

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GUILHERME CONOR CORAIOLA

**ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DA ILHA DE CALOR URBANA: ANÁLISE DE
ÁREAS VERDES E SUPERFÍCIES AQUÁTICAS EM LONDRINA (PR)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2014

GUILHERME CONOR CORAIOLA

**ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DA ILHA DE CALOR URBANA: ANÁLISE DE
ÁREAS VERDES E SUPERFÍCIES AQUÁTICAS EM LONDRINA (PR)**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Londrina como requisito parcial para obtenção do diploma de conclusão de curso.

Orientador: Prof. Dr. Admir Créso Targino.

LONDRINA
2014

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Estratégias de mitigação da ilha de calor urbana: análise de áreas verdes e superfícies aquáticas em Londrina (PR)

por

Guilherme Conor Coraiola

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 07 de agosto de 2013 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Profª. Dra. Patricia Krecl
(UTFPR – Câmpus Apucarana)

Profª. Dra. Patrícia Carneiro Lobo Faria
(UTFPR – Câmpus Londrina)

Prof. Dr. Admir Créso Targino
(UTFPR – Câmpus Londrina)
Orientador

Profª. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Adriane e José Ricardo, pelo amor, companheirismo, coragem, segurança, apoio e dedicação que nunca faltaram, nem nos momentos mais difíceis. Eu amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu professor e orientador, Prof. Dr. Admir Créso Targino, pelo aprendizado adquirido durante os cinco anos de estudo e pela oportunidade e confiança depositadas em mim.

Agradeço à Fundação Araucária (convênio número 470/2010) e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-Londrina) pelo financiamento dos sensores de temperatura do ar utilizados neste Trabalho de Conclusão de Curso, à EMBRAPA Soja (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) e ao Prof. Jorge Alberto Martins (UTFPR) pela cessão de dados meteorológicos.

Agradeço ao Corpo de Bombeiros de Londrina que não mediram esforços para apoiar e tornar possível a instalação de um sensor de temperatura do ar no meio do Lago Igapó II.

Agradeço ao IATE Clube de Londrina, Hotel Harbor Self Inn, Delegacia do Adolescente, Palhano Sports, Energy Gym, Depyl Action, Mobbille Cell, administradores dos edifícios Enseadas, Studio V e L'essence, à administradora do condomínio Residencial Margens do Igapó, ao Prof. Dr. Marcelo Stipp e à Profa. Dra. Nilza Freres Stipp pelo espaço cedido para instalação do sensor de temperatura do ar durante a campanha de monitoramento.

Agradeço à Teixeira Holzmann e à Flora Londrina pelas formidáveis informações fornecidas, as quais possibilitaram um maior conhecimento acerca do assunto.

Agradeço, por fim, aos meus amigos Lucas Abdala Motta, Jessica Klarosk Helenas, Paula Daolio Silveira e Rafael Ribeiro Felix pela paciência, amizade e companheirismo durante todos esses anos.

RESUMO

CORAIOLA, G. C. Estratégias de mitigação da ilha de calor urbana: análise de áreas verdes e superfícies aquáticas em Londrina (PR). 2014. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Guaduação em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

Neste estudo, investigou-se a distribuição espaço-temporal da temperatura do ar e sua relação com fatores locais, como radiação solar incidente, precipitação e cobertura do solo em Londrina, cidade de porte médio com 515.707 habitantes, localizada no norte do estado do Paraná. Para tal fim, a temperatura do ar foi monitorada entre 23 de maio e 19 de junho de 2013 em 14 locais distribuídos na zona sul da cidade, com diferentes padrões de cobertura do solo. Em média, a temperatura do ar foi maior em locais com predominância de telhado e asfalto durante dias de grande quantidade de irradiância solar (superior a 12 MJ m^{-2}). A precipitação mostrou ter influência direta no aquecimento da superfície e, portanto, selecionou-se um período de quatro dias para uma análise detalhada da influência da precipitação sobre a temperatura do ar. Esse período apresentou pequenas diferenças de temperatura entre os locais de monitoramento durante os dias de precipitação. A partir do segundo dia, a radiação solar incidente acumulada e a grande disponibilidade de água no solo dos locais com vegetação foram determinantes para a grande diferença de temperatura do ar entre esses locais e os locais mais urbanizados, visto que, em locais com maior umidade a energia disponível para aquecer a superfície é utilizada primeiramente para evaporação da água no solo e para evapotranspiração da vegetação. O terceiro e o quarto dia apresentaram pequenas diferenças de temperatura entre os locais durante a tarde devido à pouca disponibilidade de água no solo. Entretanto, durante a noite, os locais com características mais urbanas e o Lago Igapó II perderam calor mais lentamente e as diferenças de temperatura do ar voltaram a aparecer. Durante o estudo de caso, as diferenças de temperatura do ar entre os locais de monitoramento e as estações de referência (o Lago Igapó II e o Fundo de Vale) foram mínimas sob condições de grande precipitação. Locais na zona sudoeste e nordeste da área de estudo, com predominância de telhado e asfalto, apresentaram as maiores diferenças de temperatura com relação às estações de referência, principalmente no primeiro dia após a chuva, com a estação Mobbille Cell apresentando temperatura $4,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura do Fundo de Vale e $1,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura do Lago Igapó II, às 12 horas. A partir do segundo dia após a precipitação, durante as tardes, a diferença entre as temperaturas dos locais monitorados e as temperaturas das estações de referência eram mínimas. Nos dias subsequentes, as maiores diferenças de temperatura com relação as estações de referência foram $2,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ com relação ao Lago Igapó II e $3,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ com relação ao Fundo de Vale, durante a noite. Com o intuito de determinar economicamente a melhor estratégia de mitigação da ilha de calor urbana (ICU), o custo de implantação de um lago artificial e de um bosque foi levantado e mostrou-se que o custo de um bosque é cerca de 10% do custo de um lago artificial.

Palavras-chave: Temperatura do ar. Ilha de calor urbana. Clima urbano. Cobertura do solo.

ABSTRACT

CORAIOLA, G. C. Mitigation strategies of the urban heat island: analysis of green areas and water surfaces in Londrina (PR). 2014. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Guaduação em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

This study, investigated the spatial and temporal distribution of air temperature and its relation to local factors such as solar radiation, rainfall and soil cover in Londrina (PR). Londrina is a medium-sized city with 515,707 inhabitants, located in the northern state of Paraná. To this end, the air temperature was monitored between May 23 and June 19, 2013 at 14 sites distributed in the south of the city, with different patterns of land cover. On average, the air temperature was higher in places dominated roofing and asphalt for days of large quantities and solar irradiance (over 12 MJ m^{-2}). The precipitation was shown to have direct influence on the heating surface and therefore we selected a period of four days for a detailed analysis of the influence of precipitation on the air temperature. This period showed small temperature differences between the monitoring sites during the days of precipitation. From the second day, the cumulative incident solar radiation and the wide availability of soil water with the local vegetation were crucial to the large difference in air temperature between these locations and the most urbanized places, since in places with higher humidity the energy available to heat the first surface is used to evaporate the water in the soil and vegetation evaporation. The third and the fourth day showed small temperature differences between sites during the afternoon due to little moisture in the soil. However, overnight, the sites with more urban characteristics and the Lake Igapó II lost heat slower and differences in air temperature reappeared. During the case study, the differences between the air monitoring sites and the reference stations (the Igapó Lake II and Fundo do Vale) were minimal temperature under conditions of high rainfall. Places in the southwestern and northeastern zone of the study area, with predominant roof and asphalt, showed the greatest differences in temperature with respect to the reference stations, especially on the first day after rain, with the station presenting Mobbile Cell temperature $4.5 \text{ }^\circ\text{C}$ above the temperature of the Fundo do Vale and $1.8 \text{ }^\circ\text{C}$ above the temperature of Lake Igapó II at 12 hours. From the second day after rainfall during the afternoons, the difference between the temperatures of the monitored locations and temperatures from the reference stations were minimal. In subsequent days, the largest temperature differences regarding the reference stations were $2.4 \text{ }^\circ\text{C}$ with respect to Lake Igapó II and $3.4 \text{ }^\circ\text{C}$ with respect to the Fundo do Valley overnight. In order to economically determine the best strategy for mitigating the urban heat island (UHI), the cost of deploying artificial lake and implementation of a grove was raised and showed that the cost to implement a forest is about 10% of the cost of implantation of an artificial lake.

