08
Sanclerlândia	3,06	1,73	1,41	1,31	0,52	0,7
São Luís de Montes Belos	2,56	0,66	0,02	2,69	1,38	0,48
MÉDIA	2,4	0,94	0,74	2,36	1,3	0,68
TOTAL	45,85	22,37	18,17	48,67	31,15	15,17

As relações entre a ICU ou ICUS e o tamanho das áreas urbanas têm sido debatidas há algum tempo (ATKINSON, 2003). A questão chave é se a intensidade da ilha de calor varia com o tamanho da área urbana. À medida que as cidades crescem, suas ilhas de calor também crescem, não só na sua dimensão horizontal, mas também em sua intensidade (ATKINSON, 2003; DEBBAGE; SHEPHERD, 2015). Isto foi demonstrado por Mitchell (1961) e Landsberg (1979) e fortemente inferida a partir de evidências indiretas por Yague, Zurita e Martinez (1991) e Shun Djen (1992).

Em alguns casos, como no estudo de Atkinson (2003), foi observada, apenas, pequena sensibilidade da intensidade da ilha de calor para o tamanho da cidade. Para as cidades do Oeste Goiano notou-se que existe uma relação linear de aumento da intensidade da ilha de calor urbana de superfície com o aumento da área urbana (Figura 39), com r² expressivo de 0,58, a equação obtida pela regressão linear pode ser observada na Equação 30.

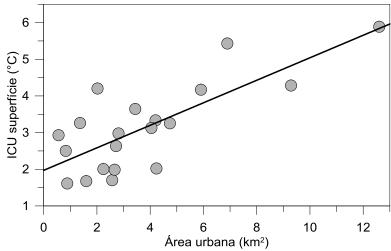


Figura 39. Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e a área urbana (A) das cidades da Região do Oeste Goiano.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 0.307 \times (Ar) + 1.97$$

Harlan et al. (2006) elaboraram um índice de conforto térmico humano para alguns bairros de uma grande cidade norte-americana. A aplicação do índice mostrou que bairros habitados por minorias étnicas e com baixos indicadores socioeconômicos, comumente, vivem em bairros mais quentes e estão mais expostos a estresse térmico. Os resultados do trabalho de Velho e Fonseca (2015) também mostraram essa tendência para Porto Alegre, em que as temperaturas de superfície mostraram-se diferentes para bairros de renda alta e de baixa renda.

Contudo, não se verificou na literatura trabalhos científicos que relacionem, especificamente, a ilha de calor urbana com o índice de desenvolvimento humano. Entretanto, este índice pode ajudar a explicar a variação da intensidade da ilha de calor urbana, pois o mesmo considera três aspectos: 1 - Uma vida longa e saudável (Expectativa de vida ao nascer); 2 - O acesso ao conhecimento (Anos Médios de Estudo e Anos Esperados de Escolaridade) e 3 - Um padrão de vida decente (PIB per capita). Conforme a Figura 40, observou-se relação linear de aumento da ICUS com o aumento do índice de desenvolvimento humano. Esta relação pode ser verificada na Equação 31, com r² de 0,32.

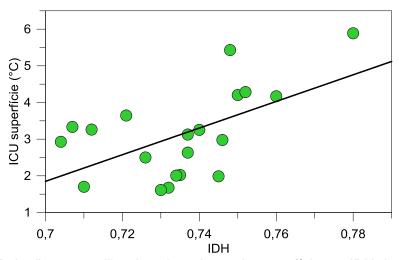


Figura 40. Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e o IDH das cidades da Região do Oeste Goiano.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 36,337 \times (IDH) - 23,589$$
 Equação 31

Com o objetivo de aperfeiçoar o modelo preditor da ilha de calor urbana de superfície para a Região do Oeste Goiano utilizou-se as três variáveis (População, área urbana e IDH), para tanto, foi necessária a utilização da regressão linear

múltipla. Na Equação 32 pode-se se observar a equação resultante da regressão linear múltipla, na qual possui r² de 0,6. Com esta equação é possível estimar a máxima intensidade da ilha de calor urbana de superfície para as cidades da região do Oeste Goiano.

$$ICUS = -1,024 - (0,0000218 \times P) + (0,348 \times Ar) + (4,226 \times IDH)$$
 Equação 32

Em que P é a população, Ar a área urbana em ${\rm km^2~e~\it IDH}$ o índice de desenvolvimento humano.

Em nove cidades (Bom Jardim de Goiás, Córrego do Ouro, Iporá, Itapirapuã, Jandaia, Jussara, Palmeiras de Goiás, Piranhas e São Luis de Montes Belos) os valores da ICUS observados e os valores estimados pela Equação 32 estiveram muito próximos, com RMSE abaixo de 0,5°C. O maior valor do RMSE foi verificado na estimativa da ICUS para a cidade de Montes Claros de Goiás (RMSE = 1,52), conforme Figura 41.

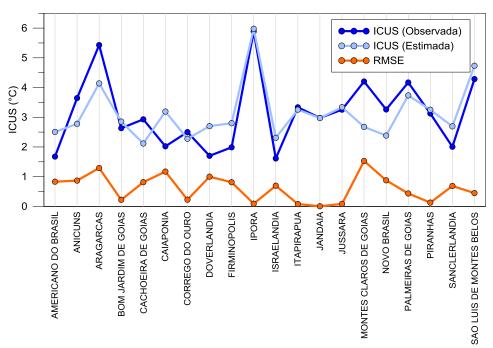


Figura 41. Variação da ilha de calor urbana da superfície observada, estimada e o RMSE.

4.4 Considerações

- 1 Na cidade de Iporá foi verificada a maior temperatura da superfície das cidades do Oeste Goiano. A cidade de Jandaia apresentou entre os conjuntos de dados, os menores valores do Oeste Goiano.
- 2 As cidades de Aragarças e Iporá tiveram as maiores intensidades das ilhas de calor urbanas de superfície, com 5,4°C e 5,8°C, respectivamente. Enquanto que as menores intensidades ocorreram em Israelândia (ICUS = 1,6°C), Americano do Brasil (ICUS = 1,7°C) e Doverlândia (ICUS = 1,7°C).
- 3 A equação proposta para estimar as intensidades máximas das ICUS nas cidades do Oeste Goiano, a partir da população, obteve melhor desempenho que as equações propostas por Oke (1973), Torok et al. (2001), Sun (2015) e Lee (1993).
- 4 A relação linear entre a ICUS e o tamanho da área urbana apresentou o melhor coeficiente de determinação ($r^2 = 0.58$), ou seja, com o aumento da área urbana a intensidade da ilha de calor urbana de superfície tende a ser mais elevada.
- . 4 A equação final, proposta como modelo preditor da intensidade máxima da ilha de calor urbana de superfície para a Região do Oeste Goiano, utilizou as três variáveis (População, área urbana e IDH) e obteve r² de 0,6, com baixos valores do RMSE.

5 QUANTIFICANDO O EFEITO DOS CURSOS D'ÁGUA/ÁREA VERDE NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

Os espaços verdes desempenham um importante papel na promoção de condições bioclimáticas favoráveis, contribuindo para o arrefecimento da cidade, através do efeito de sombra e da evapotranspiração [...] (ALCOFORADO et al., 2005, p. 59).

5.1 Introdução

A urbanização é um dos mais evidentes resultados da atividade humana no clima. Variáveis meteorológicas, como: temperatura do ar; vento; umidade; *stress* de calor; poluição do ar e muitas outras são influenciadas (ALCOFORADO et al., 2014; ALVES; BIUDES, 2012a). Conforme Parlow, Vogt e Feigenwinter (2014) existem diferenças básicas da área urbana e não urbana, ou seja, a área urbana:

- (1) Tem uma rugosidade na aerodinâmica da superfície elevada que influencia a turbulência vertical e os campos de vento.
- (2) Tem uma radiação e um balanço de energia completamente diferente, devido às propriedades físicas e térmicas dos material de construção.
- (3) É altamente tridimensional e, por conseguinte, uma superfície muito complexa para todos os processos de troca dentro da camada limite urbana.
 - (4) É uma fonte significativa de poluentes e calor.

A característica mais proeminente do clima urbano é o efeito da ilha de calor urbana. A ilha de calor urbana (ICU) é um fenômeno em que a temperatura do ar em cidades densamente povoadas é mais elevada que as áreas rurais, este é, atualmente, o principal personagem do clima urbano (LOPES et al., 2013; LU et al., 2012; PARLOW; VOGT; FEIGENWINTER, 2014).

A ICU não causa somente elevada temperatura no verão e aumento no consumo de energia para arrefecimento, mas também leva a sérios problemas no conforto térmico das pessoas e até mesmo na saúde (ABREU-HARBICH; LABAKI; MATZARAKIS, 2013; ALI-TOUDERT et al., 2005; GABRIEL; ENDLICHER, 2011; TAN et al., 2010). Portanto, mitigar as ICU é fundamental.

É bem conhecido que áreas de vegetação urbana podem diminuir as temperaturas nas cidades por meio do sombreamento e resfriamento evaporativo (BERNATZKY, 1982; OLIVEIRA; ANDRADE; VAZ, 2011). Os parques urbanos têm sido considerados como parte importante da vegetação urbana, que são mais arrefecidos que suas áreas circunvizinhas e pode formar o efeito de 'ilha de frescor' do Parque ('*Park Cool Island*', ou PCI) (CAO et al., 2010; JAUREGUI, 1990).

Diante disso, o objetivo deste estudo foi de conhecer a variabilidade temporal da intensidade da PCI e analisar os fatores que a determina, propondo uma equação para predizer a intensidade da PCI em Iporá que servirá aos planejadores urbanos para mitigar ilhas de calor, seja pela criação de áreas verdes, ou pela sua otimização.

5.2 Material e Métodos

Normalmente a intensidade da PCI é mensurada a partir das observações da temperatura do ar ao longo de transectos ou em estações dentro de áreas verdes e a área urbana circundante (CAO et al., 2010). Seguindo a definição da intensidade da ilha de calor urbana, como sendo a diferença da temperatura entre a área mais aquecida da cidade e o seu subúrbio (OKE, 1973), nesta pesquisa, assim como nos trabalhos de Cao et al. (2010), Chow et al. (2011) e Ren et al. (2013) a intensidade da PCI foi definida conforme Equação 33.

$$T_{PCI} = T_C - T_V$$
 Equação 33

Em que T_c é a média da temperatura da superfície circundante a área verde com *buffer* de 200 m e 500 m e T_V é a média da temperatura da superfície dentro da área verde.

A temperatura da superfície foi calculada a partir da banda termal (banda 10) do Landsat - 8, com resolução espacial de 100 m, porém processadas para 30 m, com comprimento de onda de 10.6 µm a 11.19 µm. Utilizou-se as imagens referentes ao ano de 2015, entretanto, devido a problemas de imageamento ou coberturas de nuvens, comum no período chuvoso, conforme já observado por Santos, Ferreira Júnior e Ferreira (2011) na região do cerrado, não foi possível a utilização de todas as imagens, portanto empregou-se as imagens das seguintes

datas: 30/05/2015; 15/06/2015; 01/07/2015; 17/07/2015; 02/08/2015; 18/08/2015; 03/09/2015; 19/09/2015; 05/10/2015. Os cálculos utilizados na obtenção da temperatura de superfície foram baseados na Equação 4 a Equação 14, com modificações referentes às características do satélite Landsat - 8.

A forma e tamanho das áreas verdes podem afetar a PCI. Os estudos de Cao et al. (2010), Chang, Li e Chang (2007), Ren et al. (2013), Spronken-smith e Oke (1998) e Zhang et al. (2009) descobriram que há correlação positiva e significativa entre a intensidade da PCI e o tamanho do parque urbano. O *Landscape shape index* (LSI) é uma maneira de computar a relação entre o perímetro e a área, essa medida foi utilizada por Cao et al. (2010), Mcgarial e Marks (1995) e Patton (1975), quanto mais concentrada e compacta a área, menor o valor de LSI, que pode ser obtido pela Equação 34.

$$LSI = \frac{P_t}{2\sqrt{\pi \times A}}$$
 Equação 34

Onde P_t é o perímetro total em torno da área verde e A é a área da mesma. Aqui, o valor da LSI foi calculado a partir do *buffer* de 30 m a partir do curso d'água envolvendo a área verde (Figura 42). Idealmente o LSI deveria ser igual ou próximo a 1 (CAO et al., 2010). Na Figura 42 tem-se os *buffer* de 30 m (referente a área verde) e os *buffers* de 200 m e 500 m.

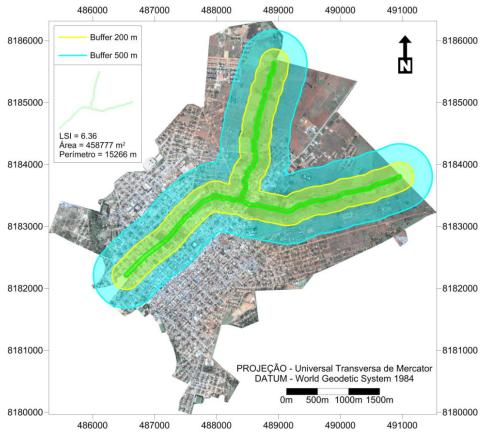


Figura 42. Buffers utilizados para os cálculos do PCI.

5.3 Resultados e Discussões

A temperatura de superfície na área verde e nos *buffers* de 200 m e 500 m está na Figura 43, nota-se elevada sazonalidade nos valores da temperatura de superfície, com aumento significativo ao longo do ano de 2015. As imagens referentes ao outono apresentaram os menores valores, no dia 30/05/2015 as temperaturas da superfície estiveram entre 22°C e 28°C e no dia 15/06/2015 variaram de 23°C a 29°C, ou seja, baixas temperaturas superficiais com pequena amplitude térmica. A partir do inicio do inverno as temperaturas aumentaram significativamente, tendo seu ápice na imagem do dia 19/09/2015 com valor mínimo de 31,4°C e máximo de 47,5°C. Em todas as imagens (Figura 43) verifica-se o efeito da área verde que circunda o corpo d'água (Córrego Tamanduá), nestas imagens já se é possível verificar a existência da PCI.

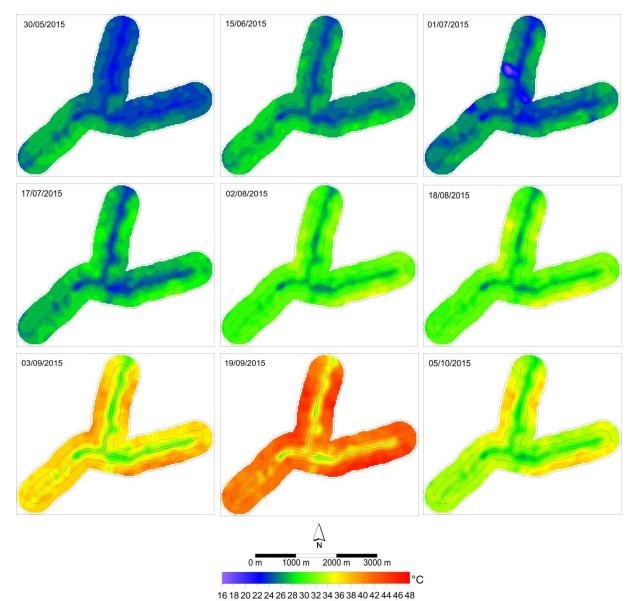
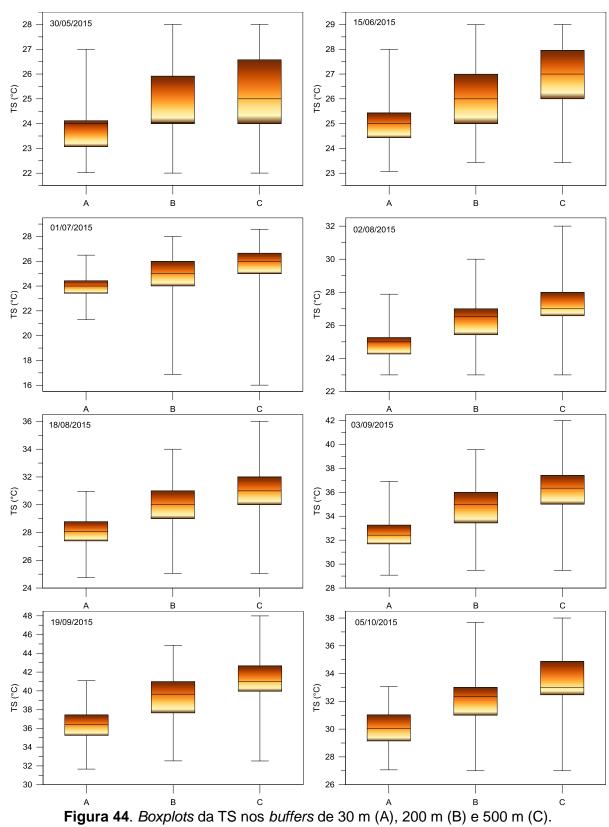


Figura 43. Temperatura de superfície em Iporá, as linhas pretas correspondem aos limites dos *buffers*.

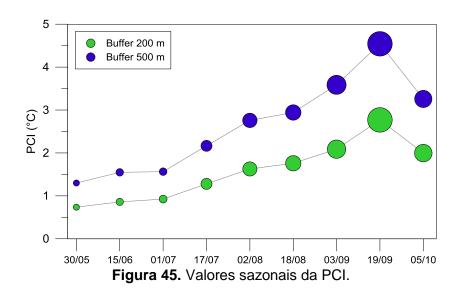
Os conjuntos de dados da temperatura de superfície, de cada *buffer*, representados pelos *boxplots* (Figura 44), denotam o padrão observado na Figura 43. Quanto mais distante do core da área verde maior a TS. Em todas as imagens térmicas, o buffer de 30 m (área verde/corpo d'água) obteve os menores valores da TS.

Conforme a Figura 44, as maiores amplitudes térmicas foram observadas no *buffer* de 500 m, seja por possuir maior quantidade de dados (área maior), ou por adentrar mais no meio urbano e, portanto, ter mais influência das características do uso solo urbano. A maior e a menor amplitude da TS ocorreram nos dias 19/09/2015 (16°C), 30/05/2015 e 15/06/2015 (ambos com amplitude de 6°C).



A intensidade da PCI (Figura 45) variou conforme a variação da temperatura superficial (Figura 43 e Figura 44), com menores valores no outono, aumentando gradativamente até o seu valor máximo de 2,8°C e 4,5°C em 19/09/2015, respectivamente nos *buffers* de 200 m e 500 m. No *buffer* de 500 m, em todas as observações (nove imagens termais), registrou as maiores intensidades da PCI comparadas com o *buffer* de 200 m.

A sazonalidade da PCI já foi observada em outros estudos: Ren et al. (2013) observou a variação da PCI no verão e no outono nos parques da cidade de Changchun na China e constataram que, no verão, a intensidade da PCI foi muito superior ao outono. Ao analisar parques em Nagoia no Japão, Cao et al. (2010) observou que a intensidade da PCI foi maior no verão seguido pela primavera. Estes resultados, evidentemente, referem-se a locais com climas completamente diferentes ao clima da cidade de Iporá. Neste estudo não foi possível a obtenção de imagens termais para o verão, pois este se caracteriza como o período mais chuvoso da região. Contudo, foi possível verificar que na primavera ou próximo dela, a intensidade da PCI foi muito superior às PCI de outras datas.



Alguns estudos têm usado imagens de satélite para estimar a temperatura da superfície e a cobertura da vegetação em diversas localidades urbanas. Muitos estudos que seguem esta abordagem encontraram correlação negativa com índices de vegetação como: o NDVI e LAI (ANDRADE; VIEIRA, 2007; BOWLER et al., 2010; CHANG; LI; CHANG, 2007; JIN; ZHANG, 2002; LIU; ZHANG, 2011).

A relação entre PCI e NDVI foi observada por Feyisa, Dons e Meilby (2014), os autores observaram que elevada intensidade da cobertura das árvores (neste caso, dados de NDVI) levou a um arrefecimento, significativamente, maior em todos

os momentos do dia. Esta foi uma clara indicação que a densidade da vegetação, nos parques, tem um papel vital em aumentar o efeito do arrefecimento na temperatura do ar durante o dia.