Palavras-chave: Air temperature. Urban heat island. Urban climate. Soil cover.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da população urbana e rural de Londrina entre 1940 e 2010.....	14
Figura 2 - Distribuição espacial da IICU média noturna (18:00 – 07:00 horas) no município de Londrina durante (a) períodos de frente fria, (b) períodos de alta pressão pós-frontal e (c) períodos de alta pressão estacionária.	15
Figura 3 - Principais causas da ilha de calor urbana.	21
Figura 4 - Esquema de um cânion urbano.	22
Figura 5 - Esquema de a) ganho de calor e b) perda de calor durante o dia entre uma árvore isolada e o ambiente urbano (Tl, Ta, temperaturas da folha e do ar).	24
Figura 6 - Climatologia da cidade de Londrina para o período de 1976-2012.	29
Figura 7 - Evolução anual da temperatura (a) mínima e (b) máxima média anual para Londrina no período de 1976 – 2012. A curva de ajuste linear (linhas tracejadas) e a fórmula de regressão estão representadas em cada gráfico.	30
Figura 8 - Uso e ocupação do solo na área de estudo no ano de (a) 2004 e (b) 2012.	31
Figura 9 - Localização da região de estudo e dos 14 locais de monitoramento. As siglas indicam os locais onde a temperatura do ar foi monitorada e são definidas na Tabela 1.	32
Figura 10 - Sistema de aquisição dos dados de temperatura do ar e caixa protetora contra radiação de onda curta direta e precipitação.....	33
Figura 11 - Sensor instalado a) no Lago Igapó II e b) no Edifício Lessence.	33
Figura 12 - Série temporal da irradiância solar medida nas três estações e as correlações da irradiância solar entre as estações b) EMBRAPA e UTFPR, c) UTFPR e SIMEPAR e d) EMBRAPA e SIMEPAR. As curvas de ajuste linear (linhas tracejadas), o número de amostras (n) e o coeficiente de correlação (r).....	35
Figura 13 - Foto ilustrativa do Lago Igapó II, um dos locais de referência deste estudo.	37
Figura 14 - Foto ilustrativa do Fundo de Vale do Lago Igapó II, local de referência deste estudo.	37
Figura 15 - Classificação da cobertura do solo nos 14 locais de monitoramento da temperatura do ar. Os dois retângulos classificados como gramíneas na estação PAL são caracterizados como grama sintética.	40
Figura 16 - <i>Boxplot</i> da temperatura média diária do ar dos locais de monitoramento durante a campanha de medições. O limite inferior das caixas é o percentil 25 e o superior é o percentil 75. O limite inferior das barras é o percentil 5 e o superior é o 95. A linha vermelha da caixa é a mediana.	42
Figura 17 - Série temporal da temperatura média diária dos locais monitorados durante a campanha de medições.	43
Figura 18 - Série horária da temperatura média do ar para os locais monitorados durante todo o período de estudo (a, b) e detalhe do período diurno do dia 30/05 (c) e madrugada do dia 31/05 (d).	44
Figura 19 - Série temporal de radiação solar monitorada na estação meteorológica da UTFPR e a dose de energia solar diária (linha vermelha) durante o período de estudo.	45
Figura 20 - Série temporal da precipitação acumulada diária monitorada na estação meteorológica da UTFPR durante o período de estudo.....	45
Figura 21 - Relação entre o tipo de cobertura do solo (barras verticais) e temperatura média máxima do ar (linhas) nos locais monitorados para os três grupos de dose de energia solar.	46
Figura 22 - Distribuição espacial da temperatura média mínima (painel superior) e média máxima (painel inferior) para as três classes de dose.	48

Figura 23 - Temperatura do ar [14 locais], irradiância solar e precipitação acumulada horárias no período entre 29/05 e 01/06.	50
Figura 24 - Distribuição espacial da temperatura média mínima (painel superior) e média máxima (painel inferior) do ar durante o período entre 29/05 e 01/06.	51
Figura 25 - Série horária da temperatura média do ar e da taxa de aquecimento/resfriamento dos locais de monitoramento selecionados (MOB, LES, RMI, LAG e VAL) para cada dia do período entre 29/05 e 01/06.	54
Figura 26 - Distribuição espacial horária da ICU entre os locais de monitoramento e a estação de referência VAL (esquerda) e LAG (direita) durante o dia 01/06.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagens da cobertura do solo da área de um raio de 150 metros ao redor do local monitorado.	41
Tabela 2 - Características meteorológicas diárias para o período entre 29/05 e 01/06.	49
Tabela 3 - Características meteorológicas diárias para o período entre 23/05 e 26/05.	50
Tabela 4 - Comparação entre a eficiência térmica do LAG e do VAL durante o período entre 29/05 e 01/06.	56
Tabela 5 - Custos de implantação de um lago artificial de 5.000 m² e 3 metros de profundidade.	57
Tabela 6 - Custos de implementação de um bosque de 5.000 m².	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Anticiclones Frios
APE	Alta Pressão Estacionária
ATE	Aterro do Lago Igapó
BHZ	Rua Belo Horizonte
BRAMS	Brazilian contributions to the Regional Atmospheric Modeling System
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CFD	Computational Fluid Dynamics
CO ₂	Dióxido de Carbono
DEL	Delegacia do Adolescente
ENS	Edifício Enseadas
FF	Frente Fria
GYM	Energy Gym
H	Altura do cânion
HAR	Hotel Harbor Self Inn
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IAT	Iate Clube de Londrina
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICALON	Ilha de Calor em Londrina
ICU	Ilha de Calor Urbana
IICU	Intensidade de Ilha de Calor Urbana
IPCC	Intergovernmental Panel on Change Climate
IPPUL	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina
IRU	Ilha de Resfriamento Urbano
L	Comprimento do cânion
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
LAG	Lago Igapó II
LES	Edifício L'essence
MBSCG	Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global
MOB	Mobille Cell
PAL	Palhano Sports
POP	População urbana
RMI	Residencial Margens do Igapó
SPRING	Sistemas de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
STU	Edifício Estúdio V
SVF	Sky View Factor
TEB	Town Energy Budget
TIJ	Rua Tijuca
Tmax	Temperatura Máxima
Tmin	Temperatura Mínima
Tn90	Índices de Noite Quente
Tx90	Índices de Dia Quente
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VAL	Fundo de Vale do Igapó II
W	Largura do cânion
WRF	Weather Research and Forecasting Model

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	14
2 OBJETIVOS DO ESTUDO	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 CLIMA URBANO	18
3.2 ILHA DE CALOR URBANA	19
3.2.1 Efeitos da geometria urbana	22
3.2.2 Efeitos da vegetação	23
3.2.3 Efeitos dos corpos d'água	25
3.3 MITIGAÇÃO DA ILHA DE CALOR URBANA E PLANEJAMENTO URBANO	26
4 METODOLOGIA	28
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	28
4.2 ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO DOS LOCAIS MONITORADOS	31
4.3 MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DO AR	33
4.4 OUTRAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	34
4.5 TRATAMENTO DOS DADOS	35
4.5.1 Segregação dos dados	35
4.5.2 Cálculo de IICU	36
4.5.3 Taxa de aquecimento/resfriamento	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO NOS LOCAIS MONITORADOS	39
5.2 DESCRIÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO	41
5.3 RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DO AR E IRRADIÂNCIA SOLAR	46
5.4 INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA TEMPERATURA DO AR VOLTADA AO PLANEJAMENTO URBANO	48
5.4.1 Relação entre a temperatura do ar, irradiância solar e precipitação acumulada diária	48
5.4.2 Efeito do resfriamento do Fundo de Vale e do Lago Igapó II sobre a área de estudo	51
5.4.3 Estratégias de mitigação e custos associados	56
6 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

As populações urbanas estão crescendo rapidamente em complexidade e tamanho, devido ao aumento da migração da população rural em direção aos conglomerados urbanos. A Organização das Nações Unidas (ONU, 2011) estima que em 2030 cerca de 60% da população mundial (5,0 bilhões) estará residindo em áreas urbanas. O rápido crescimento da urbanização a partir da metade do século XX, apesar de ter acelerado o desenvolvimento econômico e social, tem causado também inúmeros problemas ambientais, desde a escala local (por exemplo, erradicação de áreas verdes e impermeabilização dos solos) até a escala global (por exemplo, poluição atmosférica e aquecimento global) (KIM; BAIK, 2005; KLEEREKOPER et al., 2012).

O crescente aumento da população urbana provoca mudanças nas características físicas dos ambientes urbanos. Em uma escala local, algumas modificações influenciam, por exemplo, o clima no nível de cidade ou mesmo de um bairro, já que a temperatura e a umidade do ar são afetadas pela mudança da cobertura do solo. O aumento da temperatura em ambientes urbanos em relação a ambientes rurais é conhecido como *ilha de calor urbana* (ICU). De acordo com Oke et al. (1991), as temperaturas urbanas são mais elevadas devido à liberação de calor antropogênico por fontes fixas (por exemplo, indústrias e ares-condicionados) e móveis (por exemplo, carros e motos), ao armazenamento da radiação solar e terrestre pelas estruturas da cidade, à redução de espaços verdes e à estagnação de ar nos cânions urbanos. A sinergia desses fatores provoca danos à saúde da população e consequências negativas sobre o meio ambiente.

A cidade como um todo exerce influência nas condições climáticas regionais, as quais resultam em diferenças na cobertura de nuvens, precipitação, temperatura do ar e intensidade e direção do vento entre as áreas urbanas e rurais (JAUREGUI, 1991; KOLOKOTRONI; GIRIDHARAM, 2008). Em pequena escala, a geometria, o espaçamento e a orientação dos edifícios e os espaços externos influenciam fortemente o microclima de uma cidade com variações significativas em uma distância de poucos metros (KLEEREKOPER et al., 2012).

Lowry (1967) afirma que uma das razões para a diferença de temperatura entre a cidade e a periferia é o tipo de material presente na cobertura superficial. Em uma área de solo exposto, ou de florestas, ou de estrutura urbana, haverá diferenças na temperatura do ar adjacente, principalmente devido aos diferentes valores de albedo (razão entre a quantidade de radiação solar refletida e a quantidade de radiação solar recebida). A baixa taxa de evapotranspiração nos ambientes urbanos, causada pela retirada da vegetação e pavimentação das superfícies, é a principal causa do incremento das temperaturas do ar durante o dia (TAHA,

1997). Assim, lagos e bosques urbanos são fundamentais no controle da temperatura do ar, devido ao grande potencial de evaporação e evapotranspiração, respectivamente.

A diferença de temperatura do ar observada entre ambientes urbanos e rurais, também ocorre em menor escala, como consequência da diferença de cobertura do solo inerente à malha urbana. A modificação das características superficiais através da impermeabilização do solo, retirada das áreas verdes e assoreamento dos rios e lagos, favorecem uma maior absorção da radiação solar. Essa energia que antes era utilizada na evapotranspiração da vegetação e evaporação da água, através do fluxo de calor latente, será utilizada no aquecimento da superfície e, conseqüente, aumento da temperatura do ar, através do fluxo de calor sensível. Portanto, quantificar a porcentagem de elementos urbanísticos sobre a superfície é fundamental para relacionar as características morfológicas do local com o albedo e a temperatura do ar.

De acordo com Giguère (2009) e Gago et al. (2013), diversas estratégias de mitigação da ICU têm sido desenvolvidas, como a arborização dos centros urbanos, o planejamento urbano e a redução de elementos que liberam calor antropogênico. Muitos trabalhos mostram que parques urbanos são mais frios que as áreas edificadas de seu entorno, especialmente durante as noites sem nuvens e ventos fracos. Por exemplo, Upmanis et al. (1998) encontraram diferenças de temperatura de 5,9 °C entre áreas urbanizadas e um parque urbano na cidade de Gotemburgo (Suécia). Alguns estudos mostram que o clima frio dos parques frequentemente estende-se para além de seus limites, influenciando assim, as temperaturas dos ambientes ao redor (OKE, 1989; JAUREGUI, 1991; AHMAD, 1992; SPRONKEN-SMITH, 1994).

O processo de planejamento urbano deveria possuir uma estreita relação com o clima. Para Simonds (2007), o clima deve ser uma consideração fundamental, visto que o objetivo central do planejamento é criar um ambiente adequado para as necessidades humanas. Além disso, o estudo da climatologia urbana é de grande interesse acadêmico, visto que sua importância prática permite uma concepção adequada de edifícios e cidades a fim de garantir o máximo de conforto térmico e desempenho socioeconômico ideal (CHANDLER, 1976).

Os veículos motorizados emitem calor e diversos gases durante o processo de combustão. Esse calor permanece armazenado nos cânions urbanos com pouca ventilação e, dessa forma, reduz o conforto térmico da população. Além disso, as emissões dos veículos contribuem para a formação da poluição urbana e, conseqüentemente, para o aquecimento global através da absorção de radiação pela fuligem (*black carbon*) e gases precursores do ozônio (WATKINS et al., 2007). Portanto, um bom planejamento de transporte urbano é essencial para minimizar os ganhos de calor nesses ambientes (COUTTS et al., 2008).

A influência de um lago ou de vegetação na temperatura do ar de um bairro ou cidade é teoricamente perceptível pelo ser humano. Por exemplo, Steeneveld et al. (2011) mostraram que a qualidade de vida de pessoas que moram próximas de bosques na Holanda é influenciada pela área do bosque e por sua distância a ele. Webb e Zhang (1997) afirmam que o conforto térmico gerado por um corpo d'água influencia diretamente a qualidade de vida de pessoas que vivem ao redor.

1.1 JUSTIFICATIVA

Londrina é uma cidade de 515.707 habitantes (IBGE, 2012), localizada no norte do estado do Paraná, Brasil (latitude: $-23^{\circ}18'37''$, longitude: $-51^{\circ}09'46''$, altitude média: 585 m). A cidade foi fundada em 1934 pelos britânicos em uma área de floresta semi-decídua nativa que foi principalmente erradicada para dar espaço à cafeicultura (CHIES; YOKOO, 2012). A partir da década de 60, Londrina apresentou um rápido crescimento da população urbana, como mostrado na Figura 1.

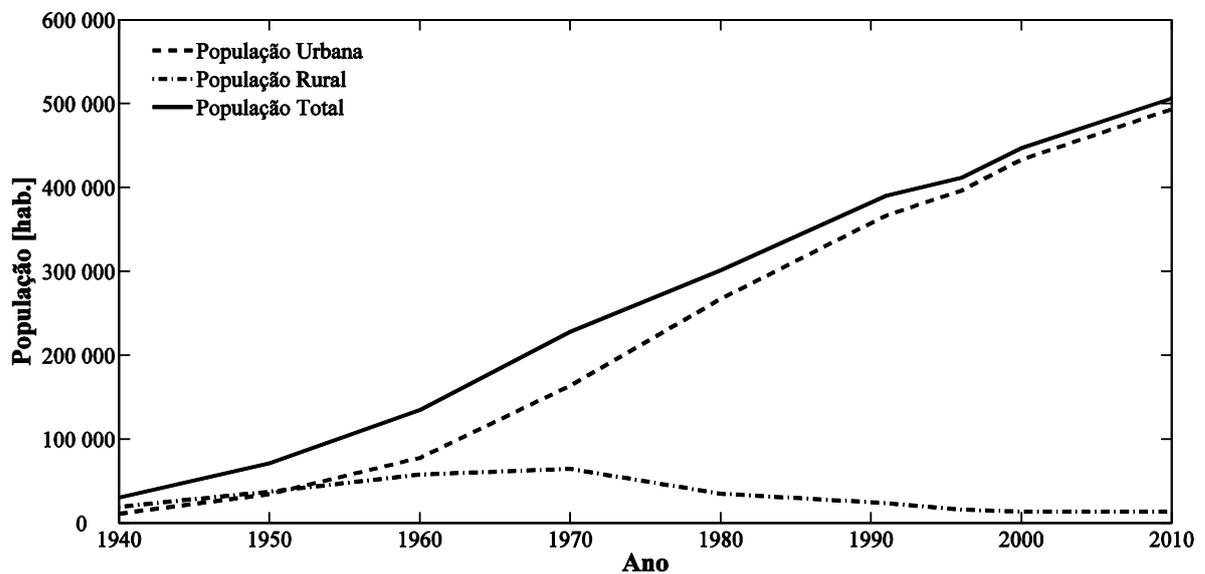


Figura 1 - Evolução da população urbana e rural de Londrina entre 1940 e 2010.

Fonte: Autoria própria. Dados: IBGE (2014).

A rápida urbanização, extinção das áreas verdes e expansão das construções verticais, com aumento significativo dos materiais de alta admitância térmica, causaram o surgimento da ilha de calor na região urbana de Londrina em relação às áreas circunvizinhas (TARGINO et al., 2014). No intuito de mapear a distribuição espaço-temporal do campo térmico em Londrina e determinar a intensidade da ilha de calor urbana (IICU), Targino et al. (2014) e Martins (2013)

monitoraram a temperatura do ar no inverno (junho – agosto) de 2011 e no verão (dezembro – março) de 2011/2012, através do projeto Ilha de Calor em Londrina (ICALON). O primeiro estudo mostrou que as altas IICU foram registradas durante a noite e sob a influência de sistemas de alta pressão estacionária (caracterizados pela ausência de nuvens, alta incidência de radiação solar e velocidade do vento inferior a $2,0 \text{ m s}^{-1}$) em locais com predominância de asfalto e telhado, como por exemplo, na Rua Belo Horizonte, *BHZ* (centro de Londrina) e no Edifício L'essence, *LES* (bairro Gleba Palhano), como mostra a Figura 2. A intensidade da ilha de calor foi determinada pela diferença de temperatura entre cada um dos 12 pontos de monitoramento e a estação de referência da Universidade Estadual de Londrina (UEL), localizada na periferia da cidade com grande predomínio de cobertura vegetal.