Com intuito de verificar a relação entre a PCI e índices de vegetação (NDVI e LAI) realizou-se regressão linear múltipla, conforme a Figura 46 e Figura 47. As relações da intensidade da PCI com a diferença do NDVI (200 m) e NDVI (30 m), assim como a diferença do NDVI (500 m) e NDVI (30 m) foi negativa (Figura 46), ou seja, quanto menores as diferenças no NDVI, menor será a intensidade da PCI. Ainda na Figura 46 nota-se que o NDVI é um excelente indicador da PCI, podendo explicar 91% da sua variabilidade para *buffer* de 200 m e 93% para o *buffer* de 500 m.

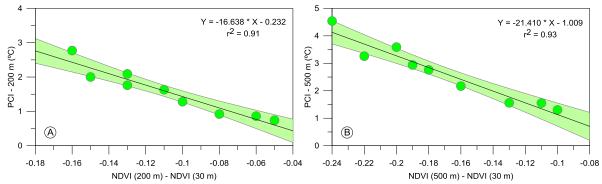


Figura 46. Relação entre a PCI dos *buffers* de 200 m e 500 m e a diferença do NDVI entre os *buffers* de 200 m (A) e 500 m (B) com o *buffer* de 30 m.

Não existem muitos estudos que relacionaram a PCI e o LAI. Contudo, Ren et al. (2013) observou um coeficiente de determinação da PCI pelo LAI de 0,52 para o verão, e de 0,43 para o outono. Bem como para o NDVI, a relação da intensidade da PCI com o LAI foi negativa (Figura 47). A regressão linear resultante da diferença do LAI no *buffer* de 200 m e 500 m com o LAI de 30 m, com a PCI, revelou um poder de explicação menor que o NDVI, entretanto, ainda obteve r^2 significativo (r^2 = 0,68 para o *buffer* de 200 m e r^2 = 0,56 para o *buffer* de 500 m).

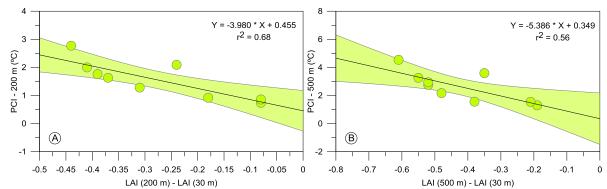


Figura 47. Relação entre a PCI dos *buffers* de 200 m e 500 m e a diferença do LAI entre os *buffers* de 200 m (A) e 500 m (B) com o *buffer* de 30 m.

A partir das relações encontradas entre a PCI, o NDVI e o LAI foram criadas duas equações (Equação 35 e Equação 36) por meio de regressão linear múltipla, nas quais obtiveram elevado coeficiente de determinação, $r^2 = 0.924$ e $r^2 = 0.957$ para a PCI de 200 m e 500 m, respectivamente (Figura 48), com *p-value<0.05* para ambas as equações. Os dados utilizados para a regressão referem-se a todas as imagens utilizadas nesta pesquisa (nove imagens). Essas equações foram utilizas para predizer a intensidade da PCI.

$$\begin{split} PCI_{200\;m} &= -0.335 + [1.357 \times (LAI_{200\;m} - LAI_{30\;m})] - [21.093 \times \\ &(NDVI_{200\;m} - NDVI_{30\;m})] \end{split}$$
 Equação 35
$$\begin{split} PCI_{500\;m} &= -1.075 + [2.367 \times (LAI_{500\;m} - LAI_{30\;m})] - [27.688 \times \\ &(NDVI_{500\;m} - NDVI_{30\;m})] \end{split}$$
 Equação 36

A relação da PCI estimada e observada pode ser averiguada na Figura 48. Nota-se que os valores observados e estimados estão relacionados positivamente. O *Root mean square error* (RMSE) foi de 0,175 para a regressão da PCI do *buffer* de 200 m, e RMSE de 0,211 para o *buffer* de 500 m. Isto mostra que estes modelos de regressões lineares múltiplas, envolvendo o LAI e o NDVI, é um caminho apropriado para prever a intensidade da PCI da área verde/corpo d'água de Iporá.

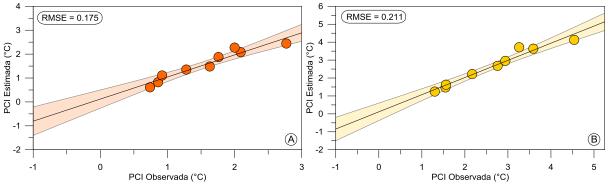


Figura 48. Intensidade da PCI observada e intensidade da PCI estimada pela regressão linear múltipla nos *buffers* de 200 m (A) e 500 m (B).

5.4 Considerações

- 1 Quanto maior a distância em relação a área verde, maior a temperatura de superfície.
- 2 A variação temporal (sazonalidade) da intensidade da PCI foi constatada: na primavera ou próximo dela, a intensidade da PCI foi muito superior às PCI de outras datas.
- 3 A diferença do NDVI de 200 m e 500 m com o NDVI de 30 m, em relação a PCI, mostrou uma relação negativa, com elevado coeficiente de determinação tornando-a excelente indicador da intensidade da PCI, o LAI também conseguiu explicar satisfatoriamente a variabilidade da PCI.
- 4 A partir das relações encontradas entre a PCI, o NDVI e o LAI foram criadas duas equações, uma para *buffer* de 200 m e outra para *buffer* de 500 m, ambas apresentaram RMSE baixo, o que indica elevada precisão na predição da PCI.

CAPÍTULO VI

6 ANÁLISE ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR E UMIDADE ABSOLUTA EM CIDADE DE PEQUENO PORTE

[...] nenhum fenômeno da natureza pode ser compreendido, quando encarado isoladamente, fora dos demais circundantes. Qualquer acontecimento natural pode ser convertido num contra-senso quando analisado fora das condições que o rodeiam [...] (NIMER, 1979, p. 9).

6.1 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 et al., 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 chamado 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 escala 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 uma dimensão regional, dependendo do tamanho da respectiva área urbana (ALVES; BIUDES, 2012b).

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 (ANDRADE e ALCOFORADO, 2008). 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, 2012b; AMORIM; DUBREUIL; CARDOSO, 2015; LOPES et al., 2013).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi de analisar a variabilidade da temperatura do ar e umidade absoluta, com o intuito de verificar os locais de maior aquecimento e menor umidade absoluta e identificar as variáveis geourbanas responsáveis por esta variação na cidade de Iporá.

6.2 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 termo-higrômetros buscou atender 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 em consideração estes aspectos optou-se por coloca-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 49).

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

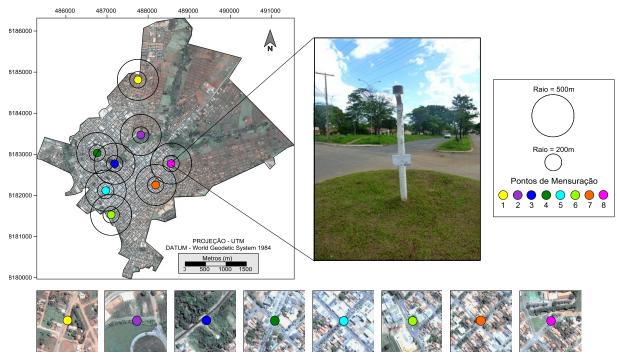


Figura 49. Localização dos aparelhos termo-higrômetros e suas respectivas áreas de influência.

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, ocasião na qual se constatou o furto de mais três aparelhos. Tendo em vista a possibilidade de furtos posteriores decidiu-se recolhêlos. Portanto as análises correspondem ao período do dia 20/10 a 24/11 de 2014. Os aparelhos foram programados para registrarem dados a cada 30min, portanto, desconsiderando o dia 19 de outubro e parte do dia 24 de novembro, foram obtidos 1630 dados de temperatura do ar e umidade relativa.

6.2.1 Precisão na mensuração dos dados

Com o intuito de verificar se os oito termo-higrômetros estavam calibrados, estes foram colocados lado a lado (Figura 50) e programados para registrarem dados (temperatura do ar e umidade relativa) a cada 5min até totalizarem 500 dados. Posteriormente estes foram comparados em relação a precisão entre eles.



Figura 50. Termo-higrômentros OMEGA.

Na Figura 51 e Figura 52 são representados os dados da temperatura do ar e umidade relativa, coletados para averiguação da precisão entre os termohigrômetros.

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.

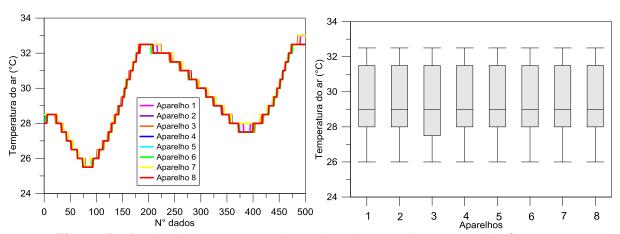


Figura 51. Dados de temperatura do ar dos oito aparelhos termo-higrômetros.

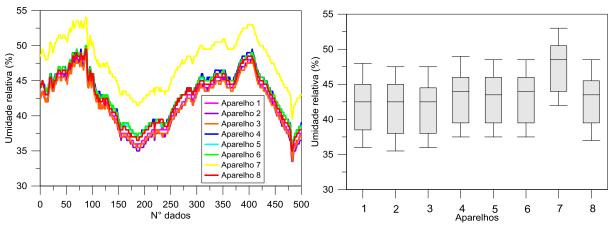


Figura 52. Dados de umidade relativa do ar dos oito aparelhos termo-higrômetros.

Diante do observado, foi necessária a calibração do aparelho 7, na qual foi realizada por meio de regressão linear simples. A Figura 53 é constituída por gráfico de dispersão juntamente com a equação da regressão linear, que foi calculada entre o termo-higrômetro 7 e o 1. Esta 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.

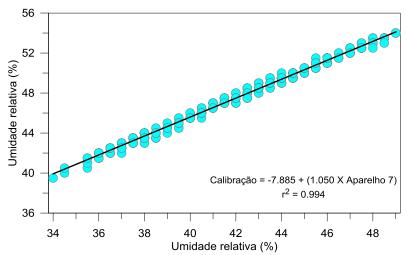


Figura 53. Calibração do aparelho 7 com o aparelho 1.

Portanto, os dados de umidade relativa do aparelho 7 foram submetidos à calibração pela equação da Figura 53.

6.2.2 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 da Equação 37, Equação 38 e Equação 39.

$$UA=2168 \times e_a \div T$$
 Equação 37
$$e_a=UR \times e_s \div 100$$
 Equação 38
$$e_s=0.6108 \times 10^{\frac{7.5 \times T}{237.3+T}}$$
 Equação 39

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

6.3 Resultados e Discussões

6.3.1 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 num 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 54, 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, devido ao 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.

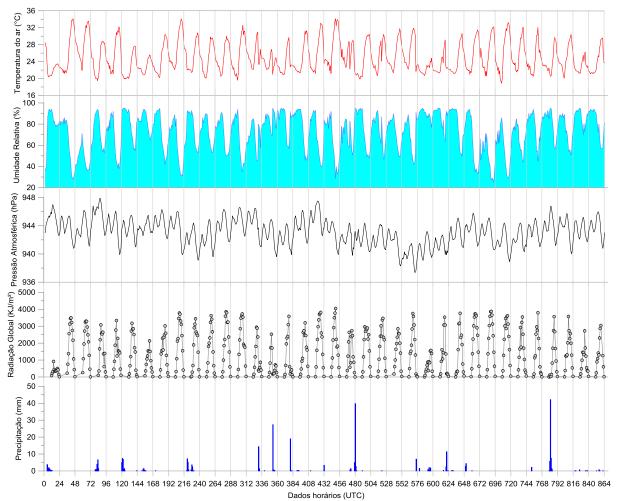


Figura 54. Variação temporal dos dados meteorológicos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) da estação meteorológica automática de Iporá/GO do dia 20 de outubro de 2014 a 24 de novembro de 2014.

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

Utilizou-se nessa 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 55A). Os agrupamentos da umidade absoluta (Figura 55B), formaram-se 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.

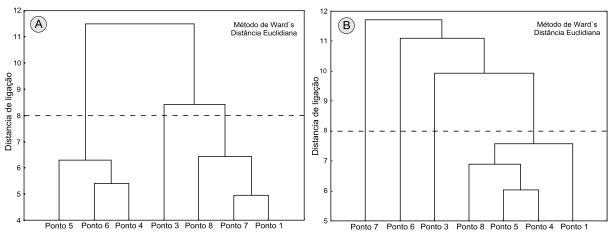


Figura 55. Dendograma dos pontos de mensuração pelos valores de temperatura do ar (A) e umidade absoluta (B).

Nota-se que o ponto 3 não formou grupo nos dendogramas, provavelmente devido a influência do NVDI (Tabela 5) 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 as variáveis altitude e declividade das vertentes.

Tabela 5. 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.

6.3.2 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, descritas no capítulo 1. Foram selecionadas sete áreas (conforme Figura 56) que correspondem ao local de instalação dos termohigrômetros, estabeleceu-se um quadrado com 40000 m² centrado sobre cada área, em seguida extraiu-se o valor medio 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 (Conforme descrito do capítulo 4), 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.

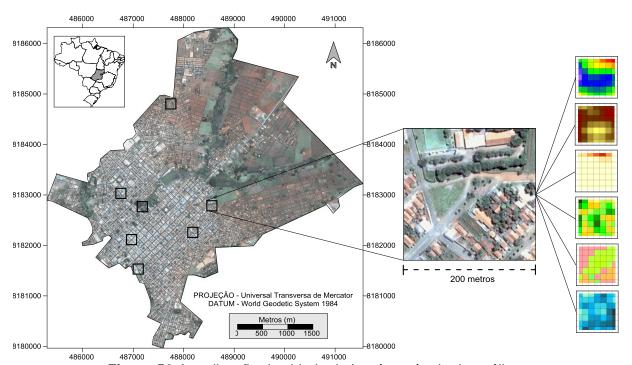


Figura 56. Localização da cidade de Iporá e método de análise.

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 das quais foram

confeccionados os mapas de temperatura do ar e umidade absoluta, com intuito de se analisar a evolução horária do campo termo-higrométrico.

No dia 21/10/14 (Figura 57) a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscilou em torno de 08º N a 10º N no Pacífico e em torno de 07º N a 09º N no Atlântico. Atuando na área de estudo uma massa de ar tropical continental (mTc) quente e seca.

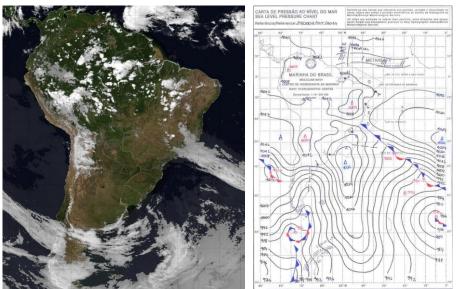


Figura 57. Atuação de massas de ar no dia 21/10/2014. **Fonte**: (INPE, 2014) e (BRASIL, 2014).

A temperatura do ar na estação do INMET (Figura 58) teve amplitude de 12,9°C, a mínima foi observada às 3 da manhã com 21,2°C e a máxima às 16 horas com 34,1°C. Os pontos 6 e 8 obtiveram temperatura do ar de 36°C às 15 horas. A umidade absoluta mínima ocorreu às 23h e as máximas das 10h às 12h. Amplitude diária foi de 15°C para temperatura do ar e de 5,2 g/m³ 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.

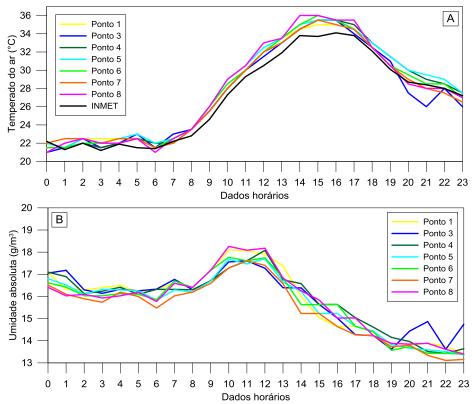


Figura 58. Variação da temperatura do ar (A) e da umidade absoluta (B) nos pontos de mensuração no dia 21/10/2014.

Na Tabela 6 tem-se a contribuição de cada variável, dentro da regressão, para explicar a variabilidade da temperatura do ar. Conforme a Tabela 6, em cada horário, diferentes variáveis foram utilizadas nas regressões. A Equação 44, correspondente ao horário das 19h, obteve o maior coeficiente de determinação (r² = 99,28) seguida pela Equação 46, às 21 h, com r² = 90,88. O menor coeficiente de determinação (66,1) foi observado na Equação 41, 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 46 (21 h). O índice de urbanização (IU) teve influência significativa em seis momentos, com maior influência na Equação 46 (21h). A altitude teve influência no entardecer, 16h, 18h 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 6. Contribuição de cada variável nos padrões horários da temperatura do ar.

Equação	Variáveis	r²	Influência (%)
	DD	0,43	43,59
Equação 40 (11h)	DD, IU	0,45	1,43
	DD, IU, DV*	0,90	45,69
Equação 41 (15h)	DV*	0,66	66,10
	DV	0,66	66,82
Equação 42 (16h)	DV, A	0,86	19,43
	DV, A, DD*	0,87	1,06
	IU	0,23	23,82
Equação 43 (18h)	IU, NDVI	0,24	0,2
Equação 45 (1011)	IU, NDVI, DD	0,28	4,06
	IU, NDVI, DD, A*	0,73	45,79
	Α	0,45	45,46
Equação 44 (19h)	A, DV	0,48	2,81
Lquação ++ (1511)	A, DV, DD	0,56	8,11
	A, DV, DD, IU*	0,99	42,89
Equação 45 (20h)	NDVI	0,73	73,63
Equação 40 (2011)	NDVI, IU*	0,76	2,90
	IU	0,86	86,49
Equação 46 (21h)	IU, NDVI	0,90	3,78
	IU, NDVI, OV*	0,90	0,61
Equação 47 (23h)	NDVI	0,71	71,46
	NDVI, IU*	0,71	0,14

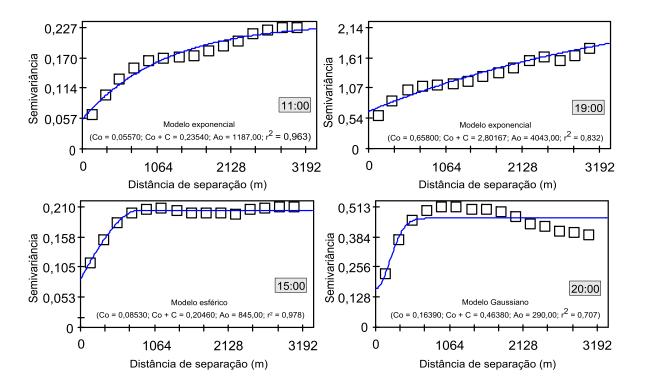
^{*}Variáveis utilizadas na regressão linear múltipla (p-value<0,05).

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-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 11h, 15h, 16h, 18h, 19h, 20h, 21h e 23h.

$$TEMP_{11h} = 29,86 + (0,279 \times DV) - (0,000190 \times DD) - (0,55 \times IU)$$
 Equação 40
 $TEMP_{15h} = 34,72 + (0,382 \times DV)$ Equação 41
 $TEMP_{16h} = 39,753 - (0,00808 \times A) + (0,201 \times DV) - (0,0000190 \times DD)$ Equação 42

$$TEMP_{18h} = 40,443 + (0,0128 \times A) - (0,00000786 \times DD) - (1,384 \times NDVI)$$
 Equação 43
$$TEMP_{19h} = 64,417 - (0,0539 \times A) - (0,751 \times DV) + (0,000211 \times DD)$$
 Equação 44
$$+ (0,914 \times IU)$$
 Equação 45
$$TEMP_{20h} = 29,729 - (5,464 \times NDVI) + (3,35 \times IU)$$
 Equação 45
$$TEMP_{21h} = 29.741 - (0,993 \times NDVI) - (0,00309 \times OV) + (6,478 \times IU)$$
 Equação 46
$$TEMP_{23h} = 27,422 - (5,162 \times NDVI) + (0,447 \times IU)$$
 Equação 47

As equações (Equação 40 a Equação 47) foram utilizadas para estimar os valores da temperatura do ar, posteriormente utilizou-se modelos semivariográficos para interpolar e espacializar a temperatura do ar. Na Figura 59 estão os melhores modelos obtidos para cada horário. O modelo exponencial foi utilizado em três horários; às 11h, 18h e 19h, o gaussiano também em três momentos; às 16h, 20h e 21h e o modelo esférico foi utilizado em duas circunstâncias; 15h e 16h. Nota-se que às 11h, 15h, 16h e 18h, período diurno, os semivariogramas tiveram r² elevado, acima de 0,9.