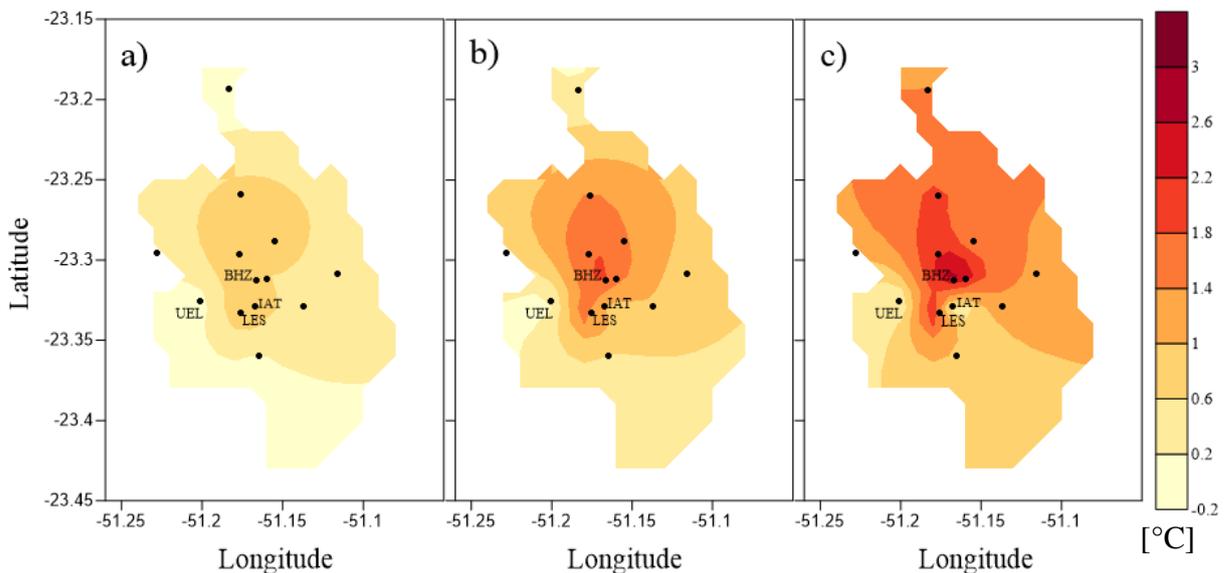


Figura 2 - Distribuição espacial da IICU média noturna (18:00 – 07:00 horas) no município de Londrina durante (a) períodos de frente fria, (b) períodos de alta pressão pós-frontal e (c) períodos de alta pressão estacionária.

Fonte: TARGINO et al., 2014.

Nesse estudo, um forte gradiente médio de temperatura do ar foi observado entre a região central e as periféricas da cidade (Figura 2). Especificamente, observou-se um gradiente de $7,7 \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$ entre os sítios LES e o Iate Clube (IAT) no dia 15 de julho de 2011 às 21:00, sob sistema de alta pressão estacionária. O Iate Clube está localizado às margens do Lago Igapó II e, desta forma, o microclima ao seu redor é influenciado pelas circulações atmosféricas locais causadas pelo lago. A partir da evidência desse forte gradiente de temperatura, cresceu o interesse em aprofundar o estudo da área ao redor do Lago Igapó II.

Um aspecto importante no presente trabalho é a utilização de dados monitorados *in situ*, visto que muitos estudos sobre o clima urbano obtêm dados de temperatura de superfície

através do uso de sensoriamento remoto (e.g., JIN, 2012; TOMLINSON et al., 2012). Embora alguns produtos de satélite possuam resolução espacial entre 30 e 260 m (por exemplo, LANDSAT e CBERS, respectivamente), a resolução temporal é limitada (16 e 26 dias, respectivamente). Visto que a dinâmica e intensidade de ICU depende da situação sinótica, que pode variar no decorrer de poucas horas/dias, a baixa resolução temporal dos dados satelitais dificulta a caracterização horária ou diária da ICU.

Muitos modelos numéricos de previsão meteorológica utilizam dados de temperatura de superfície, obtidos a partir do sensoriamento remoto, para estudar a formação da ICU em várias cidades do mundo, com diferentes situações sinóticas predominantes e diferentes coberturas do solo. Freitas (2009) utilizou o modelo BRAMS com a ativação de parametrização específica para o tratamento de áreas urbanas (o esquema TEB, proposto por MASSON, 2000) e mostrou que o município de Campinas (SP), com uma população de cerca de 1 milhão de habitantes, também apresenta condições para a formação de uma ICU, com diferença de 3,0 °C entre pontos da cidade. Fallmann et al. (2013) utilizaram o modelo de previsão e investigação do tempo (WRF) para simular e avaliar a ICU com base nas condições de contorno a partir de observações e modelos climáticos globais. Além disso, esses estudos utilizam mapas de uso do solo de alta resolução, imagens térmicas de LANDSAT e medições *in situ*. Portanto, os estudos que realizam monitoramento *in situ* são de grande interesse durante a validação e comprovação dos resultados desses modelos numéricos.

2 OBJETIVOS DO ESTUDO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar estratégias de mitigação da ilha de calor urbana na região adjacente ao Lago Igapó II na cidade de Londrina, Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a distribuição espaço-temporal da temperatura do ar na área de estudo;
- Estabelecer relações entre as propriedades locais (cobertura do solo e topografia), as temperaturas nos locais monitorados e outros fatores meteorológicos (precipitação e radiação solar incidente);
- Avaliar a influência do Lago Igapó II e de um resquício de fundo de vale na temperatura do ar dos locais monitorados;
- Determinar a eficiência de possíveis estratégias de mitigação da ilha de calor urbana e relacioná-las com o planejamento urbano da cidade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CLIMA URBANO

A temperatura do ar é, juntamente com a precipitação, umidade, pressão e velocidade do vento, uma das variáveis mais utilizadas para caracterizar o clima. Esta é uma medida do teor de energia térmica da atmosfera, que no interior da camada limite atmosférica (a partir da superfície até 100-3000 m), é significativamente influenciada pelo transporte de calor entre a superfície e o ar. Assim, a temperatura do ar por si só pode ser usada para detectar a variação espacial e temporal da troca de energia entre a superfície e o ar (JANSSON, 2006). Além disso, a temperatura do ar é uma propriedade importante do clima urbano que tem implicações em outras áreas, como saúde (JANSSON, 2006), consumo energético (HIRANO; FUJITA, 2012; MADLENER; SUNAK, 2011) e química da atmosfera (WALCEK; YUAN, 1995).

A urbanização tem gerado inúmeras mudanças tanto nos grandes centros urbanos como em cidades de porte médio. Exemplo de mudanças ambientais causadas pela urbanização incluem a modificação da cobertura do solo, alteração dos recursos hídricos, redução da quantidade de vegetação, introdução de materiais da construção civil, e inclusão de fontes antropogênicas de calor, como veículos motorizados e ar-condicionados. Consequentemente, o desenvolvimento urbano provoca mudanças no comportamento físico da paisagem, afetando suas propriedades hidrológicas, radiativas, aerodinâmicas e térmicas, que por sua vez afetam a troca de calor, massa e momento entre a superfície e a baixa troposfera. Finalmente, estas alterações resultam no desenvolvimento de um “clima urbano” que se diferencia dos seus arredores (LANDSBERGER, 1981; OKE, 1987).

A paisagem urbana cria um clima local diferente da área rural circundante. O efeito mais bem documentado é a ICU, identificada em muitos estudos como diferenças de temperatura do ar urbano-rural de até 12,0 °C durante as noites calmas e sem nuvens (por exemplo, OKE, 1981). As cidades, no entanto, muitas vezes compreendem um mosaico de áreas quentes e frias devido às heterogeneidades no uso do solo. Como exemplo, a mudança da superfície entre os bosques e as áreas construídas podem produzir temperaturas no perímetro urbano com diferenças de até 7,0 °C (SPRONKEN-SMITH; OKE, 1998; UPMANIS et al., 1998). Em geral, os materiais urbanos utilizados na cidade contribuem positivamente com a ICU devido a maior capacidade de armazenar calor. Oke et al. (1991) argumentam que as principais causas da ICU são as diferenças na admitância térmica dos materiais e a geometria

da rua. Outros fatores importantes que podem intensificar a ICU são as fontes de calor antropogênicas, a poluição do ar e a diminuição da evapotranspiração (OKE, 1987).

A paisagem urbana influencia o padrão de vento e reduz a sua intensidade. As árvores e edifícios reduzem o efeito do vento, mas podem também criar locais com maior velocidade do vento e circulações turbulentas numa microescala (LEE, 1987; OKE, 1987). O padrão de vento urbano também inclui micro-advecções induzidos por diferenças de temperatura dentro das cidades como a brisa rural, induzida pela ICU e dirigida de áreas rurais para o centro da cidade (ELIASSON; HOLMER, 1990; HAEGER-EUGENSSON; HOLMER, 1999) e a brisa de parque, que é a saída de ar frio de parques e bosques em direção ao entorno (ELIASSON; UPMANIS, 2000). Durante o dia, o ar na cidade é geralmente mais seco do que nas áreas rurais, enquanto a condição oposta prevalece durante a noite (LEE, 1991; HOLMER; ELIASSON, 1999).

3.2 ILHA DE CALOR URBANA

As modificações de uso da terra devido à urbanização podem alterar o balanço de energia nas cidades, que por sua vez afeta o ambiente térmico urbano, resultando no efeito de ICU (HART; SAILOR, 2009). A ICU pode gerar consequências à saúde humana e ao conforto térmico (VOOGT, 2002; HUANG et al., 2005), alterar a fotoquímica da cidade e intensificar a poluição do ar (por exemplo, a taxa de produção de ozônio é $6,98 \text{ ppb h}^{-2}$, sob condições urbanas mais aquecidas, e $3,08 \text{ ppb h}^{-1}$, sob condições suburbanas, de acordo com Walcek; Yuan, 1995), iniciar ou afetar a formação de tempestades convectivas (JAUREGUI; ROMALES, 1996; BORNSTEIN; LIN, 2000), e afetar o consumo de energia elétrica de uma cidade através de impactos no aquecimento e resfriamento (AKBARI et al., 2001; KOLOKOTRONI, 2007).

Está se tornando cada vez mais importante fornecer resiliência à infraestrutura urbana, para suportar os efeitos induzidos pelas alterações climáticas locais. Inundações, ventos fortes e aumento das temperaturas do ar apresentam riscos diferentes para as cidades. O aumento da temperatura média do ar e a frequência das ondas de calor indicam que o efeito da ICU nas regiões vulneráveis será intensificado (HATHWAY; SHARPLES, 2012). A ICU é um fenômeno complexo, que envolve a interação de vários elementos do sistema atmosférico (por exemplo, clima local e fatores meteorológicos) com variáveis locais, tais como tamanho e localização geográfica da cidade, morfologia, geometria de cânions urbanos, propriedades térmicas de materiais, albedo, redução da superfície evaporativa e a produção de calor antropogênico (OKE, 1987; TAHA et al., 1988). Sabe-se ainda que a ICU é mais forte em

noites claras e ventos fracos e apresenta variações diurnas e sazonais (JAUREGUI, 1997; KLYSIK; FORTUNIAK, 1999; MORRIS et al., 2001; KIM; BAIK, 2002; TARGINO et al., 2014).

A substituição de superfícies de baixa admitância térmica, como áreas de água e vegetação, por superfícies de alta admitância térmica, tais como concreto e asfalto, provoca uma mudança na partição do fluxo de energia à superfície. Como superfícies impermeáveis têm uma elevada capacidade de armazenar calor, a temperatura do ar aumenta quando em contato com a superfície aquecida. A ICU também está condicionada por variáveis regionais e globais, como a radiação solar, precipitação e o campo de vento em larga escala que, por sua vez, estão relacionados com as condições sinóticas (KIM; BAIK, 2005; HART; SAILOR, 2009). Altas intensidades de vento e/ou a cobertura de nuvens, geralmente observadas durante a passagem de frentes frias, criam um campo térmico mais homogêneo (KIDDER; ESSENWANGER, 1995), enquanto condições de ventos calmos e céu claro, geralmente observadas em sistemas anticiclônicos, favorecem o desenvolvimento de uma ICU mais intensa (NKEMDIRIM, 1980; UNGER, 1996), pois nessa situação os materiais respondem de forma diferente à incidência de radiação solar.

Targino et al. (2014) observaram que as taxas de resfriamento em pontos urbanos e rurais em Londrina são diferentes, evidenciando uma influência dos materiais sobre o campo térmico. Uma fase de resfriamento diferencial acompanhada por uma diminuição na intensidade do vento antes do pôr do sol foi observada, seguida por uma fase de transição, caracterizada por um rápido aumento na intensidade do vento e decréscimo das taxas de resfriamento. Na fase final (estabilização), os gradientes de pressão entre as áreas urbanas e rurais desencadeiam um transporte advectivo de calor entre estes ambientes. Como as massas de ar são trocadas, a diferença de temperatura e as velocidades de arrefecimento diminuem e permanecem pequenas até a saída do sol, quando um novo ciclo começa. A mudança do aquecimento diurno para o resfriamento noturno começou 2-3 horas antes do pôr do sol, sendo que até cerca de 16:00 horas os locais apresentaram arrefecimento na mesma taxa (entre 0,13 e -0,27 °C h⁻¹) independente do tipo de cobertura do solo. Às 17:00 horas, a taxa de resfriamento na estação de referência do estudo (Universidade Estadual de Londrina) começou a divergir, atingindo a maior taxa às 18:00 hs (-2,6 °C h⁻¹), enquanto que a estação urbana (BHZ) apresentou uma taxa mais baixa (-1,25 °C h⁻¹). Durante o resto da noite, o resfriamento foi mais lento, e aproximadamente 4 horas antes do nascer do sol, houve pouca diferença nas taxas de arrefecimento entre os locais, embora as temperaturas do ar ainda diferiram e permaneceram assim durante toda a noite. Esse comportamento segue o modelo conceitual sugerido por Haeger-Eugensson e Holmer (1999).

Além de fatores relacionados com ocupação do solo, alguns autores (OKE, 1973; PARK, 1986) demonstraram que a IICU aumenta com o crescimento da população (POP) e estabeleceram relações funcionais entre essas variáveis na América do Norte (Equação 1) e na Europa (Equação 2). O coeficiente de determinação (R^2) indica o quanto a proporção da variável POP explica a proporção da variável independente IICU. Quanto maior o valor de R^2 melhor explicada será a relação entre a população urbana e a IICU.

$$IICU = 2,96 * \log POP - 6,41, \quad R^2 = 0,96 \quad (\text{Eq. 1})$$

$$IICU = 2,01 * \log POP - 4,06, \quad R^2 = 0,94 \quad (\text{Eq. 2})$$

Kim e Baik (2004) mostraram que a IICU nas grandes cidades da Coreia tende a ser mais fraca em cidades costeiras do que nas do interior do país. Ichinose et al. (1999) demonstraram que a ICU é mais intensa no inverno devido à maior contribuição do calor antropogênico no inverno na cidade de Tóquio (Japão).

Segundo Oke (1987); Santamouris (2001) apud Kleerekoper et al. (2012), as principais causas da ICU são (Figura 3):

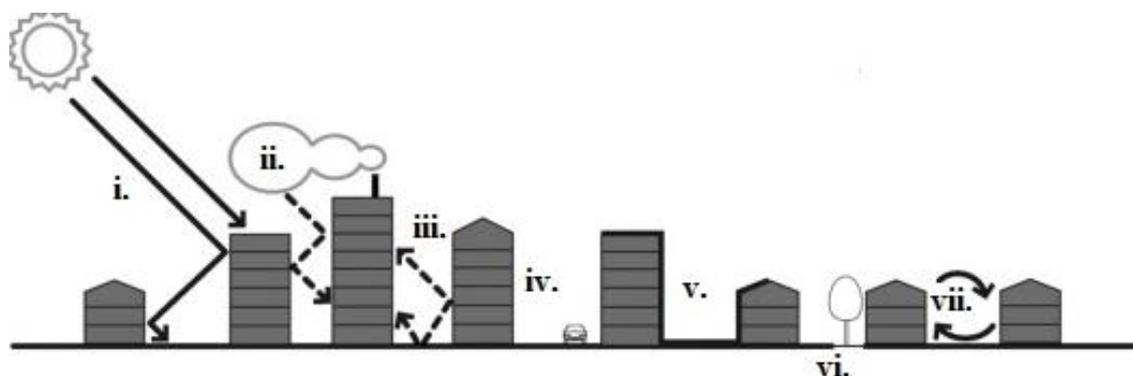


Figura 3 - Principais causas da ilha de calor urbana.
Fonte: Kleerekoper et al., 2012.

- i. Absorção e aprisionamento de radiação de onda curta por materiais de baixo albedo e as múltiplas reflexões entre as construções e a superfície;
- ii. A poluição atmosférica urbana absorve a radiação de onda curta e emite radiação de onda longa para o ambiente urbano;
- iii. Aprisionamento da radiação de onda longa e radiação de onda curta por espalhamento múltiplo;

- iv. Calor antropogênico resultante dos processos de combustão, como o tráfego veicular e indústrias;
- v. Aumento de calor armazenado na estrutura urbana;
- vi. A evapotranspiração nas áreas urbanas decresce devido à substituição de materiais de baixo potencial energético por materiais de alto potencial energético;
- vii. Redução de transporte de calor.

3.2.1 Efeitos da geometria urbana

O termo cânion urbano é usado para se referir a uma rua com edifícios alinhados continuamente ao longo de ambos os lados (NICHOLSON, 1975). Os estudos de cânions urbanos levam em consideração a orientação, a altura (H), a largura (W) e o comprimento (L) do cânion (NUNEZ; OKE, 1977). As dimensões de um cânion urbano são geralmente expressas pela razão H/W (Figura 4) e é chamado de profundo quando essa razão for superior a 2. A razão L/H expressa a distância entre dois principais cruzamentos, subdividindo cânions urbanos em curto (L/H=3), médio (L/H=5) e longo (L/H=7) (VARDOULAKIS et al., 2003).