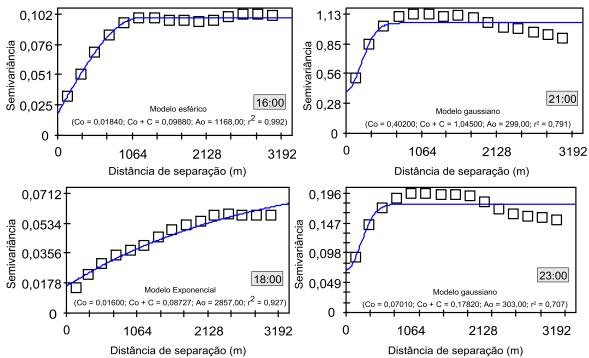


Figura 59. Modelos de semivariogramas utilizados para krigagem da temperatura do ar.

Após a krigagem da temperatura do ar e da umidade absoluta foram calculados os desvio térmicos (Figura 60) e higrométricos (Figura 63), conforme descrito na Equação 15.

Na Figura 60 nota-se modificação nos padrões térmicos a partir das 20h. No horário das 11h, 15h 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 16h, 18h e 19h os maiores desvios positivos foram observados nas áreas centrais da cidade. Entretanto, na área urbana às 20h, 21h e 23h os desvios estiveram com valores semelhantes, somente nas proximidades dos corpos d'água e áreas vegetadas os desvios foram maiores, neste caso desvios negativos. Conforme a Figura 60 os valores dos desvios variaram de -6°C a 5°C durante o dia 21/10/15.

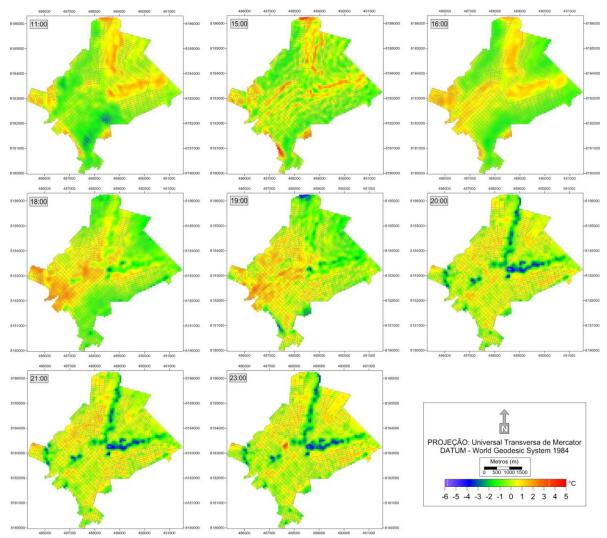


Figura 60. Espacialização dos desvios da temperatura do ar obtida pela regressão linear múltipla no dia 21/10/14.

Na Tabela 7 tem-se a contribuição de cada variável, dentro da regressão, para explicar a variabilidade da umidade absoluta. Conforme a Tabela 7, em cada horário, diferentes variáveis foram utilizadas nas regressões. A Equação 49, Equação 50, Equação 51, Equação 52 e Equação 54 obtiveram coeficientes de determinação acima de 0,97. O menor coeficiente de determinação (0,70) foi observado na Equação 48, às 1h, com a utilização de duas variáveis; A e IU.

As variáveis DD e DV tiveram influência somente na Equação 50 às 11h (Tabela 7), 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 Equação 53 e Equação 48, respectivamente. Entretanto, na somatória das influências, o NDVI foi a variável que mais contribuiu para explicar a variabilidade da umidade absoluta.

Tabela 7. Contribuição de cada variável nos padrões horários da umidade absoluta.

Equação	Variáveis	r²	Influência (%)
Equação 49 (1b)	А	0,62	62,44
Equação 48 (1h)	A, IU*	0,70	8,22
	OV	0,59	59,88
Equação 49 (2h)	OV, IU	0,63	4,07
Lquaça0 49 (211)	OV, IU, A	0,68	4,19
	OV, IU, A, NDVI*	0,99	31,15
	DV	0,24	24,50
	DV, OV	0,30	5,53
Equação 50 (11h)	DV, OV, A	0,50	20,20
	DV, OV, A, DD	0,81	31,65
	DV, OV, A, DD, IU*	0,99	17,90
	Α	0,54	54,53
Equação 58 (14h)	A, OV	0,72	17,96
Equação 56 (1411)	A, OV, IU	0,96	23,91
	A, OV, IU, NDVI*	0,98	2,16
	NDVI	0,89	89,91
Equação 52 (20h)	NDVI, IU	0,90	0,68
Lquação 32 (2011)	NDVI, IU, OV	0,95	5,33
	NDVI, IU, OV, A*	0,97	1,40
	IU	0,85	85,23
Equação 53 (21h)	IU, NDVI	0,85	0,03
	IU, NDVI, OV*	0,85	0,16
	NDVI	0,81	81,39
Equação 54 (23h)	NDVI, IU	0,84	2,78
Lquaça0 04 (2011)	NDVI, IU, A	0,98	14,05
·Variávois utilizadas	NDVI, IU, OV*	0,98	0,41

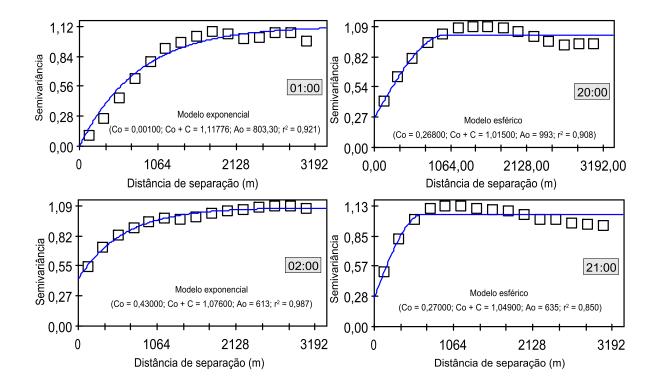
^{*}Variáveis utilizadas na regressão linear múltipla (*p-value*<0,05).

No dia 21 de outubro as equações que melhor explicaram a variabilidade da umidade absoluta foram a Equação 48 e a Equação 54. Em alguns horários, não foi possível, a obtenção de uma equação porque nestas 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 01h, 02h, 11h, 14h, 20h, 21h e 23h.

$$UMID_{01h} = 26,956 - (0,0177 \times A) - (1,222 \times IU)$$
 Equação 48
 $UMID_{02h} = 18,848 - (0,00385 \times A) - (2,579 \times NDVI) - (0,00124 \times OV) - (2,054 \times IU)$ Equação 49

$$\begin{array}{lll} \mathit{UMID}_{11h} = 2,244 + (0,0274 \times A) + (0,517 \times DV) - (0,000225 \times DD) - \\ (0,00650 \times OV) - (2,072 \times IU) & & & & & & \\ \mathit{UMID}_{14h} = 33,625 - (0,0251 \times A) - (2,235 \times NDVI) - (0,00994 \times OV) + \\ (1,731 \times IU) & & & & & & \\ \mathit{UMID}_{20h} = 15,526 - (0,00229 \times A) + (2,610 \times NDVI) - (0,00205 \times OV) + \\ (0,337 \times IU) & & & & & \\ \mathit{UMID}_{21h} = 13,745 + (0,417 \times NDVI) - (0,00075 \times OV) - (3,957 \times IU) & & & \\ \mathit{UMID}_{23h} = 22,411 - (0,0148 \times A) + (2,069 \times NDVI) - (0,00121 \times OV) - \\ (1,732 \times IU) & & & & \\ \mathit{Equação} 54 & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & \\ & & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & \\ & & & \\ & & \\ & & & \\ & & \\ & & \\ & & & \\$$

As equações (Equação 48 a Equação 54) foram utilizadas para estimar os valores de umidade absoluta, posteriormente utilizou-se modelos semivariográficos para interpolar e espacializar a umidade absoluta. Na Figura 61 estão os modelos semivariográficos 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 a menor distância utilizada. O modelo exponencial foi utilizado em quatro circunstâncias e o esférico em três.



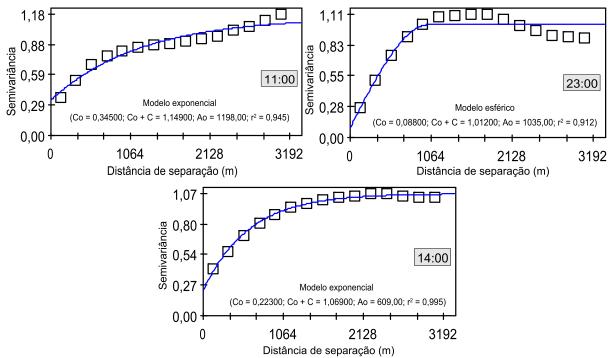


Figura 61. Modelos de semivariogramas utilizados para krigagem da umidade absoluta.

O alcance (limite no qual existe dependência espacial), obtido pelos semivariogramas, expressa a distância na qual existe dependência espacial entre as amostras. Na Figura 62 é representada a variação do alcance em relação a temperatura do ar e a 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 62, na qual se observa valores discrepantes ente a temperatura do ar e a umidade absoluta, a média do alcance foi de 1374 m para temperatura do ar e 841 m para umidade absoluta, com máximos de 4043 m e 1198 m, respectivamente.

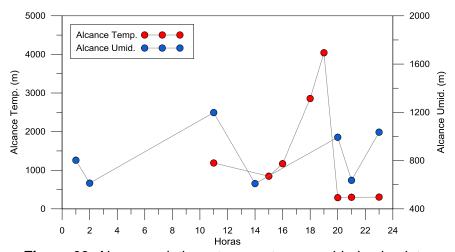


Figura 62. Alcance relativo a temperatura e umidade absoluta.

Os mapas da Figura 63 foram confeccionados a partir da krigagem obtida pelos semivariogramas da Figura 61. 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 uma relação direta entre a vegetação e umidade absoluta. No período noturno esse padrão persiste, talvez por causa do efeito fundo de vale nestas áreas. Nota-se que os desvios de umidade variaram de -3°C a 6°C.

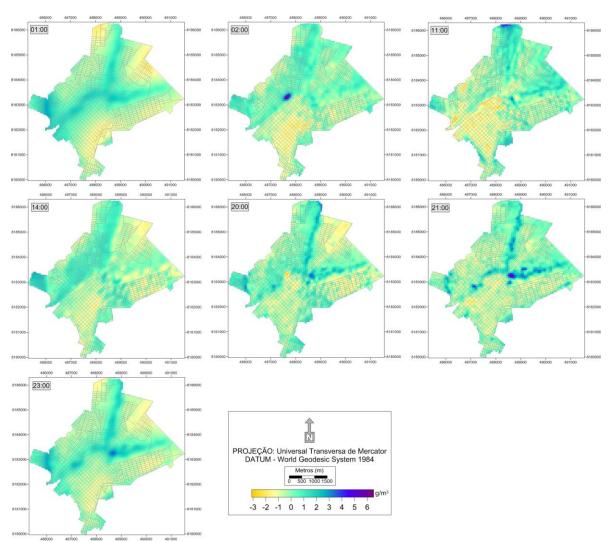


Figura 63. Espacialização dos desvios da umidade absoluta obtida pela regressão linear múltipla no dia 21/10/14.

6.4 Considerações

- 1 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.
- 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 Os semivariogramas da temperatura do ar, no período noturno, tiveram r² 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 r² foi inferior (0,85). O modelo exponencial foi o mais utilizado (quatro ocasiões).
- 4 O alcance, obtido pelos semivariogramas, apresentou grande variabilidade nos seus valores, variando de acordo com o horário do dia e com a variável observada.
- 5 Em relação aos padrões dos desvios da temperatura do ar, estes se diferenciaram em dois padrões, que representaram o período 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.

CAPÍTULO VII

7 ILHA DE CALOR URBANA EM CIDADE DE PEQUENO PORTE E A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS GEOURBANAS

A ilha de calor é um fenômeno relativamente complexo. Em grande parte, isso se deve à complicada natureza das áreas urbanas e padrões de condições meteorológicas, e também à maneira como esses fatores se interagem.(GARTLAND, 2010, p. 36).

7.1 Introdução

Nos centros urbanos, em áreas densamente construídas e com pouca vegetação, têm se observado que a temperatura do ar apresenta valores superiores aos da área rural (CHANG; GOH, 1999; MEMON; LEUNG; LIU, 2009; MONTÁVEZ; RODRÍGUEZ; JIMÉNEZ, 2000; SHASHUA-BAR et al., 2010; TING, 2012). Essa tendência em ocorrer aumento da temperatura do ar da área rural para o centro das cidades, por sua configuração espacial, caracteriza o fenômeno conhecido como ilha de calor urbana (OKE, 1981; SOUCH e GRIMMOND, 2006; MEMON, et al., 2009; GARTLAND, 2010).

Em 1833, Luke Howard hipotetizou que o excesso de calor nas cidades era causado, no verão, devido à maior absorção da radiação solar pelo conjunto de superfícies verticais da cidade e à falta de umidade disponível para evaporação (GARTLAND, 2010). As teorias de Howard eram surpreendentemente precisas.

Entretanto, existem várias outras razões que justificam o fenômeno das ilhas de calor: calor urbano gerado a partir do aquecimento; arrefecimento; transporte e processos industriais (GARTLAND, 2010); edifícios diminuem a velocidade média dos ventos, o que atrasa a transferência de energia das superfícies para o ar (ALCOFORADO et al., 2006; SZÜCS, 2013); a poluição do contribui porque as partículas no ar absorvem e emitem calor para as superfícies da cidade (GRIMMOND et al., 2002; OKE, 1987).

Quando se faz uma seleção dos estudos sobre o clima urbano, verifica-se que nas regiões e/ou ambientes mais afastados dos grandes centros de pesquisa o conhecimento nessa temática é escasso. Os estudos sobre as variações termo-

higrométricas nas áreas urbanas são antigos, porém, a grande maioria está focada nas grandes cidades, por apresentarem variações mais evidentes nos padrões dos elementos meteorológicos. Pouco se conhece sobre as características do clima urbano nas cidades de médio, e, principalmente, nas de pequeno porte (ALVES; SPECIAN, 2010b).

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi de analisar a variabilidade temporal e espacial das ilhas de calor em Iporá – Goiás, verificar a influência das variáveis geourbanas na determinação das ilhas de calor e com isso propor um modelo para se estimar a intensidade máxima da ilha de calor urbana.

7.2 Material e Métodos

Os dados apresentados referem-se ao período de coleta de 20 de outubro a 24 de novembro de 2014, com coletas de dados a cada 30 minutos. Os locais de medição da temperatura do ar podem ser observados na Figura 49.

Não existe um critério universal para o cálculo da intensidade de ilha de calor urbana (MARTIN-VIDE; SARRICOLEA; MORENO-GARCÍA, 2015; OKE, 2006), em muitos estudos esse cálculo foi realizado subtraindo a temperatura registrada no meio urbano pela temperatura de estações meteorológicas de aeroportos. Neste trabalho, baseando-se em Andrade (2003) e Lopes et al., (2013), considerou-se que existia ICU em Iporá sempre que a temperatura de um dos locais de coleta era superior à temperatura dos outros. A intensidade da ICU foi calculada como a diferença, num determinado momento, entre o local de maior temperatura (T_{maior}) e o local de menor temperatura (T_{menor}), conforme Equação 55.

$$ICU = T_{maior} - T_{menor}$$
 Equação 55

7.3 Resultados e Discussões

Na Figura 64 é apresentada a variação da ilha de calor (ICU) observada em lporá, para o período de 20/10 a 24/11 de 2014. Nota-se que neste período foi observado, em três dias, ICU de 3,5°C.

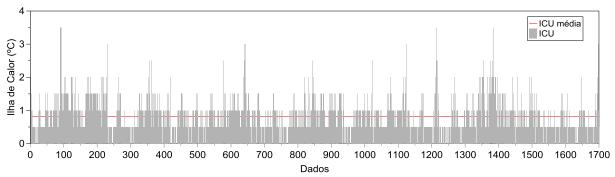


Figura 64. Padrões da intensidade da ICU no período de 20/10 a 24/11 de 2014.

Na Figura 65 é possível observar os padrões médios da ilha de calor em lporá, nota-se que a maior média da ICU foi verificada às 13h e 14h, com valor de 1,1°C, e o maior desvio padrão foi observado às 14h.

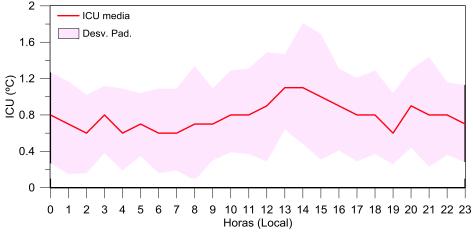


Figura 65. Valores médios e desvio padrão das ICU.

As ICU foram mais frequentes na intensidade 0,5°C e 1°C, totalizando 76% do número de ocorrências registradas. Normalmente, as ICU ocorrem em maior frequência nas classes de menores intensidades, isso já foi registrado em vários estudos (FIGUEROLA; MAZZEO, 1998; LOPES et al., 2013; MONTÁVEZ; RODRÍGUEZ; JIMÉNEZ, 2000). No horário das 22h e 2h da manhã ocorreram a maior quantidade de IC de 0,5°C. Às 13h foi observada elevada frequência na classe de 1°C. ICU nas classes de 3°C e 3,5°C ocorreram poucas vezes (Figura 66).

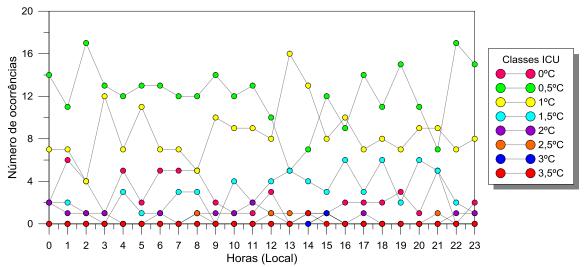


Figura 66. Número de ocorrências horárias de Ilhas de calor.

Normalmente as maiores intensidades das ilhas de calor tendem a ocorrer em dias sem nebulosidade, e em períodos sem chuvas (ELAGIB, 2011; MOHAN et al., 2012). A água precipitada, no momento que interage com a superfície aquecida, começa o processo de evaporação, liberando calor latente, tornando o ar menos aquecido, portanto, a intensidade da ICU tende a ser menor. Entretanto, em Iporá, essa relação não foi evidente, conforme a Figura 67.

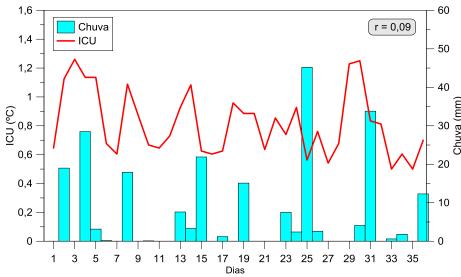


Figura 67. Relação entre Intensidade media diária da ilha de calor e total pluviométrico diário.

A maioria dos estudos de ilhas de calor urbana é realizada à noite (CHANG; GOH, 1999; MIHALAKAKOU et al., 2002; MONTÁVEZ; RODRÍGUEZ; JIMÉNEZ, 2000; SANTAMOURIS, 2007), relativamente, poucos estudos têm enfocado ilhas de

calor diurnas (GEORGAKIS; SANTAMOURIS; KAISARLIS, 2010; SANTAMOURIS, 2007).

Normalmente pela manhã, a diferença de temperatura entre áreas urbanas e rurais é geralmente menor. Essa diferença aumenta ao longo do dia conforme as superfícies urbanas absorvem radiação solar e a reemite em forma de ondas longas aquecendo o ar urbano. A intensidade da ilha de calor é geralmente mais elevada à noite, uma vez que as superfícies urbanas continuam a liberar calor e diminuem o arrefecimento durante o período noturno (TING, 2012).

Entretanto, os padrões das ICU foram semelhantes durante o dia e durante a noite, apresentando valores próximos, ambos os boxplots (Figura 68) obtiveram o mesmo valor máximo (3,5°C), e o intervalo dos 50% dos dados do período diurno e noturno foi o mesmo (0,5°C a 1°C), apenas o valor mediano foi diferente, 1°C para o dia e 0,5°C para a noite.

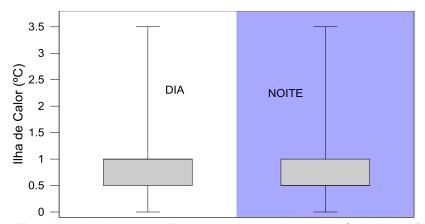


Figura 68. Ilha de calor durante o dia e durante a noite no período de 20/10/2014 a 24/11/2014. O intervalo horário do período diurno foi definido das 7h:30min às 19h:30min e noturno das 20h:00 às 7h:00 (hora local).

As ilhas de calor <2°C ocorreram, praticamente, na mesma proporção durante o dia e durante a noite (51,5% e 48,5%). Enquanto que as ICU>2°C, foram, significativamente, mais frequentes durante o dia (68,8%) que a noite (31,2%), conforme Figura 69.

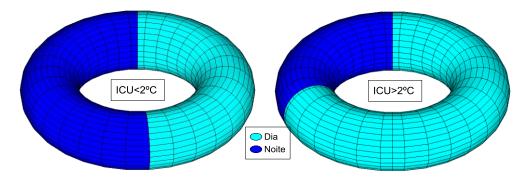


Figura 69. Ocorrências de ICU<2°C e ICU>2°C durante o dia e durante a noite.

7.3.1 Características das Ilhas de calor máximas (ICU_{max})

A ilha de calor máxima (ICU_{max}) observada foi de 3,5°C e ocorreu em cinco momentos, em três dias (21 de outubro, 14 e 18 de novembro de 2014). Conforme Figura 70 as ICU_{max} do dia 21/10 ocorreram no horário das 20h30min, 21h e 21h30min. Enquanto que no dia 14/11 ocorreu à tarde (14h) e no dia 18/11 no horário das 02h30min.

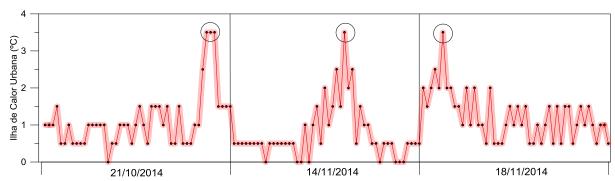


Figura 70. Padrão da ilha de calor máxima no dia 21/10, 14/11 e 18/11 de 2014.

Nos dias de ocorrência das ICU_{max} o valor máximo da temperatura do ar foi de 34,1°C no dia 21 de outubro (Figura 71). Houve precipitação no final do dia 21, assim como, no dia 14 de novembro, com tendência a homogeneização das variáveis: temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, e ausência de radiação durante sua ocorrência. A amplitude térmica foi pequena, com valores de temperatura do ar baixos e umidade relativa elevada. No dia 18/11 a temperatura esteve elevada, a umidade relativa baixa e uma área maior na curva da radiação solar. Esses padrões térmicos e higrométricos são oriundos das diferentes massas de ar atuantes.

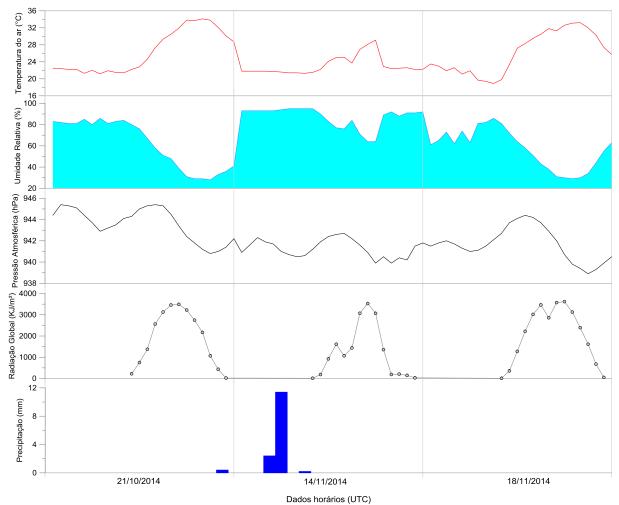


Figura 71. Variação dos dados meteorológicos da estação automática de Iporá do INMET nos dias de ocorrência de ICU_{max}.

Na Figura 72A observa-se que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscilou em torno de 08°N/10°N no Pacífico e em torno de 07°N/09°N no Atlântico. Observa-se que parte do continente foi influenciado por uma circulação anticiclônica (entre 05°- 20°S, aproximadamente), cujo centro não esteve bem definido. No dia 14/11/14 (Figura 72B) a ZCIT oscilou em torno de 08°N/10°N no Pacífico e no Atlântico e nota-se escoamento confluente entre o norte de Mato Grosso, sul de Tocantins, norte de Goiás, sul da Bahia, Minas Gerais, que foi favorecido pela difluência em altitude e favorecem a formação de áreas de instabilidade. Na Figura 72C verifica-se um centro ciclônico em Rondônia e outro entre o nordeste de Goiás e o sudeste de Tocantins, que gerou convergência de massa de ar e consequente levantamento do ar, formando nebulosidade. A ZCIT oscilou em torno de 08°N/09°N no Pacífico e em torno de 07°N/08°N no Atlântico (VIDAL, 2014).

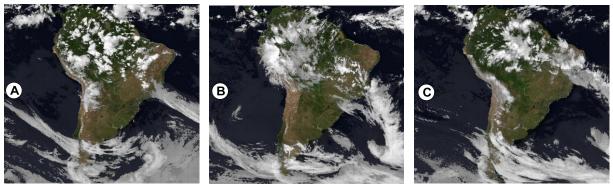


Figura 72. Atuação de massas de ar no dia 21/10/ (A), no dia 14/11 (B) e 18/11 (C) de 2014. **Fonte**: (INPE, 2014).

7.3.2 Regressão linear múltipla das ilhas de calor máximas do dia 21/10/2014

Com o intuído de se observar o padrão da ICU durante sua ocorrência de maior intensidade, calculou-se as regressões lineares múltiplas referentes ao horário das 20h30min, 21h e 21h30min do dia 21/10/2014. Na Tabela 8 tem-se a contribuição de cada variável geourbana para explicar a variabilidade da ICU_{max}. As variáveis NDVI e IU estiveram presentes nas três equações (Equação 56, Equação 57 e Equação 58) e foram as variáveis mais influentes. Na Equação 56 o NDVI explicou 92,3% da variabilidade espacial da ilha de calor das 20h30min, o IU na Equação 57 contribuiu com 86,5% e na Equação 58, correspondente às 21h30min, explicou 88,4% da variabilidade da ilha de calor. Todas as equações tiveram r²>0,9.

Tabela 8. Contribuição de cada variável no padrão das ilhas de calor urbana máxima.

Equação	Variáveis	r²	Influência (%)
	NDVI	0,923	92,36
Equação 56	NDVI, IU	0,927	0,29
	NDVI, IU, DD*	0,932	0,53
	IU	0,865	86,5
Equação 57	IU, NDVI	0,902	3,78
	IU, NDVI, OV*	0,908	0,61
Equação 58	IU	0,884	88,41
Equação oo	IU, NDVI*	0,925	4,10

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

Equações obtidas por meio da regressão linear múltipla:

$$ICU_{20h30min} = 29,84 + (0,0000753 \times DD) - (13,510 \times NDVI) + (0,744 \times IU)$$
 Equação 56
 $ICU_{21h} = 29,741 - (5,933 \times NDVI) - (0,00309 \times OV) + (6,478 \times IU)$ Equação 57

$$ICU_{21h30min} = 28,927 - (7,302 \times NDVI) + (5,508 \times IU)$$

Equação 58

O modelo semivariográfico utilizado para a krigagem da ilha de calor urbana às 20h30min (Figura 73) foi um modelo exponencial, com r^2 de 0,69, com 0,06 de efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) de 1,23, indicando que deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras. A dependência espacial da ICU, obtida por meio do alcance (A_0), foi de 188 m. Para a krigagem da ICU das 21h usou-se o modelo Gaussiano, com $r^2 = 0,78$, o efeito pepita foi de 0,48, o patamar de 1,13 e dependência espacial de 295 m, distância máxima na qual existe influência do espaço para cada ponto. Para às 21h30min horas foi obtido o melhor modelo semivariográfico com r^2 no valor de 0,94, $C_0 = 0,82$, $C_0 + C = 2,69$, a distância máxima de dependência espacial foi 758 m.

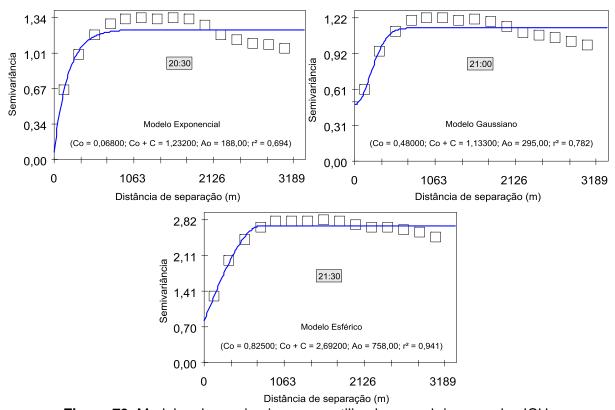


Figura 73. Modelos de semivariogramas utilizados para krigagem das ICU.

Os modelos semivariográficos (Figura 73) foram utilizados para krigagem das ICU, os mapas resultantes podem ser observados na Figura 74. Os padrões das ICU foram semelhantes nos três horários. Nota-se que uma área localizada no sudoeste dos mapas esteve, nos três horários, com ilha de calor de forte intensidade, local correspondente ao centro da cidade de Iporá, tendo o seu pico às 21h30min. Além

disso, os padrões espaciais das ICU<0, também denominada de ilha de frescor urbana (IFU), se mantiveram.

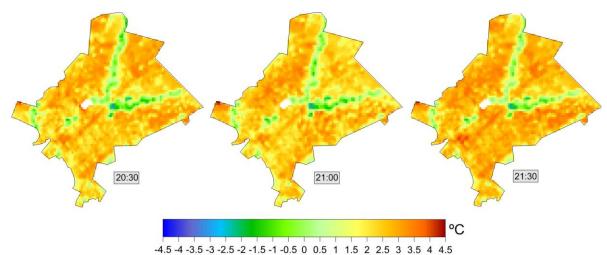
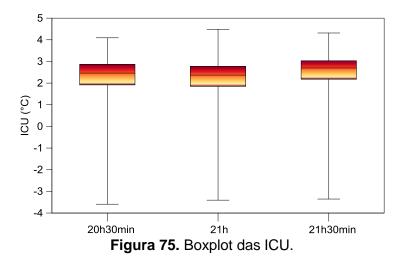


Figura 74. Ilhas de calor urbanas estimadas no dia 21/10/14 no horário das 20h30min, 21h e 21h30min.

Conforme os *bloxplots* da Figura 75 o maior valor da mediana foi observado na ICU das 21h30min (2,7°C), enquanto que o valor máximo foi verificado às 21h (4,5°C). Nota-se que os maiores valores correspondentes aos 50% dos dados foram observados às 21h30min (2,2°C a 3°C), enquanto que às 20h30min e às 21h o intervalo foi inferior, com 1,9°C a 2,8°C e 1,8°C a 2,8°C, respectivamente. Portanto, o bloxplot confirma o aumento na intensidade da ICU às 21h30min em relação às ICU das 20h30min e 21h.



A ilha de calor urbana é frequentemente considerada como o fator mais importante que influencia o meio urbano e seus arredores (JAUREGUI, 1997;

LOPES et al., 2013; OKE, 1973). No entanto, o fenômeno conhecido como ilha de frescor urbana também podem ocorrer nas cidades e produzir efeitos significativos. O efeito da ilha de frescor urbana foi detectado pela primeira vez por Hu, Su e Zhang (1988), com base nas análises das características do microclima de um reservatório na Região Hexi, na China.

Mesmo em momento de ocorrência de ICU_{max}, Podem ocorrer as ilhas de frescor, este fato pode ser observado na Figura 76 que é constituída pela sobreposição da ICU em relação a imagem do satélite Rapideye de 2011 e ao relevo em três dimensões. Observa-se que as áreas localizadas nos fundos de vale apresentaram os menores valores, o que sugere uma drenagem de ar frio, conforme o estudo de (LOPES, 1995), no qual uma das principais conclusões que se chegou foi que os lagos de ar frio em Oeiras - Portugal que se formaram nas áreas topograficamente mais deprimidas, tiveram dupla alimentação, por meio do arrefecimento do ar formado *in situ*, por irradiação e, por outro lado, devido ao ar frio que se formou nos setores superiores das vertentes drenado pela força da gravidade (LOPES, 1995).

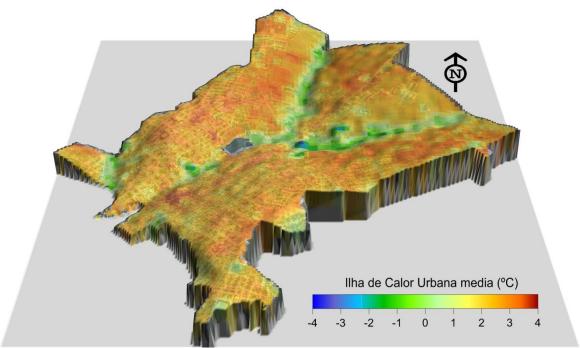


Figura 76. Ilha de calor urbana média do horário das 20h30min, 21h e 21h30min do dia 21/10/14.

Com o intuito de quantificar a área de cada classe de ilha de calor urbana elaborou-se a Figura 77. As classes ICU $> 1^{\circ}C$ tiveram área de 14,91 km², o que

corresponde a 90% da área urbana. As classes de ICU $< 1^{\circ}C$ possuíram área de 1,67 km², que corresponde a 10% da área total. Portanto houve predominância de ilha de calor nas classes de maior intensidade. As ilhas de frescor (Classes com ICU $< 0^{\circ}C$), conforme observado na Figura 76, se concentraram nos fundos de vale, com áreas vegetadas e com corpos d'água.

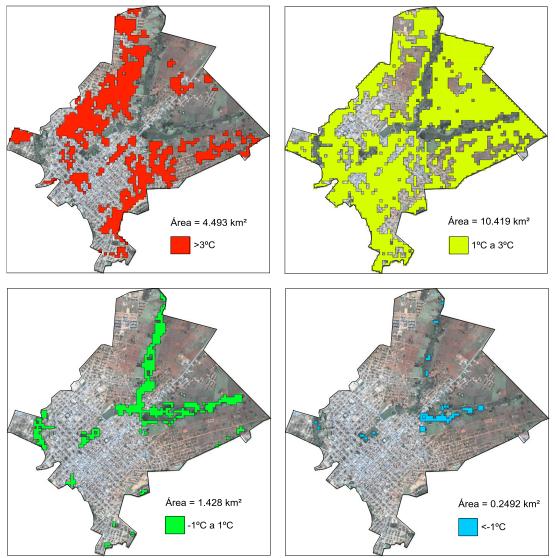


Figura 77. Classes da Ilha de calor media do horário das 20h30min, 21h e 21h30min do dia 21/10/14.

7.4 Considerações

A ilha de calor em pequenas cidades apresenta configuração espacial e temporal diferentes das grandes cidades. As intensidades e os padrões térmicos tendem a ser menores. Destaca-se também que:

- 1 A análise das diferenças térmicas entre os pontos de coleta revelou que as ICU foram mais frequentes na intensidade 0,5°C e 1°C, totalizando 76% do número de ocorrências registradas para todo o período.
 - 2 Os padrões da ICU foram semelhantes durante o dia e durante a noite.
- 3 As ilhas de calor <2°C ocorreram na mesma proporção durante o dia e durante a noite.
- 4 A ilha de calor máxima (ICU_{max}) observada foi de 3,5°C, ocorrendo 5 vezes.
- 5 As variáveis geourbanas NDVI e IU foram as variáveis que mais contribuíram para explicar a variabilidade da ICU_{max}.
- 6 Foi observada que uma área localizada no sudoeste da cidade de Iporá centro da cidade, apresentou frequentemente a ICU máxima.
- 7 Observou-se que as áreas localizadas nos fundos de vale apresentaram os menores valores térmicos, o que sugere uma drenagem de ar frio, conforme definido por (LOPES, 1995).
- 8 Durante a ocorrência de ICU_{max} constatou-se que as classes de ICU $> 1^{\circ}C$ tiveram área de 14,91 km², o que corresponde a 90% da área urbana.

8 O URBANO E O RURAL: ANÁLISE DOS DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

[...] cidade e campo se caracterizam por representar concentração e dispersão [...]. Urbano e rural se distinguem por serem atributos e constituintes, condições e condicionantes. Enfim, cidade e campo são formas espaciais. Urbano e rural possuem, [...] uma dimensão processual, são conteúdo e contingente. (WHITACKER, 2010, p. 191).

8.1 Introdução

A proporção da população mundial que vive em áreas urbanas está aumentando em ritmo crescente. A fim de garantir a sustentabilidade urbana, é necessário melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e reduzir o impacto das cidades sobre os recursos fora do espaço urbano (PACIONE, 2003).

As atividades humanas em geral e a urbanização em particular, acarretam modificações climáticas em escala local (FIGUEROLA; MAZZEO, 1998; LOPES et al., 2013).

Muitos dos poluentes contribuem seletiva e eficazmente para o aprisionamento das radiações de grande comprimento de onda, nomeadamente as da banda do infravermelho, é lícito afirmar que as ações antrópicas têm concorrido diretamente em alterar a composição química da atmosfera e, indiretamente, para modificar os padrões dos elementos do sistema climático em escala local (BALKESTAHL, 2009).

Os climas das cidades são climas locais altamente modificados, que muitas vezes são caracterizados por apresentarem maior temperatura, umidade baixa, elevada precipitação e ventos mais fracos que as áreas rurais circundantes. Estas diferenças variam de acordo com diversos fatores, tais como: a presença de áreas industriais que emitem calor e/ou excessivos poluentes, a densidade urbana, a orientação das ruas, topografia, população das cidades, quantidade de áreas verdes e tipo e forma dos edifícios (ALVES; SPECIAN, 2010a; BULUT et al., 2008; LOPES et al., 2013; OKE, 1987).

Muitos estudos sobre as diferenças climáticas urbanas e rurais têm sido realizados desde o trabalho Howard, que relatou que a cidade de Londres, a noite, foi 3,7 °C mais quente e durante o dia foi 0,34 °C mais fria que a área rural no início de 1800 (HOWARD, 1818).

Há muitas diferenças no uso e ocupação do solo da área urbana e da área rural. Essas diferenças ocasionam padrões distintos dos elementos meteorológicos. Dessa maneira o objetivo desta pesquisa foi de analisar as características dos padrões dos elementos meteorológicos de duas estações meteorológicas instaladas na área urbana e na área rural do município de Iporá – GO.

8.2 Material e Método

Os dados meteorológicos utilizados foram registrados por duas estações meteorológicas automáticas do tipo "Vantage PRO 2" da marca "Davis Instruments". Esta estação meteorológica coleta e registra os valores das seguintes variáveis meteorológicas: temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, radiação solar, precipitação, velocidade e direção do vento. Com o intuito de comparar as diferenças nos valores das variáveis meteorológicas existentes entre a cidade e o campo de Iporá – GO, os locais foram escolhidos conforme Oke (2006) e conforme a localização da ICU máxima observada nos locais de mensuração.