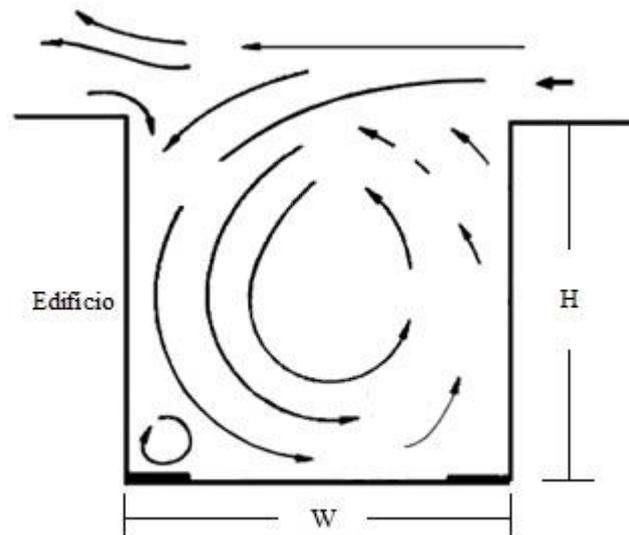


Figura 4 - Esquema de um cânion urbano.
Fonte: Dabberdt et al., 1973 (Adaptado).

Para estudos de ICU nos cânions urbanos, considera-se o ângulo de incidência de radiação solar, o albedo e a emissividade da superfície, a temperatura do ar o fator de visão do céu (do inglês, *Sky View Factor*, SVF). O SVF varia de 0 a 1 e é calculado como a quantidade de céu visível quando visto de baixo para cima, a partir de uma fotografia *olho de peixe* retirada

do nível da rua (ELIASSON, 2000). O valor do SVF próximo de 1 denota um céu completamente visível, ou seja, onde pode ocorrer o esfriamento mais rápido do cânion urbano, devido à perda de radiação infravermelha, enquanto o valor próximo de 0 denota um céu bloqueado por obstáculos (edifícios, casas, árvores, etc.), ou seja, onde a retenção de energia pelo cânion urbano é maior.

A influência da geometria dos cânions nas perdas de calor pelas construções ou a demanda por refrigeração é de relevância direta para o armazenamento de energia. Assim, o conhecimento do microclima dos cânions urbanos em relação à sua geometria e às forçantes meteorológicas externas é de essencial importância para o planejamento urbano (THUROW, 1983; OKE, 1988).

3.2.2 Efeitos da vegetação

A presença de um parque com vegetação proporciona uma diferença térmica quando relacionada com seus arredores pavimentados e, por isso, tem sido identificada como um possível fator para minimizar o efeito da ICU (por exemplo, AVISSAR, 1996; YO; HIEN, 2006). Os parques urbanos com vegetação geralmente são mais frios em comparação com o resto da cidade.

Upmanis et al. (1998) encontraram diferenças de temperatura do ar entre parques e seus arredores (ΔT_{u-p}) na cidade de Gotemburgo à noite ($\Delta T_{u-p} = 5,9$ °C para um parque com 156 hectares, Slottsskogen, e 1,7 °C para um parque com 2,4 hectares, Gubberoparken). Este fato foi explicado por uma taxa de resfriamento mais rápida quando comparado com seu entorno urbano, concordando com o estudo realizado por Oke (1989). Os fatores importantes identificados nesse processo foram a dinâmica de armazenamento de calor e o saldo de radiação de ondas longas (SPRONKEN-SMITH; OKE, 1999). Oliveira et al. (2011) observaram diferenças de 6,9 °C na temperatura do ar dentro e fora de um parque com 0,24 hectares em Lisboa, sugerindo que as áreas verdes apresentam um efeito de resfriamento no ambiente atmosférico circundante.

Steenefeld et al. (2011) encontraram uma significativa correlação negativa entre a cobertura de vegetação e a intensidade de ICU em várias cidades da Holanda. Outros estudos demonstram a grande importância da vegetação e da proteção das áreas arborizadas no processo de mitigação do efeito da ICU (WILMERS, 1991; AVISSAR, 1996; PARK et al., 2012). As áreas verdes resfriam-se através de: a) sombreamento sazonal de infraestruturas, evitando a chegada de radiação de onda curta no solo, o que reduz o seu aquecimento; b) evapotranspiração

de árvores e plantas, através do fluxo de calor latente; c) minimização das diferenças de temperatura do solo, visto que, com o aumento da área sombreada e o aumento da utilização da radiação solar para o processo de evapotranspiração, ocorre diminuição do aquecimento da superfície através do fluxo de calor sensível, como mostra a Figura 5.

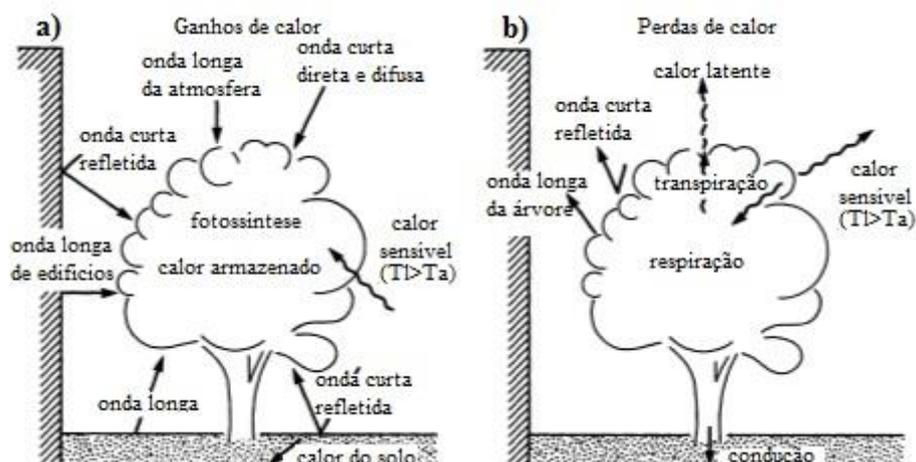


Figura 5 - Esquema de a) ganho de calor e b) perda de calor durante o dia entre uma árvore isolada e o ambiente urbano (T_l , T_a , temperaturas da folha e do ar).
Fonte: Oke, 1989 (Traduzido).

Os estudos conduzidos à noite em parques ou bosques mostram que o parque esfria mais rapidamente do que a área construída ao seu redor (LEWIS et al., 1971; OKE, 1989). Em um estudo de resfriamento da superfície em parques urbanos, realizado à noite, Spronken-Smith (1994) descobriu que o processo dominante é a transferência radiativa, embora o processo de evapotranspiração, durante o dia, e a admitância térmica também são significativos.

Saito et al. (1991) observaram que, durante o dia, a temperatura do ar é menor em parques do que nas áreas construídas circundantes ($\Delta T_{u-p} = 4,0 \text{ }^\circ\text{C}$) devido ao sombreamento proporcionado pelas árvores. Por outro lado, Jauregui (1991) explicou as temperaturas mais elevadas ($\Delta T_{u-p} = 6,0 \text{ }^\circ\text{C}$) durante o dia, relativas a um local urbano em Chapultepec, Cidade do México, em termos do seu efeito de inércia térmica ser maior, o que resultou em um atraso em alcançar a sua temperatura máxima. O conceito de inércia térmica está relacionado com a capacidade térmica da estrutura por unidade de área, que é o produto da densidade, da espessura e do calor específico do material (PAPST, 1999). Esses resultados confirmam a contribuição potencial de áreas verdes como medida de mitigação dos efeitos adversos da ICU e os potenciais efeitos adicionais do aquecimento global nas cidades.

3.2.3 Efeitos dos corpos d'água

A grande importância dos corpos de água para o clima urbano é a sua influência sobre a transformação dos fluxos de calor sensível e latente (SUN; CHEN, 2012). Por um lado, a elevada capacidade térmica produz o *efeito termostato* (equilíbrio da temperatura do ar) dos corpos de água em comparação com os materiais de construção (SPRONKEN-SMITH; OKE; LOWRY, 2000). Por outro lado, a alta taxa de evaporação gera o *efeito oásis* dos corpos de água e desempenha um papel importante na redução da temperatura da superfície do ar circundante (OKE, 1987). De acordo com Bowler et al. (2010), Chang et al. (2007) e Rizwan et al. (2008), os corpos d'água funcionam como uma ilha de resfriamento urbano (IRU), pois apresentam menores temperaturas do que os ambientes próximos.