A estação meteorológica urbana (EMU) foi instalada nas coordenadas - 16,442511° e -51,122145° e a estação meteorológica rural (EMR) nas coordenadas - 16,48562° e -51,151492°, projeção Geográfica, Datum: WGS84, conforme Figura 78.

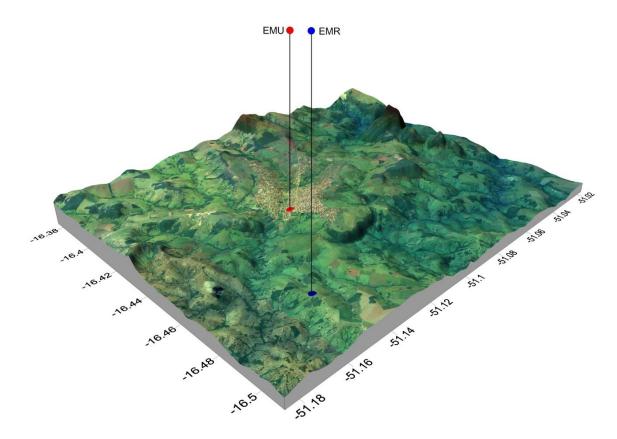


Figura 78. Localização da estação meteorológica urbana (EMU) e rural (EMR) em Iporá-GO.

8.2.1 Obtenção do Fator de visão do céu (FVC)

O fator de visão do céu (FVC) é uma estimativa da área visível do céu a partir de um ponto de observação na malha urbana e está relacionado com diversas questões ambientais urbanas (SOUZA et al., 2010). O FVC é representado por valor entre 0 e 1, quando existem obstáculos que ocultam o hemisfério o valor do FVC diminui, até atingir o valor 0 (obstrução total). Mas se todo o hemisfério é visível, o FVC será igual a 1.

O FVC é uma das principais causas da ilha de calor urbana, conforme apontado por (OKE, 1982). O resfriamento das superfícies terrestres é proporcional à área de céu visível para um ponto nessa superfície (SOUZA et al., 2010).

Existem diversas formas de se obter o FVC, seja por processos analíticos, por fotografia, por processamento de imagens, por diagramas ou por gráficos (SOUZA et al., 2010). Tanto pelo processo analítico, como pelo uso de diagramas e gráficos, é necessária uma base de dados angulares relativos às edificações existentes no entorno urbano, sendo esta uma das problemáticas mais constantes nesse tipo de determinação (SOUZA et al., 2010).

Tendo em vista a falta de dados, na maioria das cidades de pequeno porte, para o cálculo do FVC da estação meteorológica urbana utilizou-se o seguinte procedimento (Figura 79): inicialmente a partir da imagem do Google Earth criou-se polígonos delimitando os edifícios próximos a estação meteorológica (Figura 79A); posteriormente foram estimadas as alturas dos edifícios no *software* ImageJ, tendo como base a altura de uma pessoa (Figura 79B), finalmente no *software* SkyHelios 1.2 calculou-se o fator de visão do céu.

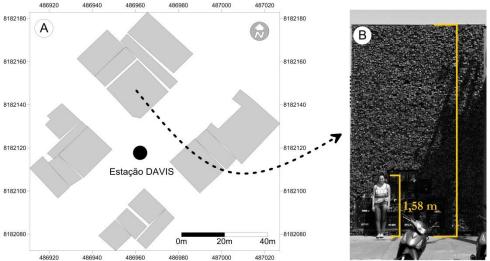


Figura 79. Método utilizado para obtenção do fator de visão do céu: criação de polígonos a partir da imagem do Google Earth (A), estimativa da altura dos edifícios.

8.2.2 Cálculo das diferenças

As diferenças entre os valores das variáveis meteorológicas da estação urbana e da estação rural foram calculadas conforme a Equação 59.

$$\Delta V = V_{Urbana} - V_{Rural}$$
 Equação 59

Em que V_{Urbana} é o valor da variável meteorológica da estação urbana e V_{Rural} o valor da variável meteorológica da estação rural. Neste estudo utilizou-se as variáveis: radiação solar; temperatura do ar; pressão; umidade relativa; velocidade e direção do vento. Quando as diferenças da temperatura do ar foram positivas considerou-se a presença de ilha de calor urbana.

Também foi realizado o Teste t para dados pareados, com o intuito de verificar se as diferenças entre as médias dos dados da EMU e da EMR eram

estatisticamente significativas. Para tanto, estabeleceu-se nível de significância de 5% no seguinte teste de hipóteses:

$$H_0$$
: = μ_D = 0 Equação 60

$$H_0$$
: = $\mu_D \neq 0$ Equação 61

Em que μ_D é a diferença dos valores das amostras.

8.3 Resultados e Discussões

Muitos pesquisadores assumem que em escala microclimática, em espaços abertos, a geometria urbana é o parâmetro mais relevante pela variação microclimática (BOURBIA; BOUCHERIBA, 2010; OKE, 1981; SOUZA et al., 2010).

Bourbia e Boucheriba (2010) em Constantina, na Argélia, observaram que, com poucas exceções, quanto maior era o FVC maior era a temperatura do ar observada.

Oke (1981) desenvolveu um modelo que relaciona o FVC com a intensidade máxima da ilha de calor. Desenvolvido por regressão linear, com $r^2 = 0.88$ e erro de ± 0.92 °C, o modelo de Oke (1981) é expresso pela Equação 62.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 15,27 - 13,88 \times \Psi_s$$
 Equação 62

Em que $\Delta T_{u-r(max)}$ é a intensidade máxima da ilha de calor e Ψ_s é o fator de visão do céu.

Quando a ICU máxima ocorre após o por do sol, esta relação revela que a ICU está fortemente relacionado com a perda de radiação de onda longa pela visão restrita do céu, ou seja, baixo FVC. Mas a ICU máxima também pode ocorrer durante o dia (YANG; LAU; QIAN, 2010).

Entretanto, Souza et al. (2010) em estudo realizado em uma fração urbana da cidade de Bauru – SP, concluiu algo diferente da maioria dos estudos. A autora destaca que uma das conclusões mais importantes e ao mesmo tempo polêmicas

levantadas pela pesquisa foi o fato de não ter sido encontrada relação linear constante que cause o decréscimo de temperatura à medida que o FVC aumente.

Portanto, saber o FVC é importante, pois esta é uma das variáveis que podem influenciar significativamente a intensidade da ICU. Os edifícios próximos a estação meteorológica urbana (Figura 80) possuem altura que variam de 3 m a 10 m, com fator de visão do céu de 0.821.

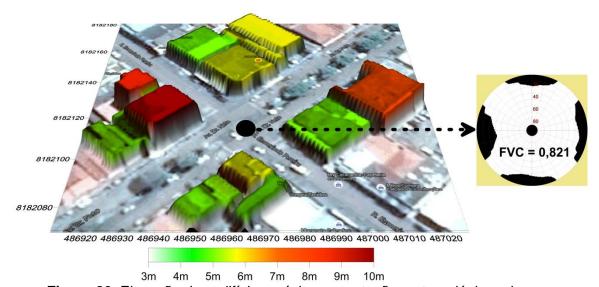


Figura 80. Elevação dos edifícios próximos a estação meteorológica urbana.

No âmbito climático o espaço urbanizado modifica os balanços de energia, massa e momentum e conduz para a modificação dos estados de todos os parâmetros atmosféricos (OKE, 1987). Nas grandes cidades essas modificações são facilmente detectadas, a radiação solar, temperatura, pressão, umidade, precipitação, velocidade e direção do vento têm padrões diferentes no meio urbano:

- 1) A radiação solar global, nas cidades, é reduzida de 15% a 20% (LANDSBERG, 1981; OKE, 1987).
 - 2) A temperatura nas cidades é superior (LANDSBERG, 1981; OKE, 1987).
- 3) A pressão atmosférica é inferior, devido às elevadas temperaturas nas cidades em relação aos seus arredores (LANDSBERG, 2011; LOMBARDO, 1985).
- 3) A precipitação na área urbana é relativamente superior às demais áreas (LOWRY, 1998)(JAUREGUI; ROMALES, 1996).
- 4) A umidade relativa é inferior nas cidades (JARDIM, 2011; KIM; BAIK, 2002).

 A estrutura e morfologia urbana condicionam a movimentação do ar direcionando e reduzindo de 10% a 30% a velocidade do vento (LOPES; SARAIVA; ALCOFORADO, 2011; OKE, 1987).

A partir da comparação dos dados da EMU com os dados da EMR (Figura 81) obteve-se os efeitos do meio urbano nas variáveis meteorológicas. Constatou-se (conforme Figura 81) que a cidade de Iporá, mesmo se tratando de uma cidade pequena, modifica seus parâmetros atmosféricos. Foram observadas diferenças positivas da temperatura em 65,2% dos dados, ou seja, em 62% das observações a temperatura do ar da EMU foi superior à temperatura do ar da EMR. As diferenças da umidade relativa foram negativas em 61,3% das observações, para a pressão atmosférica todas as diferenças foram negativas, em relação a radiação solar global 66% das diferenças foram negativas e para a velocidade do vento 95% das observações também foram negativas.

Em todas as comparações dos conjuntos de dados da EMU com os dados da EMR o *p-value* obtido pelo teste t foi menor que o nível de significância de 5% Portanto, a hipótese nula deve ser rejeitada, pois a diferença de médias é significativa. Isso confirma o que tem sido observado nos estudos de climatologia urbana para grandes centros urbanos.

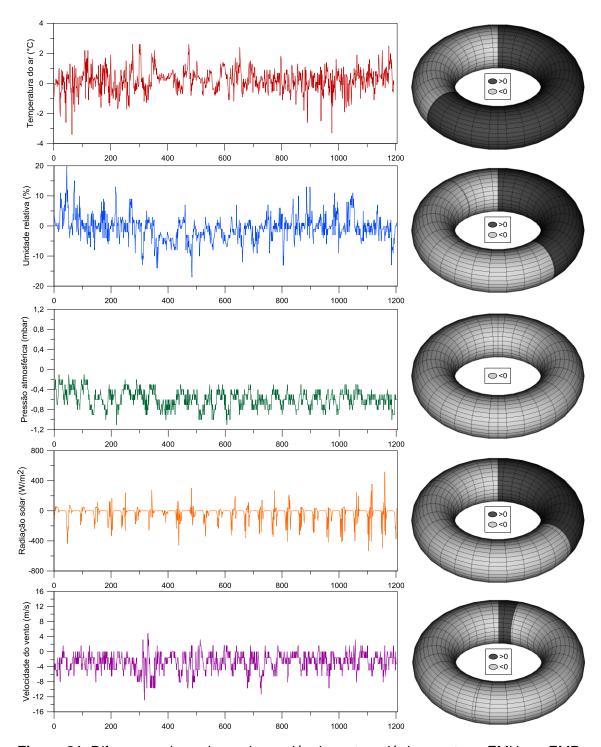


Figura 81. Diferenças dos valores das variáveis meteorológicas entre a EMU e a EMR.

A direção da velocidade do vento na EMU e na EMR pode ser observada na Figura 82. Na Figura 82A tem-se a direção dos ventos na EMU sobreposta aos polígonos dos edifícios, nota-se que a maior frequência de ventos ocorreu na direção noroeste, o que parece ser fruto da orientação da rua, que está neste mesmo sentido, canalizando o fluxo de ar, conforme descrito por Gandemer (1975). Enquanto que na EMR a direção predominante foi de leste.

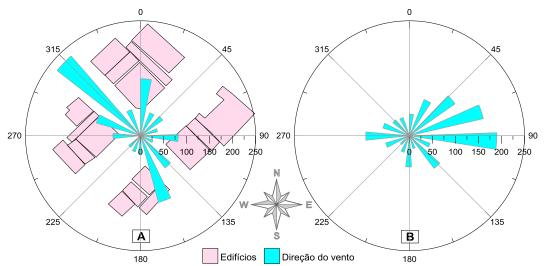


Figura 82. Direção dos ventos na estação meteorológica urbana (A) e na estação rural (B).

O número de observações das diferenças das variáveis da EMU e da EMR, para cada horário, pode ser observado na Figura 83. As diferenças (positivas) da temperatura do ar mostraram que a maior quantidade de observações ocorreu no inicio da noite (18h, 18h30min e 19h), enquanto que as menores quantidades foram observadas no período da manhã (8h e 8h30min).

Para a umidade relativa não houve um horário específico de ocorrência das maiores quantidades de observações (negativas), entretanto, as menores quantidades foram encontradas no horário das 16h30min e 19h. Quanto a radiação solar global, no horário das 6h30min, 11h e 11h30min foram constatadas as menores quantidades de observações (negativas), as maiores quantidades foram detectadas das 7h às 10h30min. No gráfico das diferenças da velocidade do vento (negativas) ficou nítido que as maiores quantidades foram verificadas no período diurno, portanto, no período noturno, ocorreram as menores quantidades, conforme observado por Papanastasiou e Kittas (2012).

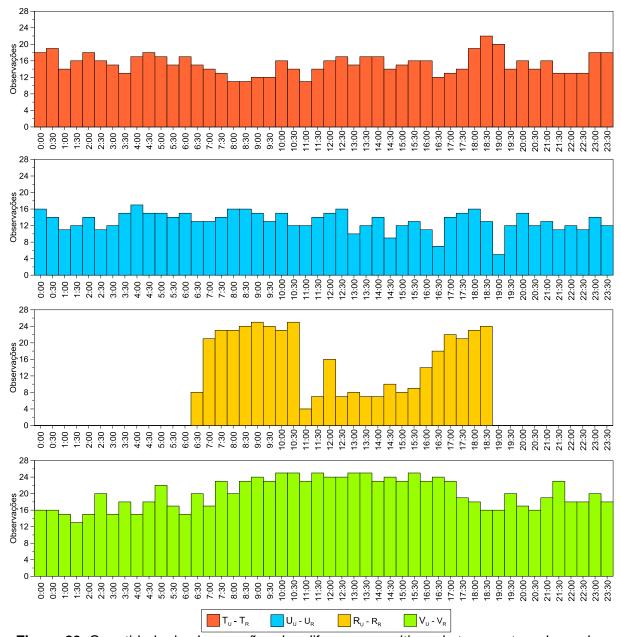


Figura 83. Quantidade de observações das diferenças positivas da temperatura do ar, das diferenças negativas da umidade relativa, das diferenças negativas da radiação solar global e das diferenças negativas da velocidade do vento.

8.3.1 As ilhas de calor e suas características

A ilha de calor varia de acordo com o horário do dia, devido à variação da radiação solar e sua interação com a superfície urbanizada. Os maiores valores médios foram observados no período noturno, principalmente entre os horários das 20h e 23h, enquanto que as menores médias foram verificadas à tarde, depois das 13h. As ilhas de calor máximas ocorreram em diferentes horários: às 8h30min; 11h;

20h e 21h30min. Às 13h ocorreu o menor desvio positivo, os maiores desvios foram observados nos horários das 11h, 11h30min e 21h30min (Figura 84).

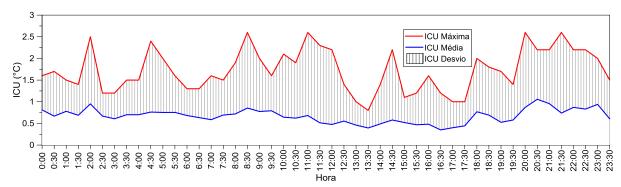


Figura 84. Ilha de calor média, máxima e desvio positivo.

As ilhas de calor observadas por meio das estações meteorológicas ocorreram, praticamente, com a mesma frequência durante o dia e durante a noite, 50,5% e 49,5% respectivamente. As ICU de 0°C a 1°C foram mais frequentes durante o dia (55,4%). Entretanto as ocorrências de ilhas de calor com intensidade superior a 1°C são, preponderantemente, superiores no período noturno (67,1%). Esses resultados mostram que as ilhas de calor, em geral, ocorrem com a mesma frequência de dia e a noite, contudo, ICU de menores intensidades são mais frequentes durante o dia, e as ICU de maiores intensidades são mais frequentes à noite, conforme Figura 85.

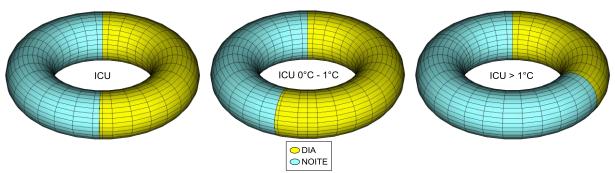


Figura 85. Ilha de calor durante o dia e durante a noite. O intervalo horário do período diurno foi definido das 7h30min às 19h30min e noturno das 20h às 7h (hora local).

Segundo Kim e Baik (2002) a umidade relativa do ar (UR) é um importante fator preditor da ilha de calor urbana. Segundo os autores, em estudo realizado em Seoul na Coréia do Sul, a umidade relativa apresentou correlação negativa com a intensidade da ilha de calor.

Em Iporá, a relação entre a ilha de calor urbana e a variação da umidade relativa entre a EMU e a EMR, também apresentou correlação negativa (Figura 86), com coeficiente de determinação de 0,37 e coeficiente de correlação de -0,76. Essa relação ocorre por causa do resfriamento evaporativo, oriundo da evaporação a partir da superfície urbana, no qual a temperatura do ar diminui, e a umidade relativa aumenta devido a um aumento da pressão de vapor de água e uma diminuição da pressão de saturação do vapor de água. Assim, a intensidade da ICU tende a reduzir quando a umidade relativa aumenta.

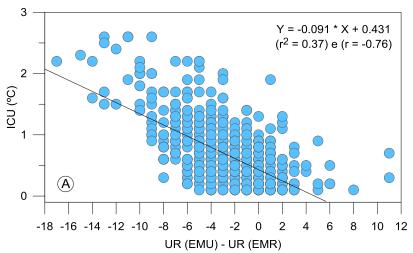


Figura 86. Relação entre a ilha de calor urbana e a diferença da umidade relativa entre a EMU e a EMR.

8.3.1.1 As ilhas de calor e o regime dos ventos

Foi analisada a relação da intensidade da ICU e a velocidade do vento e verificou-se uma redução, já esperada, da intensidade da ICU quando o vento foi superior a 5 m/s (Figura 87). No entanto, a ICU ainda persistiu e se observou intensidade superior a 2°C sob velocidades do vento de 9 m/s. Resultado semelhante foi observado por Alcoforado et al. (2014) e Lopes et al. (2013).

Notou-se que com ventos inferiores a 4 m/s ocorreram a maior quantidade de ICU, o que já foi constatado em diversos estudos (CAMILLONI; BARRUCAND, 2012; LOPES et al., 2013; OKE, 1987), porém essa relação deve ser observada atentamente, pois a menor ocorrência de ilhas de calor com ventos acima de 4 m/s pode estar relacionada, a um fator básico: a menor ocorrência de ventos acima desta velocidade. Na Figura 88 essa questão pode ser observada.

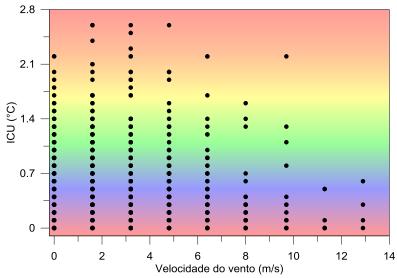


Figura 87. Relação entre a intensidade da ICU e a velocidade do vento.

Portanto para se verificar, pormenorizadamente, a relação da porcentagem das observações das classes das ilhas de calor com a frequência relativa das classes de velocidade do vento elaborou-se os gráficos da Figura 88. Notou-se que para o conjunto de todas as ocorrências das ICU, as classes de ventos de 2 m/s a 4 m/s e 4 m/s a 6 m/s tiveram a maior frequência relativa. Sobre as ICU de 0°C a 1°C a maior frequência relativa ocorreu nos maiores intervalos de classe da velocidade do vento. Para as ilhas de calor de 1°C a 2°C as classes de ventos de 0 m/s a 2 m/s e 2 a 4 m/s apresentaram as maiores frequências relativas.

As ICU de maior intensidade (>2°C) tiveram uma frequência relativa maior na classe de 2 m/s a 4 m/s, enquanto que nas outras classes a variação foi baixa, fato já observado por (LOPES et al., 2013). As características observadas na Figura 87 e Figura 88 revelam que quando se observa, apenas, a relação da ilha de calor com a velocidade do vento, esta pode fornecer evidências que devem ser averiguadas com atenção, pois podem estar relacionadas, muito mais, com a frequência dos ventos – fato constatado nesta pesquisa.

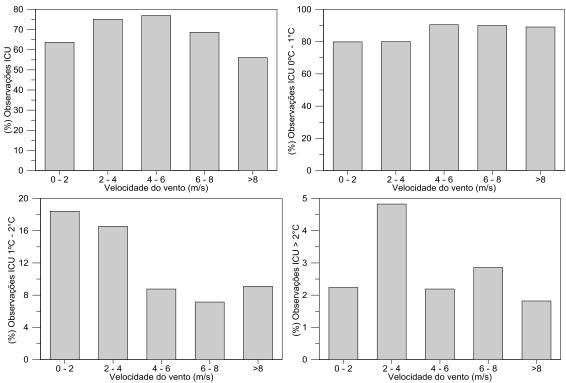


Figura 88. Observações das ilhas de calor em relação à frequência relativa das classes da velocidade do vento.

8.4 Considerações

- 1 Constatou-se que a cidade de Iporá, mesmo se tratando de uma cidade pequena, modifica seus parâmetros atmosféricos. Foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os dados da EMU e da EMR. Portanto, as diferenças dos valores das variáveis meteorológicas da EMU com a EMR confirmaram o que tem sido observado nos estudos de climatologia urbana para grandes centros urbanos.
- 2 A maior frequência de ventos na EMU ocorreu na direção noroeste, o que parece ser fruto da orientação da rua, que está neste mesmo sentido, canalizando o fluxo de ar. Enquanto que na EMR a direção predominante foi de leste.
- 3 A ilha de calor variou de acordo com o horário do dia: os maiores valores médios foram observados no período noturno, principalmente entre os horários das 20h e 23h, enquanto que as menores médias foram verificadas à tarde.
- 4 Os resultados mostraram que as ilhas de calor, em geral, ocorreram com a mesma frequência de dia e a noite. Porém, ICU de menores intensidades foram mais frequentes durante o dia, e as ICU de maiores intensidades foram mais frequentes à noite.

- 5 Observou-se que a intensidade máxima de ICU tende a reduzir quando a umidade relativa aumenta.
- 6 Quando se analisa, pormenorizadamente, a relação da porcentagem das observações das classes das ilhas de calor com a frequência relativa das classes de velocidade do vento, nota-se que as ICU de maior intensidade (>2°C) tiveram maior frequência relativa na classe de 2 m/s a 4 m/s, fato já observado no estudo de (LOPES et al., 2013).

CAPÍTULO IX

9 ÍNDICE GEOURBANO (InGe): PROPOSTA METODOLÓGICA PARA QUANTIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA NATURAL E ANTRÓPICA NO CLIMA DAS CIDADES

[...] entender o homem como natureza supõe entrever uma condição ontológica, um sentido de ser; ao passo que reclamá-lo como mero fator antrópico supõe submetê-lo a relações de causalidade. (LIMA, 2015, p. 112).

9.1 Introdução

Durante muitos séculos o homem e a natureza viveram de forma relativamente harmônica, e a ação do homem não chegava a impedir a renovação dos recursos naturais. O contingente populacional não era preocupante e os recursos eram suficientes à sobrevivência humana.

Todavia, principalmente, no último século, um novo modelo de civilização impôs-se, em determinadas áreas, ao meio natural. Esse modelo tem como pilar de sustentação a industrialização e a urbanização. A industrialização sendo responsável pela organização das formas de produção e do trabalho, e a urbanização como um processo de concentração de equipamentos e pessoas nas cidades (MENDONCA; MONTEIRO, 2003).

Nas cidades, aliado ao intenso crescimento populacional encontram-se taxas elevadas de exclusão socioeconômica (SANTOS, 2000), o que cria um número cada vez maior de pessoas que vivem em condições de miséria. Como resultado, tem-se um agravamento dos problemas sociais, assim como, dos problemas ambientais urbanos.

A procura de uma melhora nesse meio ambiente, o homem tem criado ambientes mais artificiais, afim de amenizar as carências ambientais. Por mais antagônico que pareça, esses ambientes são pensados de forma a atender às necessidades do homem, e omitem de suas prioridades a conservação do meio ambiente natural e a qualidade de vida. Dessa maneira, na busca de edificar um

ambiente para si, o homem modifica o equilíbrio dinâmico entre a superfície e a atmosfera.

De todas as transformações ocorridas no ambiente urbano, uma que merece especial atenção é a modificação nos padrões dos elementos do clima (temperatura, umidade, etc.) que afeta a qualidade de vida. Com isso, surge a necessidade de estudos que enfoquem a influência do homem na atmosfera urbana.

Nos grandes centros urbanos os estudos de climatologia urbana têm ganhado ênfase (KOLOKOTRONI; ZHANG; WATKINS, 2007; LOPES et al., 2013; SARKAR; DE RIDDER, 2011; SOUCH; GRIMMOND, 2006), devido ao comprometimento da atmosfera urbana em face das mudanças do uso e ocupação do solo urbano (ALVES; BIUDES, 2012c).

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi de analisar a influência dos fatores geourbanos (NDVI, declividade das vertentes, orientação das vertentes, altitude, índice de urbanização e densidade demográfica) na variação da temperatura de superfície, temperatura do ar, umidade absoluta e ilha de calor urbana máxima. Assim como propor um método que quantifique a influência natural e antrópica nos padrões espaciais destas variáveis.

9.2 Material e Método

É muito comum nos estudos geográficos sobre a problemática ambiental cujos procedimentos de exposição supõem uma descrição pormenorizada da disposição de fenômenos físicos no arranjo espacial, montar-se todo um quadro sinóptico dos fenômenos naturais para, por fim, introduzir a participação ou a intervenção humana no encadeamento de tais fenômenos (LIMA, 2015).

Tem-se, a partir de então, a discussão da primeira e segunda natureza. Segundo Lima (2015) a primeira natureza, se compreendida como natureza intocada e não como coisa, é desde logo segunda natureza, toda ela produzida socialmente: não exatamente porque já não exista natureza intocada em lugar algum, mas principalmente porque não existe natureza natural, física, intocada, ou qualquer que seja, que não tenha sido apropriada como um objeto de representação.

Entretanto a distinção entre primeira natureza e segunda natureza consiste, com efeito, menos numa sucessão de uma natureza não humanizada por uma

natureza humanizada do que num expediente didático-metodológico para melhor compreensão da produção social da natureza e do espaço geográfico (LIMA, 2015).

Assentir que a natureza, tal como convencionalmente é representada, antecipa-se à ação humana é também concordar que o objeto independe do sujeito (LIMA, 2015). Portanto, o conceito de natureza ou de natural é de difícil conceptualização, definir o que é natural dentro uma lógica na qual o homem não se insere é artificializar as ações humanas. Por isso, o conceito de antrópico neste trabalho consiste nas "coisas" que existem a partir de uma produção social e que não existiriam sem tal.

Nesta concepção, propõe-se um indicador do grau de influência das variáveis naturais e antrópicas, o Índice Geourbano (InGe), que será constituído por valores de -1 a +1. InGe positivo significa que há predominância da influência antrópica, InGe negativo predominância de influência natural. O índice proposto pode ser obtido pela razão entre a diferença das influências antrópicas (I_a) e as influências naturais (I_n) e a soma destas, conforme Equação 63.

$$InGe = rac{\sum I_a - \sum I_n}{\sum I_a + \sum I_n}$$
 Equação 63

Os valores das influências naturais e antrópicas podem ser obtidos a partir da contribuição de cada variável geourbana no coeficiente de determinação (r²) das regressões lineares múltiplas. As variáveis utilizadas foram: o índice de urbanização (IU), a densidade demográfica (DD), consideradas variáveis antrópicas; e declividade das vertentes (DV), orientação das vertentes (OV), altitude (A) e NDVI, consideradas variáveis naturais.

Foram estabelecidas nove classes do InGe, as classes variam de influência muito fraca (-0,2 a 0,2) à influência natural muito forte (-1 a -0,8) e à influência antrópica muito forte (0,8 a 1), conforme a Figura 89.

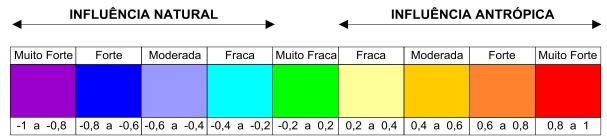


Figura 89. Classes da magnitude das influências dos fatores naturais e antrópicos propostas pelo InGe.

9.3 Resultados e Discussões

O cálculo do índice geourbano (InGe) foi realizado para a temperatura de superfície, temperatura do ar, umidade absoluta e ilha de calor máxima, a partir da influência de cada variável geourbana dentro das equações, obtida pela variação do r². Essas equações foram obtidas nos capítulos 3, 6 e 7, sendo utilizadas caso o *p-value* fosse menor que 0,05.

De acordo com a Tabela 9 a variável que mais contribuiu para explicar a variabilidade espacial da temperatura de superfície foi o NDVI seguido da densidade demográfica, juntas explicaram 60,67%.

Tabela 9. Influência das variáveis geourbanas no padrão da temperatura de superfície.

Análise	Α	DV	OV	NDVI	IU	DD
Temperatura de superfície	6,91	0,5	0,96	35,33	5,23	25,34

Conforme a Tabela 10, a influência das variáveis geourbanas nos padrões espaciais da temperatura do ar variou de hora em hora. No final da manhã (11h) e no período de maior aquecimento do ar (15h e 16h) a declividade das vertentes foi a varável que mais contribuiu para se explicar a variação da temperatura do ar. Enquanto que no entardecer (18h e 19h) a altitude se sobressaiu. No período noturno, o NDVI e o índice de urbanização conseguiram explicar, preponderantemente, a variabilidade da temperatura do ar.

A soma geral das contribuições revelou que a declividade das vertentes foi a variável mais influente. Segundo Lopes (1995) e Paszynski (1991) a variação na declividade das vertentes do relevo desempenha importante papel na distribuição da energia calorífico-luminosa das mesmas. O índice de urbanização foi a segunda variável mais influente.

Tabela 10. Influência das variáveis geourbanas nos padrões horários da temperatura do ar.

Análise	Α	DV	OV	NDVI	IU	DD
Temperatura do ar (11h)	0	45,69	0	0	1,43	43,59
Temperatura do ar (15h)	0	66,1	0	0	0	0
Temperatura do ar (16h)	19,43	66,82	0	0	0	1,06
Temperatura do ar (18h)	45,79	0	0	0,2	23,82	4,06
Temperatura do ar (19h)	45,46	2,81	0	0	42,89	8,11
Temperatura do ar (20h)	0	0	0	73,63	2,9	0
Temperatura do ar (21h)	0	0	0,61	3,78	86,49	0

Temperatura do ar (23h)	0	0	0	71,46	0,14	0
Total	110,68	181,42	0,61	149,07	157,67	56,82

Nas primeiras horas do dia (1h e 2h) as variáveis altitude e orientação das vertentes conseguiram explicar a maior parte da variabilidade da umidade absoluta. Provavelmente porque segundo Lopes (1995) o ar mais arrefecido começa lentamente a escoar pelas vertentes, pouco depois do pôr do sol, período em que, geralmente, se começa a formar a inversão térmica na base das vertentes, desenvolvendo-se durante a noite.

A drenagem do ar frio pulsa intermitentemente durante a noite (LOPES, 1995). Segundo Yoshino, Tanaka e Nakamura (1981) dependendo das condições do tempo e da topografia, o escoamento do ar frio ocorre, frequentemente, uma ou duas vezes entre o pôr do sol e a meia noite e duas ou três vezes entre a meia noite e o nascer do sol.

Às 11H as contribuições das variáveis geourbanas estiveram bem divididas (Tabela 11). Às 14h a altitude se sobressaiu em relação às demais variáveis, conseguindo explicar 54,53% da variação da umidade absoluta. Nos horários das 20h, 21h e 23h as influências do NDVI e do IU foram semelhantes aos da temperatura do ar. Na soma total das contribuições das variáveis, o NDVI desponta como a principal variável explicativa da variação espacial da umidade absoluta. Pois o NDVI é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde, portanto, é uma variável capaz de fornecer informações sobre a evapotranspiração, consequentemente, da umidade.

Tabela 11. Influência das variáveis geourbanas nos padrões horários da umidade absoluta.

Tabola 111 milationa and tanation goodinatina into partition in an amilation and an according						
Análise	Α	DV	OV	NDVI	IU	DD
Umidade absoluta (01h)	62,44	0	0	0	8,22	0
Umidade absoluta (02h)	4,19	0	59,88	31,15	4,07	0
Umidade absoluta (11h)	20,2	24,5	5,53	0	17,9	31,65
Umidade absoluta (14h)	54,53	0	17,96	2,16	23,91	0
Umidade absoluta (20h)	1,4	0	5,33	89,91	0,68	0
Umidade absoluta (21h)	0	0	0,16	0,03	85,23	0
Umidade absoluta (23h)	14,05	0	0,41	81,39	2,78	0
Total	156,81	24,5	89,27	204,64	142,79	31,65

Em relação às ilhas de calor urbanas máximas, às 20h30min o NDVI conseguiu explicar 92,36% da variabilidade da ilha de calor urbana, nos horários das

21h e 21h30min o índice de urbanização explicou 86,5% e 88,41%, respectivamente. A soma total das contribuições evidenciou que o IU foi a variável mais influente na variação da ICU máxima. As características da ocupação do solo, denotados pelo IU, tem papel importante na intensidade das ilhas de calor urbanas.

Tabela 12. Influência das variáveis geourbanas nos padrões das ICU máximas.

Análise	Α	DV	OV	NDVI	IU	DD
ICU máxima (20h30min)	0	0	0	92,36	0,29	0,53
ICU máxima (21h)	0	0	0,61	3,78	86,5	0
ICU máxima (21h30min)	0	0	0	4,1	88,41	0
Total	0	0	0,61	100,24	175,2	0,53

Na Figura 90 estão os valores do índice geourbano para a temperatura de superfície, temperatura do ar, umidade absoluta e ilhas calor urbanas máximas. Observa-se que ocorreram em maior número influência natural muito forte, observada na temperatura do ar às 15h, 16h, 20h e 23h e na umidade absoluta às 2h, 20h e 23h, assim como para ICU máxima das 20h30min. Foram verificadas também influência antrópica muito forte na temperatura do ar às 21h, na umidade absoluta às 21h e nas ilhas de calor às 21h e 21h30min. Forte Influência natural foi observada somente na umidade absoluta da 1h, assim como moderada influência antrópica que foi verificada às 14h para a umidade absoluta.

Nestas observações contatou-se que em 74% dos casos predominaram as influências naturais. Contudo, nas ilhas de calor máximas preponderou a influência antrópica.

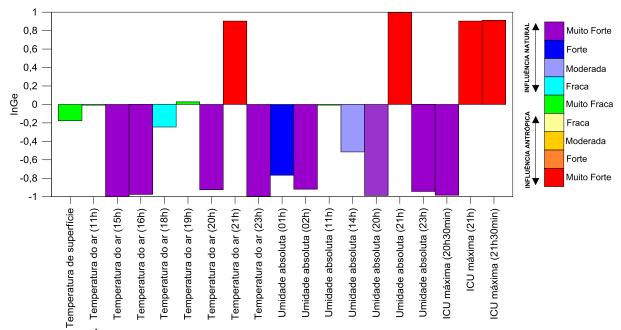


Figura 90. Índice Geourbano (InGe) para a temperatura de superfície, temperatura do ar, umidade absoluta e ilhas de calor urbanas máximas.

9.4 Considerações

- 1 A influência dos fatores geourbanos no clima urbano, em especial nas variáveis: temperatura de superfície; temperatura do ar; umidade absoluta e ilhas de calor urbanas máximas, variaram bastante. Até mesmo em cada variável foi observada variação horária. Mostrando a complexidade das relações dos fatores geourbanos na definição dos padrões espaciais e temporais dos elementos climáticos.
- 2 O índice proposto, índice geourbano, mostrou-se ser um bom indicador da influência natural e antrópica nas variáveis: temperatura de superfície; temperatura do ar; umidade absoluta e ilhas de calor urbanas máximas. Notou-se que para o período estudado houve predomínio das influências naturais, entretanto, para o fenômeno das ilhas de calor urbanas máximas a influência antrópica foi superior.
- 3 Destaca-se que o InGe é temporal, portanto, não se pode definir, por exemplo, que o clima de uma cidade é definido por fatores antrópicos ou naturais, seja pela própria dinâminca do clima, ou pelo arranjo complexo da cidade com a atmosfera próxima ao solo.
- 3 O InGe deve ser aprimorado, principalmente porque é dependente das variáveis geourbanas, que em cidades pequenas, são difíceis de se obter. Por isso inserir no índice outras variáveis, muita das vezes, disponíveis nas cidades de médio

e grande porte, como: fator de visão do céu e volumetria dos edifícios, podem tornálo um indicador da influência natural e antrópica menos variável e mais preciso.

10 ILHAS DE CALOR E SIMULAÇÕES: PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS AO REORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Simulações de ilhas de calor são utilizadas tanto para entender o funcionamento de uma ilha de calor, como para estimar a eficácia de aplicação de diferentes medidas de mitigação. (GARTLAND, 2010, p. 48).

10.1 Introdução

A expansão dos centros urbanos criou, ao longo dos anos, um aquecimento acentuado nas áreas urbanas em relação ao seu ambiente rural (ARNFIELD, 2003; LOPES et al., 2013; OKE, 1973).

As transformações no uso do solo, devido a urbanização, podem modificar o equilíbrio de energia nas cidades; este, por sua vez afeta o ambiente térmico urbano, resultando no efeito de ilha de calor urbana (ICU), segundo o qual as áreas urbanas, muitas vezes, apresentam temperaturas superiores às das áreas rurais circundantes (ALCOFORADO et al., 2014; LOPES et al., 2013).

Como atenuar o efeito da ilha de calor urbana (ICU) deve ser considerado elemento fundamental no desenho urbano (OKE, 1987). Na maioria dos lugares, a ilha de calor é fraca durante o dia e aumenta rapidamente após o pôr do sol e leva de 3 a 5 horas para chegar ao máximo (OKE, 1981). Isto se deve a reemissão da energia absorvida durante o dia, pelos edifícios, estradas.

Vários problemas têm sido observados em virtude das ICU, como o aumento da poluição urbana, intensa precipitação, elevado consumo de energia, destacandos e os problemas relacionados ao desconforto térmico, que pode levar a óbito as pessoas já debilitadas fisicamente.

Têm sido realizados esforços significativos em pesquisas científicas para avaliar o impacto do fenômeno da ilha de calor sobre o ambiente urbano (ALCOFORADO; ANDRADE, 2006; AMORIM, 2005; BRANDSMA; WOLTERS, 2012; CHARABI; BAKHIT, 2011; KOLOKOTRONI; GIRIDHARAN, 2008; LOPES et al., 2013).

O estudo das ilhas de calor urbanas tem se mostrado um instrumento importante para a gestão do espaço urbano. A espacialização das diferenças das temperaturas intra-urbanas e rurais próximas pode oferecer subsídios para amenizar a magnitude de tais ilhas de calor (AMORIM; CARDOSO, 2015).

Simulações das ilhas de calor urbanas têm sido utilizadas em inúmeros trabalhos (MIHALAKAKOU et al., 2002; SAITOH; SHIMADA; HOSHI, 1996; STEWART; OKE; KRAYENHOFF, 2014). As simulações, desde que comparadas com dados reais ou baseadas em estudos e observações de outras pesquisas, podem fornecer perspectivas ao reordenamento ao território.