A água pode reduzir a temperatura do ar por evaporação, transporte de calor para fora da cidade ou como um lento armazenador de calor. O efeito da água sobre o microclima geralmente é mais eficiente quando há uma grande superfície (lago), quando a água está fluindo (rio) ou quando se dispersa água (fonte) (KLEEREKOPER, 2009). Um estudo feito em Bucareste (Romênia) mostra o efeito de resfriamento de um lago de 4,4 m de profundidade. A taxa de arrefecimento foi de $1,0 \text{ }^\circ\text{C m}^{-1}$ de profundidade, medido a 30 m de distância do local monitorado (ROBITU et al., 2004). Murakawa et al. (1990) observou que a água corrente de um rio tem um efeito de resfriamento maior do que a água estagnada de lago, entretanto, a água dispersada, como de uma fonte, tem o maior efeito de resfriamento do ar. A partir disso, o efeito de arrefecimento do Rio Ota, localizado em Hiroshima (Japão), diminuiu em $5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ a temperatura do ar diretamente acima do rio, expandindo-se a 100 m das margens do rio. Também no Japão, Nishimura et al. (1998) obtiveram uma redução de $3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ na temperatura do ar a sotavento de uma fonte, e seu efeito pôde ser sentido até 35 m de distância.

A temperatura da água de um rio é fundamentalmente controlada pelos fluxos de energia que influenciam o curso de água (PLUHOWSKI, 1970; STEVENS et al., 1975; JOSS; RESELE, 1987). Um rio recebe energia da radiação solar, da radiação de onda longa da atmosfera, do calor adquirido por precipitação, das descargas de efluentes e suas vazões de entrada, do calor gerado pelo atrito, da condensação e dos processos biológicos e químicos. As perdas de energia ocorrem através da reflexão da radiação, da troca de calor latente associado com a evaporação e da advecção de calor na evaporação de água. As trocas de calor sensível entre a superfície da água e o ar sobrejacente, a condução entre a água e o limite do canal e o calor adquirido por águas subterrâneas podem adicionar ou subtrair energia de um trecho do rio, dependendo das condições meteorológicas e hidrológicas locais (WEBB; ZHANG, 1997).

O processo que gera o maior efeito depende do ambiente local. A direção do fluxo de calor varia durante o ciclo diurno, por exemplo, absorvendo a radiação solar durante o dia, e irradiando a radiação de onda longa durante o dia e a noite (HATHWAY; SHARPLES, 2012).

O albedo da água do rio varia com o ângulo de incidência da radiação solar e da quantidade de partículas suspensas. Portanto, a ocorrência de chuvas intensas, resultando em grandes entradas de águas pluviais no rio, não só irá aumentar as taxas de fluxo, mas também o nível de partículas em suspensão e, assim, mudar o albedo em uma base diária e anual. Juntamente com a radiação, a transferência de calor por evaporação também demonstrou ser importante para a remoção de calor do rio (WEBB; ZHANG, 1997). À medida que a temperatura do rio diminui devido à evaporação, a umidade do ar circundante aumenta e a diferença de temperatura também e, por sua vez, o potencial de resfriamento sensível do ar também irá aumentar. Webb e Zhang (1997) encontraram que o fluxo de calor por evaporação variou significativamente com as condições meteorológicas, aumentando com altas intensidades de vento e baixa umidade do ar.

3.3 MITIGAÇÃO DA ILHA DE CALOR URBANA E PLANEJAMENTO URBANO

Brazel et al. (2009) sugeriram que a melhor estratégia para a mitigação da ICU pode variar de bairro para bairro. Em pequena escala, o estudo dos fluxos de calor urbano oferece a oportunidade de explorar novas opções para a concepção de cidades que minimizem o uso de recursos e maximizem os objetivos sociais, econômicos e ambientais.

Existem muitas estratégias de mitigação de ICU que utilizam conhecimentos de várias áreas profissionais, incluindo planejamento urbano, arquitetura, ciências atmosféricas, e gestão de recursos naturais e transporte. Uma das estratégias é o desenvolvimento de novos materiais com maior albedo, com o intuito de absorver menos radiação solar e, conseqüentemente, aquecer menos o ambiente. Este tipo de medida mitigadora apresenta outros benefícios, como a redução da demanda de energia, do consumo de água e da poluição do ar, incluindo as emissões de gases de efeito estufa (GAGO et al., 2013).

Gago et al. (2013) apresentaram estratégias de mitigação da ICU aplicáveis na fase de elaboração do projeto de planejamento urbano e, portanto, afetariam diretamente as temperaturas da cidade em uma escala local. Os elementos analisados naquele estudo incluem vegetação, superfícies pavimentadas, bem como os tipos e materiais de construção. A discussão reflete o impacto da morfologia urbana nas temperaturas locais, e de como o desenho urbano

pode ser modificado para reduzir o consumo de energia elétrica e as emissões atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂).

Steenefeld et al. (2014) sugerem utilizar a evaporação de corpos d'água como uma estratégia de mitigação do efeito da ICU e possível preservação do conforto térmico. De acordo com Sun e Chen (2012), a área do corpo de água, a geometria, a localização e a proporção de construções no entorno afetam significativamente o microclima ao redor dos corpos d'água. Esse estudo fornece aos arquitetos e planejadores aplicações úteis para o desenvolvimento de projetos paisagísticos otimizados na utilização dos efeitos de resfriamento proporcionados pelos corpos d'água, visto que têm aumentado as preocupações relacionadas ao aquecimento global e à rápida urbanização. Tentativas têm sido feitas para estudar o microclima de parques e jardins da cidade usando medições *in situ* e dados de estações meteorológicas (CHEN; WONG, 2006; HUANG et al., 2008; JAUREGUI, 1991; SHASHUA-BAR; HOFFMAN, 2000).

A presença das áreas verdes proporciona outros benefícios ao microclima urbano, como: a) a melhoria da qualidade do ar através da produção de oxigênio, da captura de CO₂ e da filtração de partículas em suspensão; b) a redução da demanda de energia elétrica para aparelhos de ar condicionado (GIGUÈRE, 2009); c) a melhoria da qualidade da água através da retenção da água da chuva no solo e controle de erosão do solo (GIGUÈRE, 2009); d) os benefícios à saúde da população, incluindo a proteção contra a radiação solar ultravioleta, redução do estresse térmico e proporcionando espaços para o exercício ao ar livre (CHIESURA, 2004; ROWNTREE; NOWAK, 1991).

4 METODOLOGIA

Este estudo foi dividido em seis etapas: 1) escolha e caracterização do local de estudo; 2) análise da cobertura do solo utilizando imagens satelitais; 3) monitoramento da temperatura do ar nos locais selecionados; 4) coleta e tratamento de outras variáveis meteorológicas; 5) tratamento dos dados monitorados; e 6) determinação da melhor estratégia de mitigação da ICU.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Londrina está localizada no norte do Paraná e possui uma população de 515.707 habitantes (IBGE, 2012). A cidade foi fundada em 1934 pelos britânicos em uma área de floresta semi-decídua nativa que foi principalmente erradicada para dar espaço à cafeicultura. A partir da década de 60, a cidade apresentou um rápido crescimento da população urbana (TARGINO et al., 2014). De acordo com o levantamento feito pela Brain Consultoria de Curitiba em 2007, Londrina aparece como a sétima cidade brasileira em número absoluto de edifícios (412 prédios) acima de doze pavimentos (BRASILIS, 2008). Atualmente as áreas verdes estão espalhadas pela cidade e representam apenas 16% da cobertura do solo (POLIDORO et al., 2011).

Londrina possui um clima subtropical úmido (Cfa na classificação de Köppen-Geiger), com uma temperatura média anual de 21,1 °C e precipitação média anual de 1.610 mm. A precipitação ocorre durante todo o ano, sendo o verão (dezembro - fevereiro) o período mais chuvoso, e o inverno (junho - agosto) o período mais seco. No inverno, a temperatura média mensal do ar varia entre 11,6 °C e 25,8 °C, enquanto o verão apresenta variações entre 19,1 °C e 29,8 °C (Figura 6). A cidade tem um relevo suave, com altitudes variando entre 520 e 610 m, orientado no sentido noroeste-sudeste seguindo a bacia hidrográfica e baixa declividade (até 10°).