Entretanto, conforme salienta (AMORIM; CARDOSO, 2015), muitas vezes os resultados das pesquisas não são devidamente utilizados pelo poder público, devido à falta de detalhamento da distribuição da temperatura do ar ou ilha de calor nos ambientes intra-urbanos, ou simplesmente pela falta de interesse dos governantes.

Diante desses fatos, o objetivo deste artigo foi de apresentar simulações das ilhas de calor urbanas baseadas no aumento do NDVI, com o aporte da regressão linear múltipla obtida para a ilha de calor urbana máxima de Iporá – GO.

10.2 Material e Métodos

Nas simulações utilizou-se a Equação 65, Equação 66, Equação 67, Equação 68 e Equação 69, baseadas na Equação 64, obtida no capítulo 7 por meio de regressão linear múltipla, referente a ilha de calor máxima no horário das 21h30min do dia 21/10/2014. Na equação base (Equação 64) as variáveis mais influentes foram o índice de urbanização (IU) que explicou 88,41% da variabilidade espacial da ilha de calor e o NDVI que explicou 4,1%, com r² de 0,92 (Tabela 13).

Tabela 13. Contribuição das variáveis no padrão das ilhas de calor urbana máxima (21h30min - 21/10/2014).

Equação	Variáveis	r²	Influência (%)
Equação 64	IU	0,884	88,41
	IU, NDVI*	0,925	4,1

*Variáveis utilizadas na regressão linear múltipla (p-value<0,05).

O índice de urbanização indica o grau de urbanização de uma determinada área. Devido a dificuldade de se modificar áreas edificadas, nas simulações não se

modificou os valores do IU. Apenas o NDVI foi modificado, tendo em vista que o mesmo pode ser aumentado com a criação de áreas verdes, ou simplesmente inserção de árvores nas calçadas e canteiros centrais. As simulações foram realizadas com aumento do NDVI em 20% (Equação 65), em 40% (Equação 66), em 60% (Equação 67), em 80% (Equação 68) e em 100% (Equação 69).

$$ICU_{Max} = 28,927 - (7,302 \times NDVI) + (5,508 \times IU)$$
 Equação 64
$$ICU_{(NDVI+20\%)} = 28,927 - [7,302 \times (NDVI + 0,2NDVI)] +$$
 Equação 65
$$ICU_{(NDVI+40\%)} = 28,927 - [7,302 \times (NDVI + 0,4NDVI)] +$$
 Equação 66
$$ICU_{(NDVI+60\%)} = 28,927 - [7,302 \times (NDVI + 0,6NDVI)] +$$
 Equação 67
$$ICU_{(NDVI+60\%)} = 28,927 - [7,302 \times (NDVI + 0,6NDVI)] +$$
 Equação 68
$$ICU_{(NDVI+80\%)} = 28,927 - [7,302 \times (NDVI + 0,8NDVI)] +$$
 Equação 68
$$ICU_{(NDVI+80\%)} = 28,927 - [7,302 \times (NDVI + 0,8NDVI)] +$$
 Equação 69
$$ICU_{(NDVI+100\%)} = 28,927 - [7,302 \times (NDVI + NDVI)] + (5,508 \times IU)$$
 Equação 69

10.3 Resultados e discussões

10.3.1 Simulação das ilhas de calor com aumento do NDVI

A modificação do NDVI pode ser uma boa alternativa para minimizar a intensidade das ilhas de calor e excessivas temperaturas nas regiões tropicais, principalmente na região Centro-Oeste que possui elevadas temperaturas em praticamente todo o ano (ALVES, 2011).

As simulações da Figura 91 evidenciam como a intensidade das ilhas de calor pode ser minimizada com o aumento do NDVI. Com o aumento do NDVI as ICU foram diminuindo gradativamente: as áreas próximas ao córrego Tamanduá diminuíram significativamente os valores da ICU, chegando a apresentar ICU negativa, também conhecida como ilha de frescor, de -4°C para as simulações com NDVI aumentado em 80% e 100%. Em algumas áreas houve pouco decréscimo na intensidade da ilha de calor, devido a pouca ou nenhuma arborização, portanto,

mesmo com o aumento de 100% do NDVI, este seria muito baixo, insuficiente para minimizar significativamente a ICU.

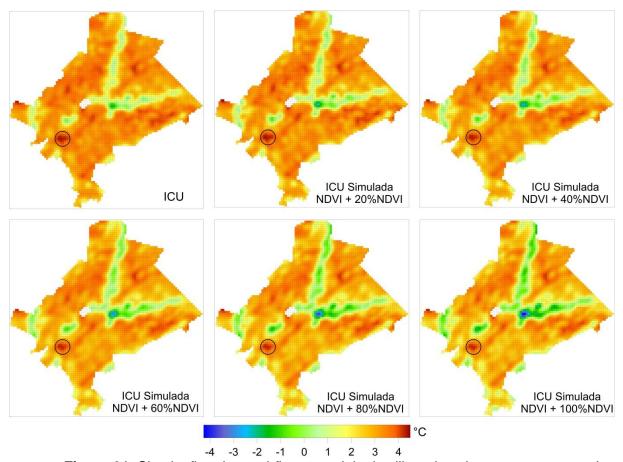


Figura 91. Simulações dos padrões espaciais das ilhas de calor com o aumento do NDVI.

De maneira geral, o aumento do NDVI resultou na diminuição da intensidade da ICU, a frequência nas classes de ilha de frescor foi aumentando com o aumento do NDVI, ilha de frescor na classe de -5°C a -4°C somente foi verificada na simulação com aumento de 100% do NDVI (Figura 92). Entre as classes de ilha de frescor, a classe de -1°C a -0°C foi a que apresentou o maior aumento na frequência.

Nota-se que nas classes de ilha de calor de 0°C a 1°C, 1°C a 2°C e 2°C a 3°C houve aumento na frequência (Figura 92), isso ocorreu devido a elevada diminuição na frequência das ICU de maior magnitude (3°C a 4°C e 4°C a 5°C), pois com o aumento do NDVI as ICU diminuíram de intensidade, ocupando, portanto, classes inferiores.

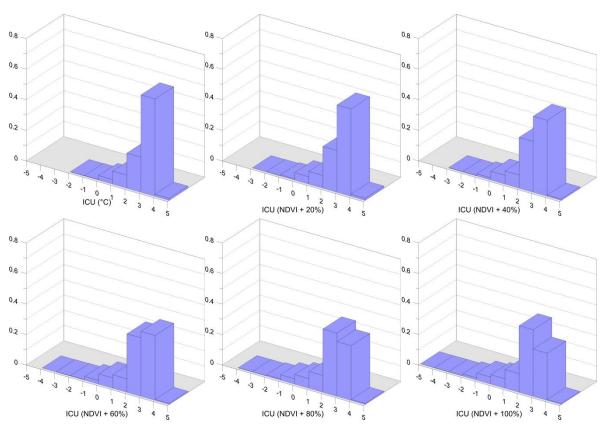


Figura 92. Frequência relativa das classes das ICU simuladas.

10.3.2 Simulação da ilha de calor máxima da área central

A intensidade máxima da ICU foi verificada no centro comercial de Iporá, conforme marcação na Figura 91. Na Figura 93 estão: a ilha de calor máxima, a ilha de calor máxima com o aumento do NDVI em 100% e os respectivos NDVI (NDVI normal e NDVI simulado). Torna-se perceptível na Figura 93 que com o aumento do NDVI na área core da ilha de calor máxima, a sua intensidade e seu tamanho diminuíram. Observa-se também que em alguns pontos o NDVI praticamente não se alterou, o que não ocasionou uma redução na ICU.

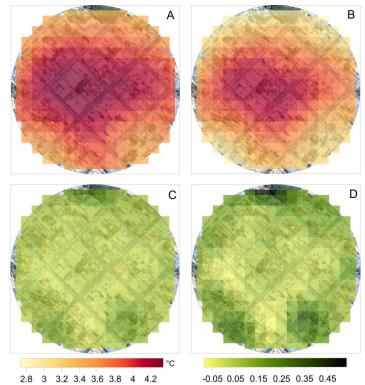


Figura 93. Ilha de calor máxima (A), ilha de calor máxima simulada com NDVI aumentado em 100% (B), NDVI (C) e NDVI aumentado em 100% (D).

Na área core da ilha de calor máxima (Figura 93) a intensidade variou de 3,2°C a 4,3°C, enquanto que na ICU simulada os valores mínimos e máximos foram inferiores (2,7°C a 4,2°C), nota-se que a curva da ICU simulada sempre esteve abaixo da ICU observada, sendo que as menores diferenças ocorreram nas maiores intensidades, devido aos baixos valores do NDVI nos pontos de maiores intensidades (Figura 94).

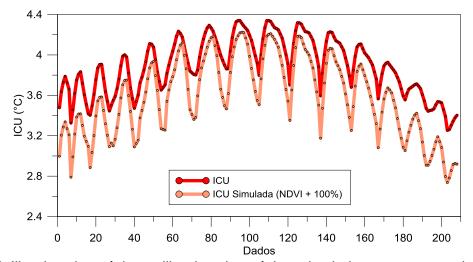


Figura 94. Ilha de calor máxima e ilha de calor máxima simulada com aumento do NDVI em 100%.

O tamanho e forma da ICU observada e da ICU simulada podem ser observados na Figura 95, a área da ICU observada foi de 94296 m² e a área da ICU simulada foi de 51931 m², uma redução significativa de 45%.

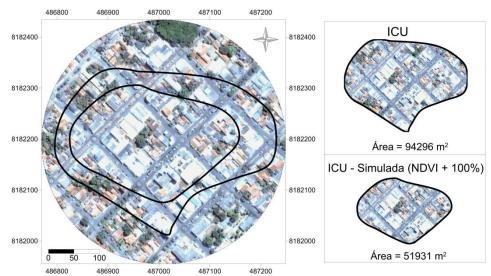


Figura 95. Tamanho e forma da ilha de calor máxima observada e simulada.

10.4 Considerações

- 1 Já é sabido que as áreas verdes podem minimizar a temperatura da superfície e do ar pela sua capacidade de interceptar a radiação solar, impedindo-a, em maior parte, de atingir a superfície do solo, também se sabe que estas áreas verdes aumentam a umidade do ar pelo processo de evapotranspiração. Portanto, é de se imaginar que um aumento no NDVI possa diminuir a intensidade da ilha de calor. As simulação realizadas mostraram exatamente isso, que o aumento do NDVI poderá diminuir a magnitude das ilhas de calor em Iporá.
- 2 Com o aumento do NDVI as ICU foram diminuindo gradativamente: áreas próximas ao córrego Tamanduá apresentaram ICU negativa, também conhecida como ilha de frescor, de -4°C para as simulações com NDVI aumentado em 80% e 100%.
- 3 Em algumas áreas da cidade houve pouco decréscimo na magnitude da ilha de calor, devido a pouca ou nenhuma arborização, portanto, mesmo com o aumento de 100% do NDVI, este seria muito baixo, insuficiente para minimizar significativamente a ICU.

- 4 A frequência nas classes de ilha de frescor aumentou com o aumento do NDVI, sendo que ilha de frescor na classe de -5°C a -4°C somente foi verificada na simulação com aumento de 100% do NDVI. Houve também diminuição nas classes de ICU de 3°C a 4°C e 4°C a 5°C e aumento nas classes de menor magnitude, devido à migração das ICU mais intensas para as classes de menor intensidade.
- 5 Tornou-se perceptível que com o aumento do NDVI na área core da ilha de calor máxima houve uma diminuição significativa da intensidade da ICU e também do seu tamanho (redução de 45% da área).
- 6 Não obstante ressalta-se que estas simulações tem caráter prognóstico, baseado, primeiramente, em muitos estudos que já demostraram a forte relação entre o NDVI e o fenômeno das ilhas de calor, segundamente na equação obtida nesta pesquisa que reforça essa afirmação.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A análise multitemporal (1984 a 2011) das intensidades das anomalias térmicas (imagens de satélite) revelou tendência significativa de aumento e diminuição em algumas áreas da malha urbana. Notou-se que houve variação temporal nas influências das variáveis geourbanas, em determinados momentos algumas variáveis contribuíram majoritariamente para explicar a variabilidade espacial, em outros não se observou o mesmo fato.

A regressão linear múltipla mostrou-se ser uma técnica eficaz para quantificar a influência das variáveis geourbanas na temperatura de superfície, temperatura do ar, umidade absoluta e ilhas de calor urbanas, sendo que as equações preditoras obtidas apresentaram coeficiente de determinação elevado, com baixos valores do RMSE.

A proposta metodológica de utilizar um índice (InGe) para quantificar o efeito natural e/ou antrópico sobre o clima da cidade, em especial, sobre as variáveis: temperatura de superfície; temperatura do ar, umidade absoluta e ilhas de calor urbanas, foi interessante, porque propôs um maneira de definir, dentro das suas possibilidades, tais influências. Ressalta-se que o InGe deve ser aprimorado, principalmente porque é dependente das variáveis geourbanas, portanto, a inserção outras variáveis, muita das vezes, disponíveis nas cidades de médio e grande porte, como: fator de visão do céu e volumetria dos edifícios, podem torná-lo um indicador da influência natural e antrópica menos variável e mais preciso.

Assim como em outros estudos, foi constatada a influência dos corpos d'água e área verde na temperatura de superfície (TS), quanto maior a distância da área verde maior a temperatura de superfície, além disso, na primavera ou próximo dela, a intensidade do efeito da área verde na TS foi muito superior ao efeito em outras datas. 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 absoluta.

Observou-se que as áreas localizadas nos fundos de vale apresentaram os menores valores térmicos, o que sugere uma drenagem de ar frio. Entretanto, este fenômeno dever ser melhor estudado para conclusões mais detalhadas.

Contudo, com base nos resultados apresentados, a hipótese inicial de que a cidade de Iporá teria um clima próprio, chamado clima urbano, foi confirmada. A atmosfera de Iporá mostrou-se ser diferente significativamente da atmosfera rural próxima.

REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 25 abr. 2013.

ALCOFORADO, M. J. et al. Lisbon Heat Island: statistical study (2004-2012). **Finisterra**, v. 49, n. 98, p. 61–80, 2014.

ALCOFORADO, M.-J. et al. **Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa**. Relatório ed. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, 2005.

ALCOFORADO, M.-J. et al. Observational studies on summer winds in Lisbon (Portugal) and their influence on daytime regional and urban thermal patterns. **Merhavim**, v. 6, p. 90–112, 2006.

ALCOFORADO, M.-J. et al. A ilha de calor em Lisboa. Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano. In: **Geophilia - o sentir e os sentidos da Geografia Homenagem a Jorge Gaspar**. [s.l: s.n.]. p. 593–612.

ALCOFORADO, M.-J. et al. Application of climatic guidelines to urban planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 90, n. 1-2, p. 56–65, 2009.

ALCOFORADO, M.-J.; ANDRADE, H. Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 84, n. 1-3, p. 151–159, 18 jul. 2006.

ALI-TOUDERT, F. et al. Outdoor thermal comfort in the old desert city of Benilsguen, Algeria. **Climate Research**, v. 28, n. 1993, p. 243–256, 2005.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL – Surface Energy Balance Algorithms for Land**. 2. ed. [s.l.] Advance training and users manual, 2002.

ALVES, E. D. L. Frequência e probabilidade de chuvas no município de Iporá-GO. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 37, p. 65–72, 2011.

ALVES, E. D. L. et al. Estudo climatológico da variabilidade temporal da precipitação em Iporá, Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1–9, 2011.

- ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. O uso do solo e as mudanças microclimáticas: estudo de caso no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso. **Ateliê Geográfico**, v. 6, n. 2, p. 95–111, 2012a.
- ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Análise da temperatura do ar e da umidade relativa: estudo de microclimas. **Interthesis**, v. 9, n. 2, p. 139–156, 2012b.
- ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Padrões da temperatura do ar e da umidade relativa: estudo de caso no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 3, p. 5–16, 2012c.
- ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Method for determining the footprint area of air temperature and relative humidity. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 2, p. 187–194, 18 abr. 2013.
- ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. Caracterização do Balanço Hídrico e Clima do Município de Iporá (GO)1° Encontro de Divulgação da Produção Científica do Oeste de Goiás. Anais...Iporá: 2008.
- ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. CONTRIBUIÇÃO AOS ESTUDOS DO CLIMA URBANO: variação térmica e higrométrica em espaços intra-urbanos. **Mercator**, v. 8, n. 17, p. 181–191, 31 dez. 2009.
- ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. O clima intra-urbano de Iporá-GO: um estudo em episódios. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 3, p. 141–154, 2010a.
- ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. Estudo do Comportamento Termohigrométrico em Ambiente Urbano: Estudo de Caso em Iporá-GO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 02, p. 87–95, 2010b.
- ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 33, n. 2, p. 193–197, 2011.
- ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Atributos geourbanos e a temperatura de superfície: primeiros experimentos VIII SLAGF e IV SIAGF. Anais...Santiago: 2014.

AMORIM, M. C. DE C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: episódios de inverno. **Geosul**, v. 20, n. 39, p. 65–82, 2005.

AMORIM, M. C. DE C. T.; CARDOSO, R. DOS S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, n. 11, p. 29–45, 2015.

AMORIM, M. C. DE C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. DOS S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, n. 11, p. 29–45, 2015.

ANDRADE, H. **Bioclima humano e temperatura do ar em Lisboa**. [s.l.] PhD Thesis University of Lisbon, 2003.

ANDRADE, H.; VIEIRA, R. A climatic study of an urban green space: the Gulbenkian park in Lisbon. **Finisterra**, v. 42, n. 84, p. 27–46, 2007.

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

ATKINSON, B. W. Numerical modelling of urban heat-island intensity. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 109, n. 3, p. 285–310, 2003.

BALKESTAHL, L. C. Estrutura espaciotemporal da ilha de calor urbano (Porto). **Cadernos curso de doutoramento em Geografia**, p. 11–31, 2009.

BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat 7 ETM +: estudo de caso em São Carlos (SP). **Minerva**, v. 6, n. 3, p. 273–278, 1996.

BERNATZKY, A. The contribution of tress and green spaces to a town climate. **Energy and Buildings**, v. 5, n. 1, p. 1–10, set. 1982.

BOURBIA, F.; BOUCHERIBA, F. Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). **Renewable Energy**, v. 35, n. 2, p. 343–347, fev. 2010.

BOWLER, D. E. et al. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review

of the empirical evidence. **Landscape and Urban Planning**, v. 97, n. 3, p. 147–155, set. 2010.

BRANDSMA, T.; WOLTERS, D. Measurement and Statistical Modeling of the Urban Heat Island of the City of Utrecht (the Netherlands). **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 51, n. 6, p. 1046–1060, jun. 2012.

BRASIL, M. DO. Cartas Sinóticas.

BULUT, Y. et al. Urban-rural climatic differences over a 2-year period in the City of Erzurum, Turkey. **Atmosfera**, v. 21, n. 2, p. 121–133, 2008.

BUSATO, F.; LAZZARIN, R. M.; NORO, M. Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results. **Sustainable Cities and Society**, v. 10, p. 251–258, maio 2014.

CAMILLONI, I.; BARRUCAND, M. Temporal variability of the Buenos Aires, Argentina, urban heat island. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, n. 1-2, p. 47–58, 26 maio 2012.

CAO, X. et al. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. **Landscape and Urban Planning**, v. 96, n. 4, p. 224–231, jun. 2010.

CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature. **Geoscientific Model Development**, v. 7, n. 3, p. 1247–1250, 2014.

CHANG, C.; GOH, K. The relationship between height to width ratios and the heat island intensity at 22: 00 h for Singapore. **International Journal of Climatology**, v. 19, n. 9, p. 1011–1023, jul. 1999.

CHANG, C.-R.; LI, M.-H.; CHANG, S.-D. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. **Landscape and Urban Planning**, v. 80, n. 4, p. 386–395, maio 2007.

CHARABI, Y.; BAKHIT, A. Assessment of the canopy urban heat island of a coastal arid tropical city: The case of Muscat, Oman. **Atmospheric Research**, v. 101, n. 1-2, p. 215–227, jul. 2011.

CHOW, W. T. L. et al. Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: horizontal and vertical impacts. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 103, n. 1-2, p. 197–211, 21 jan. 2011.

COSEO, P.; LARSEN, L. How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 117–129, 2014.

COUTTS, A. M.; BERINGER, J.; TAPPER, N. J. Characteristics influencing the variability of urban CO2 fluxes in Melbourne, Australia. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 1, p. 51–62, jan. 2007.

CUADRAT, J. M.; VICENTE-SERRANO, S.; SAZ, M. A. Influence of different factors on relative air humidity in Zaragoza, Spain. **Frontiers in Earth Science**, v. 3, n. March, p. 131–141, 19 mar. 2015.

DEBBAGE, N.; SHEPHERD, J. M. The urban heat island effect and city contiguity. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 54, p. 181–194, nov. 2015.

DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. DE C. T. Estrutura térmica da superfície de Paranavaí/PR através do Landsat 7. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 35, p. 110–129, 2013.

ELAGIB, N. A. Evolution of urban heat island in Khartoum. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 9, p. 1377–1388, 2 jul. 2011.

ELNESR, M. N.; ABU-ZREIG, M. M.; ALAZBA, A. A. Temperature Trends and Distribution in the Arabian Peninsula. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 6, n. 2, p. 191–203, 1 fev. 2010.

FEYISA, G. L.; DONS, K.; MEILBY, H. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. **Landscape and Urban Planning**, v. 123, p. 87–95, mar. 2014.

FIGUEROLA, P. I.; MAZZEO, N. A. Urban-rural temperature differences in Buenos Aires. **International Journal of Climatology**, v. 18, n. 15, p. 1709–1723, dez. 1998. FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GABRIEL, K. M. A.; ENDLICHER, W. R. Urban and rural mortality rates during heat

waves in Berlin and Brandenburg, Germany. **Environmental pollution**, v. 159, n. 8-9, p. 2044–2050, 2011.

GANDEMER, J. **Wind environment around buildings: Aerodynamic concepts**Proceedings of the Fourth International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures. **Anais**...London: 1975.

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

GEIGER, R. Manual de Microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1990.

GEORGAKIS, C.; SANTAMOURIS, M.; KAISARLIS, G. The Vertical Stratification of Air Temperature in the Center of Athens. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 49, n. 6, p. 1219–1232, 2010.

GIONGO, P. R. et al. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 279–287, 2010.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: http://earth.google.com/>. Acesso em: 10 jan. 2016.

GRIMMOND, C. S. B. et al. Local-scale fluxes of carbon dioxide in urban environments: methodological challenges and results from Chicago. **Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)**, v. 116 Suppl, p. S243–54, jan. 2002.

HAMADA, S.; OHTA, T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 9, n. 1, p. 15–24, jan. 2010.

HARLAN, S. L. et al. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. **Social Science & Medicine**, v. 63, n. 11, p. 2847–2863, dez. 2006.

HART, M. A.; SAILOR, D. J. Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 95, n. 3-4, p. 397–406, 7 maio 2008.

HOWARD, L. The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis. London: W. Phillips, sold also by J. and A. Arch, 1818.

HU, Y.; SU, C.; ZHANG, Y. Research on the microclimate characteristics and cold island effect over a reservoir in the Hexi Region. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 5, n. 1, p. 117–126, fev. 1988.

IBGE. Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados da Sinopse por setor censitário. Rio de Janeiro: Centro de Documentação e Disseminação de Informações, 2011.

IBGE. **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/>. Acesso em: 5 maio. 2015.

IBGE. **Iporá - Goiás histórico**. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/goias/ipora.pdf. Acesso em: 5 maio. 2015a.

IBGE. **Infográficos: evolução populacional e pirâmide etária**. Disponível em: http://cod.ibge.gov.br/1DCX>.

INPE. **Boletim técnico**. Disponível em: http://tempo.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtml. Acesso em: 2 jan. 2015.

IQBAL, M. An introduction to solar radiation. New York: Academic Press, 1983.

JARDIM, C. H. Relações entre temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica em área urbana: comparação horária entre dois bairros no município de São Paulo-SP. **Geografias**, v. 07, n. 1, p. 128–142, 2011.

JAUREGUI, E. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. **Energy and Buildings**, v. 15, n. 3-4, p. 457–463, jan. 1990.

JAUREGUI, E. Heat Island Development in Mexico City. **Atmospheric Environment**, v. 31, n. 22, p. 3821–3831, nov. 1997.

JAUREGUI, E.; ROMALES, E. Urban effects on convective precipitation in Mexico City. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 20, p. 3383–3389, out. 1996.

JIN, M.; ZHANG, D.-L. Observed variations of leaf area index and its relationship with surface temperatures during warm seasons. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 80, n. 1-4, p. 117–129, 1 jun. 2002.

KARL, T. R.; WILLIAMS, C. N. An Approach to Adjusting Climatological Time Series for Discontinuous Inhomogeneities. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 26, n. 12, p. 1744–1763, dez. 1987.

KAWAMURA, M.; JAYAMANNA, S.; TSUJIKO, Y. Relation Between Social and Environmental Conditions in Colombo, Sri Lanka and the Urban Index Estimated by Satellite Remote Sensing Data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. XXXI, n. B7, p. 321–326, 1996.

KIM, Y.-H.; BAIK, J.-J. Maximum Urban Heat Island Intensity in Seoul. **Journal of Applied Meteorology**, v. 41, n. 6, p. 651–659, jun. 2002.

KOLOKOTRONI, M.; GIRIDHARAN, R. Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. **Solar Energy**, v. 82, n. 11, p. 986–998, nov. 2008.

KOLOKOTRONI, M.; ZHANG, Y.; WATKINS, R. The London Heat Island and building cooling design. **Solar Energy**, v. 81, n. 1, p. 102–110, jan. 2007.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de dados Geológicos**. 2. ed. Rio Claro: Edunesp, 2003.

LANDSBERG, H. O clima das cidades. **RDG Revista do Departamento de Geografia-...**, v. 18, p. 95–111, 2011.

LANDSBERG, H. E. Atmospheric changes in a growing community (the Columbia, Maryland experience). **Urban Ecology**, v. 4, n. 1, p. 53–81, maio 1979.

LANDSBERG, H. E. The Urban Climate. [s.l.] Academic Press, 1981.

LAPPONI, J. C. Estatistica Usando Excel. 4. ed. Rio de Janeiro: CAMPUS - RJ,

2005.

LEE, H.-Y. An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat islands. **Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere**, v. 27, n. 1, p. 1–13, mar. 1993.

LIMA, E. L. DE. O mito do "fator antrópico" no discurso ambiental geográfico. **Mercator**, v. 14, n. 3, p. 109 – 122, 2015.

LIU, L.; ZHANG, Y. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. **Remote Sensing**, v. 3, n. 12, p. 1535–1552, 13 jul. 2011.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de Calor nas Metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985.

LOPES, A. Drenagem e acumulação de ar frio em noites de arrefecimento radiativo. Um exemplo no vale de Barcarena (Oeiras). **Finisterra**, v. 30, n. 59-60, p. 149–164, 1995.

LOPES, A. et al. Lisbon Urban Heat Island Updated: New Highlights about the Relationships between Thermal Patterns and Wind Regimes. **Advances in Meteorology**, v. 2013, p. 1–11, 2013.

LOPES, A.; SARAIVA, J.; ALCOFORADO, M.-J. Urban boundary layer wind speed reduction in summer due to urban growth and environmental consequences in Lisbon. **Environmental Modelling & Software**, v. 26, n. 2, p. 241–243, fev. 2011.

LOWRY, W. P. Urban effects on precipitation amount. **Progress in Physical Geography**, v. 22, n. 4, p. 477–520, 1 dez. 1998.

LU, J. et al. Quantitative evaluation of urban park cool island factors in mountain city. **Journal of Central South University**, v. 19, n. 6, p. 1657–1662, 3 jun. 2012.

LUCENA, A. J. DE. Notas Conceituais e Metodológicas em Clima Urbano e Ilhas de Calor. **Revista Continentes**, v. 2, n. 2, p. 28 – 59, 2013.

MA, Y.; KUANG, Y.; HUANG, N. Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on

TM/ETM+ imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 12, n. 2, p. 110–118, 2010.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p. 517–523, 1 mar. 1987.

MARTIN-VIDE, J.; SARRICOLEA, P.; MORENO-GARCÍA, M. C. On the definition of urban heat island intensity: the "rural" reference. **Frontiers in Earth Science**, v. 3, p. 1 – 6, 2015.

MCGARIAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTAT: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structureGen. Tech. Rep. PNW-GTR-351**Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, , 1995.

MEMON, R. A.; LEUNG, D. Y. C.; LIU, C.-H. An investigation of urban heat island intensity (UHII) as an indicator of urban heating. **Atmospheric Research**, v. 94, n. 3, p. 491–500, nov. 2009.

MENDONCA, F. DE A.; MONTEIRO, C. A. DE F. **Clima Urbano**. 1. ed. [s.l.] Editora Contexto, 2003.

MIHALAKAKOU, G. et al. Application of Neural Networks to the Simulation of the Heat Island over Athens, Greece, Using Synoptic Types as a Predictor. **Journal of Applied Meteorology**, v. 41, n. 5, p. 519–527, maio 2002.

MIRZAEI, P. A.; HAGHIGHAT, F. Approaches to study Urban Heat Island – Abilities and limitations. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2192–2201, out. 2010.

MITCHELL, J. M. The Thermal Climate of Cities. In: **Symp. Air over Cities**. [s.l.] U.S. Public Health Service Publ. SEC, Tech. Rept, 1961. p. 131 – 143.

MOHAN, M. et al. Urban Heat Island Assessment for a Tropical Urban Airshed in India. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 02, n. 02, p. 127–138, 2012.

MONTÁVEZ, J. P.; RODRÍGUEZ, A.; JIMÉNEZ, J. I. A study of the urban heat island of Granada. **International Journal of Climatology**, v. 20, n. 8, p. 899–911, 30 jun. 2000.

MONTEIRO, C. A. DE F. Análise ritmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. Série Clim ed. São Paulo: Instituto de Geografia, 1971.

MONTEIRO, C. A. DE F. **Teoria e Clima Urbano**. [s.l.] Universidade de São paulo, 1976.

MONTEIRO, C. A. DE F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Geosul**, v. 5, n. 9, p. 61–79, 1990.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. Introduction to Linear Regression Analysis. 5. ed. [s.l.] John Wiley & Sons, 2012.

NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A. Geoquímica de gnaisses do arco magmático de Goiás na região sul do estado de Goiás. **Geologia USP - Serie Cientifica**, v. 7, n. 1, p. 19–28, 2007.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. 4. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

OESCH, D. C. et al. Lake surface water temperature retrieval using advanced very high resolution radiometer and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data: Validation and feasibility study. **Journal of Geophysical Research**, v. 110, n. C12, p. C12014, 2005.

OKE. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 7, n. 8, p. 769–779, ago. 1973.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, n. 3, p. 237–254, 18 jul. 1981.

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

OKE, T. R. Boundary layer climates. 2. ed. [s.l.] Routledge, 1987.

OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Geneva: IOM Report No.81, WMO/TD. No. 1250, 2006.

OLIVEIRA, M. DE; ALVES, W. S. A influência da vegetação no clima urbano de cidades pequenas: um estudo sobre as praças públicas de Iporá-GO. **Revista Territorial**, v. 2, n. 2, p. 61–77, 2013.

OLIVEIRA, S.; ANDRADE, H.; VAZ, T. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. **Building and Environment**, v. 46, n. 11, p. 2186–2194, nov. 2011.

PACIONE, M. Urban environmental quality and human wellbeing—a social geographical perspective. **Landscape and Urban Planning**, v. 65, n. 1-2, p. 19–30, set. 2003.

PAPANASTASIOU, D. K.; KITTAS, C. Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, n. 3-4, p. 407–416, 24 fev. 2012.

PARLOW, E.; VOGT, R.; FEIGENWINTER, C. The urban heat island of Basel – seen from different perspectives. **Die Erde**, v. 145, n. 1-2, p. 96–110, 2014.

PASZYNSKI, J. Mapping urban topoclimates. **Energy and Buildings**, v. 16, n. 3-4, p. 1059–1062, 1991.

PATTON, D. R. A Diversity Index for Quantifying Habitat "Edge". **Wildlife Society Bulletin**, v. 3, n. 4, p. 171 – 173, 1975.

PEREIRA, C. C. et al. Análise da temperatura de superfície e do uso da terra e cobertura vegetal na bacia barra dos coqueiros (Goiás). **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p. 1243–1255, 2012.

PETERSON, T. C. Assessment of Urban Versus Rural In Situ Surface Temperatures in the Contiguous United States: No Difference Found. **Journal of Climate**, v. 16, n. 18, p. 2941–2959, set. 2003.

PEZZUTO, C. C.; LABAKI, L. C.; MOTA, L. T. M. M. A. DE A. A Linear Model for Moving Measurements Estimation in Urban Climate Studies. **American Journal of Applied Sciences**, v. 8, n. 7, p. 685–690, 2011.

RAO, P. K. Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite.

Bulletin of the American Meteorological Society, n. 53, p. 647–648, 1972.

REN, Z. et al. Estimation of the Relationship between Urban Park Characteristics and Park Cool Island Intensity by Remote Sensing Data and Field Measurement. **Forests**, v. 4, n. 4, p. 868–886, 24 out. 2013.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Análises estatísticas no SAEG. 1. ed. Viçosa: UFV, 2001.

SAITOH, T. S.; SHIMADA, T.; HOSHI, H. Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 20, p. 3431–3442, out. 1996.

SALVADOR, M. DE A.; SANTOS, L. S. F. C. DOS. Análise da precipitação na cidade de São Paulo no período 1961-2009. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 7, p. 7–20, 2010.

SANTAMOURIS, M. **Heat Island Research in Europe: The State of the ArtAdvances in Building Energy Research**, 2007. Disponível em: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17512549.2014.897252>

SANTOS, N. B. F. DOS; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; FERREIRA, N. C. Distribuição espacial da temperatura de superfície no bioma cerrado: uma análise a partir de dados orbitais de resolução moderada, para o período de 2003 a 2008. **Ciência e Cultura**, v. 63, n. 3, p. 30 – 33, 2011.

SANTOS, M. Por uma outra globalização: do pensamemto único à consciência universal. 4. ed. [s.l.] Editora Record, 2000.

SARKAR, A.; DE RIDDER, K. The Urban Heat Island Intensity of Paris: A Case Study Based on a Simple Urban Surface Parametrization. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 138, n. 3, p. 511–520, 8 dez. 2011.

SEPIN. **Região Oeste Goiano (Eixo GO-060): Síntese Estatística**. Disponível em: http://www.imb.go.gov.br/pub/regplan/2007/09-oeste-sintese.htm. Acesso em: 6 dez. 2015.

SHASHUA-BAR, L. et al. Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 1, p. 44–57, 2010.

SHUN DJEN, C. The urban climate of Shanghai. **Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere**, v. 26, n. 1, p. 9–15, mar. 1992.

SILVA, A. P. DA; MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S. Mapeamento da Distribuição Espacial da População Utilizando o Método Dasimétrico: Exemplo de Caso no Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 37–48, 2013.

SIQUEIRA, L. M.; OLIVEIRA, M. M. DE; ALVES, W. S. Variação termo-higromética entre microclimas urbanos. **Revista Visão Acadêmica**, v. 4, n. 6, p. 62–80, 2013.

SOARES, A. **Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente**. 2. ed. Lisboa: IST Press, 2006.

SOUCH, C.; GRIMMOND, S. Applied climatology: urban climate. **Progress in Physical Geography**, v. 30, n. 2, p. 270–279, 1 abr. 2006.

SOUSA, S. B. DE; FERREIRA, L. G. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002 – 2011). **Confins**, n. 15, 18 jun. 2012.

SOUZA, L. C. L. et al. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 155–167, 2010.

SPECIAN, V.; SILVA JUNIOR, U. P. DA; VECCHIA, F. A. S. Padrão térmico e higrométrico para dois ambientes de estudo: área urbanizada e remanescente de cerrado na cidade de Iporá-GO. **Espaço & Geografia**, v. 16, n. 1, p. 255–277, 2013.

SPECIAN, V.; VECCHIA, F. A. S. Distribuição da frequência mensal da precipitação para região Oeste de Goiás: comparação entre dois postos pluviométricos. **Ateliê Geográfico**, v. 8, n. 1, p. 200–214, 2014.

SPRONKEN-SMITH, R. A.; OKE, T. R. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 11, p. 2085–2104, jan. 1998.

STEINK, E. T. Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público. [s.l.] Universidade de Brasília, 2004.

- STEINKE, E. T. Climatologia fácil. São Paulo: Oficina de textos, 2012.
- STEWART, I. D.; OKE, T. R.; KRAYENHOFF, E. S. Evaluation of the "local climate zone" scheme using temperature observations and model simulations. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 4, p. 1062–1080, 18 mar. 2014.
- SUN, C. **Urban heat island study between different size of towns and cities**9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment Urban. **Anais**...2015.
- SZŰCS, Á. Wind comfort in a public urban space—Case study within Dublin Docklands. **Frontiers of Architectural Research**, v. 2, n. 1, p. 50–66, mar. 2013.
- TAN, J. et al. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. **International journal of biometeorology**, v. 54, n. 1, p. 75–84, jan. 2010.
- TAN, M.; LI, X. Quantifying the effects of settlement size on urban heat islands in fairly uniform geographic areas. **Habitat International**, v. 49, p. 100–106, out. 2015. TING, D. S.-K. **Heat Islands Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas**. [s.l.] Earthscan LLC, 2012.
- TOROK, S. J. et al. Urban heat island features of southest Australian Towns. **Australian Meterological Magazine**, v. 50, p. 1–13, 2001.
- VELHO, L. F.; FONSECA, E. L. DA. **Distribuição de temperatura de superfície e sua relação com indicador socioeconômico Porto Alegre/RS**Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais**...João Pessoa: 2015.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2000.
- VIDAL, C. **Boletim técnico: análise sinótica**. Disponível em: http://tempo.cptec.inpe.br/bol tecnico.shtml>. Acesso em: 20 dez. 2014.
- VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Effects of urban surface geometry on remotely-sensed surface temperature. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 5, p. 895–920, jan. 1998.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, p. 370–384, 2003.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 4, p. 335–344, jul. 2009.

WHITACKER, A. M. Campo e cidade. Cidades médias e pequenas. Algumas proposições para a pesquisa e o debate. In: **Cidades médias e pequenas: teorias, conceitos e estudos de caso**. Série Estu ed. Salvador: [s.n.], p. 187 – 194.

WU, H. et al. Assessing the effects of land use spatial structure on urban heat islands using HJ-1B remote sensing imagery in Wuhan, China. **Intenational Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 32, p. 67–78, 2014.

XU, Y.; QIN, Z.; WAN, H. Spatial and Temporal Dynamics of Urban Heat Island and Their Relationship with Land Cover Changes in Urbanization Process: A Case Study in Suzhou, China. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 38, n. December 2010, p. 654–663, 12 fev. 2010.

YAGUE, C.; ZURITA, E.; MARTINEZ, A. Statistical analysis of the Madrid urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 25B, n. 3, p. 327–332, 1991.

YANG, F.; LAU, S. S. Y.; QIAN, F. Summertime heat island intensities in three highrise housing quarters in inner-city Shanghai China: building layout, density and greenery. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 115–134, jan. 2010.

YOSHINO, M. M.; TANAKA, M.; NAKAMURA, K. Formation of a cold air lake and its effects on agriculture. **Journal of Natural Disaster Science**, v. 3, n. 2, p. 1 – 14, 1981.

ZHANG, X. et al. Estimation of the relationship between vegetation patches and urban land surface temperature with remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 8, p. 2105–2118, 20 abr. 2009.

ZOULIA, I.; SANTAMOURIS, M.; DIMOUDI, A. Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. **Environmental monitoring and assessment**, v. 156, n. 1-4, p. 275–92, set. 2009.