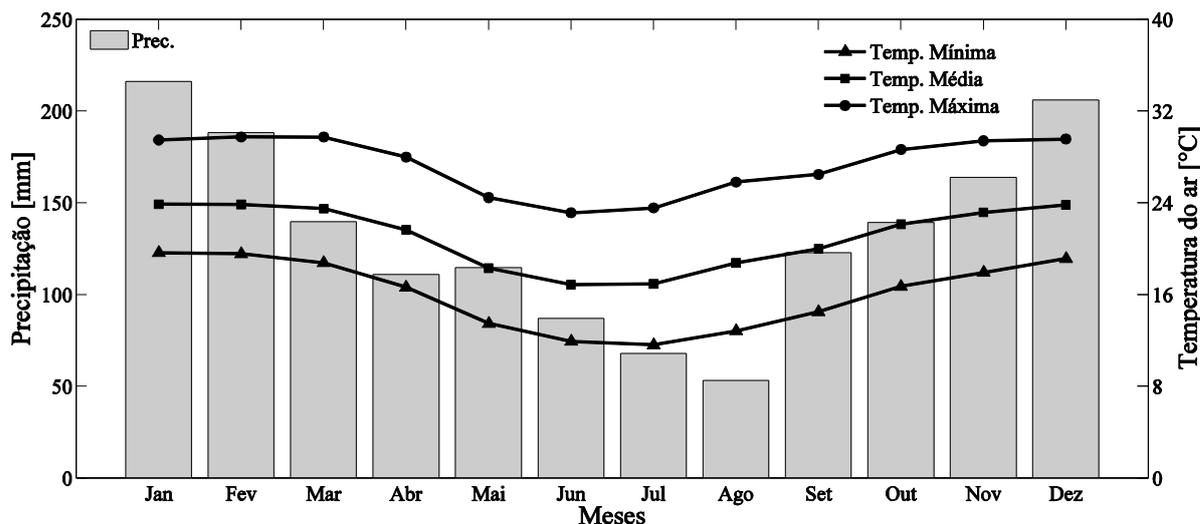


Figura 6 - Climatologia da cidade de Londrina para o período de 1976-2012.
Fonte: Autoria própria. Dados: IAPAR.

A análise dos dados de temperatura do ar medidos na estação do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina, no período 1976-2012 indica uma tendência de aumento das temperaturas mínimas (T_{\min}) e máximas (T_{\max}) médias anuais (Figura 7). Com o intuito de analisar as tendências dos eventos extremos da temperatura do ar, foram calculados os índices de dia quente (T_{x90}) e noite quente (T_{n90}) no período 1976-2012. Eles são definidos como o número de dias em que a temperatura máxima é maior que o percentil 90 da temperatura máxima diária, e o número de dias em que a temperatura mínima é maior do que o percentil 90 da temperatura mínima diária, respectivamente (FRICH et al., 2002). Verificou-se uma tendência de aumento dos valores de T_{x90} e T_{n90} . Por exemplo, em 1976, T_{x90} e T_{n90} foram de 6 e 17, respectivamente, saltando para 42 e 57 em 2010, com algumas quedas na série temporal correspondentes a ocorrência de eventos de El Niño, que apresentam um aumento de chuvas no sul da América do Sul e, portanto, uma diminuição na temperatura do ar. Estes resultados sugerem que, no século XXI, períodos de temperaturas do ar elevadas serão mais frequentes em Londrina (TARGINO et al., 2014). Este padrão está de acordo com os resultados relatados pelo IPCC (2012), onde as simulações de modelos numéricos mostraram um aumento das secas para o sul do Brasil durante o século XXI, com aumento da frequência e magnitude das temperaturas máximas diárias e diminuições em extremos de frio.

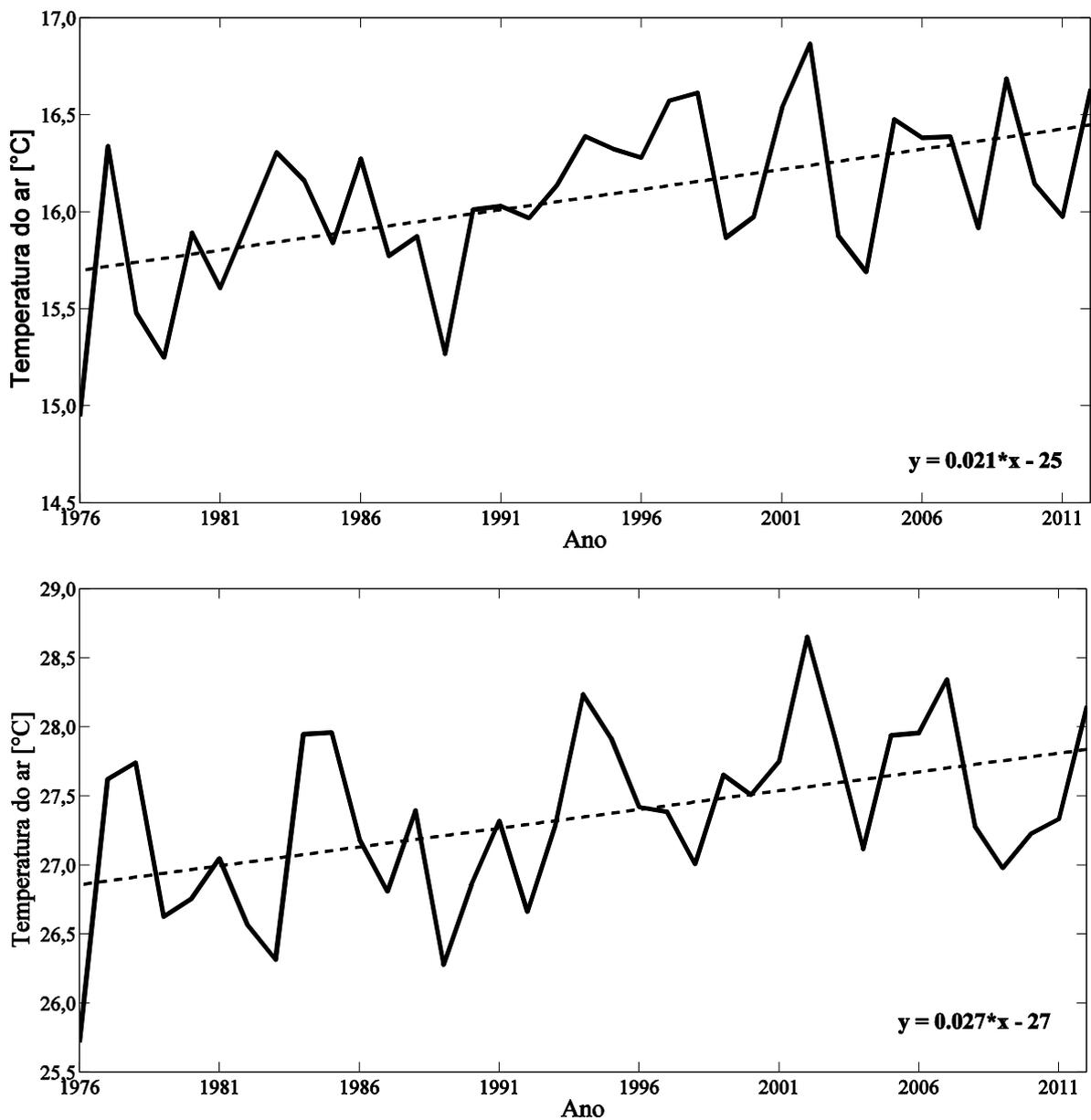


Figura 7 - Evolução anual da temperatura (a) mínima e (b) máxima média anual para Londrina no período de 1976 – 2012. A curva de ajuste linear (linhas tracejadas) e a fórmula de regressão estão representadas em cada gráfico.

Fonte: Autoria própria. Dados: IAPAR.

A área central da cidade é compacta, com prédios altos (até 20 andares) e escassas áreas verdes. Na região em torno do centro da cidade, os prédios são mais baixos, com alturas variáveis enquanto casas predominam na periferia da cidade. Na última década, o bairro Gleba Palhano desenvolveu-se na parte sul da cidade e é caracterizado por empreendimentos verticalizados (até 40 andares) e pela diminuição de áreas verdes devido à crescente demanda de infraestrutura (centros comerciais, calçadas, estacionamento, etc.). As imagens satelitais apresentadas na Figura 8 são testemunhas desse crescimento, especialmente a região sudoeste do Lago Igapó II.



Figura 8 - Uso e ocupação do solo na área de estudo no ano de (a) 2004 e (b) 2012.

Fonte: Google Earth.

O lago Igapó II foi definido como o centro da área de estudo, pois um dos objetivos específicos é investigar sua influência na temperatura do ar da região ao redor. Seu entorno é caracterizado pela presença de novos empreendimentos verticais residenciais e comerciais ao sul, o aterro do Lago Igapó II ao oeste, uma grande concentração de residências ao norte e o Lago Igapó I ao leste. A altitude na área de estudo varia de 531 a 603 metros, sendo que o ponto mais baixo está localizado no ponto de monitoramento no centro do Lago Igapó II (LAG) e o ponto mais alto está localizado no Edifício Studio V (STU).

Após determinada a região de estudo, realizou-se a prospecção dos locais mais adequados para a instalação dos sensores de temperatura do ar. Os pontos de monitoramento foram determinados a partir das características morfológicas da superfície do solo, acessibilidade para a instalação e manutenção dos equipamentos e segurança para proteger os instrumentos de furto e vandalismo. A Figura 9 mostra a localização dos 14 pontos monitorados no interior da área de estudo.

4.2 ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO DOS LOCAIS MONITORADOS

Posteriormente, utilizaram-se imagens satelitais de alta resolução espacial do Google Earth (satélite *QuickBird*) e o software gratuito Sistemas de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) (CAMARA et al., 1996) para avaliar a cobertura do solo em uma circunferência de 150 metros de raio centrado em cada ponto de estudo.

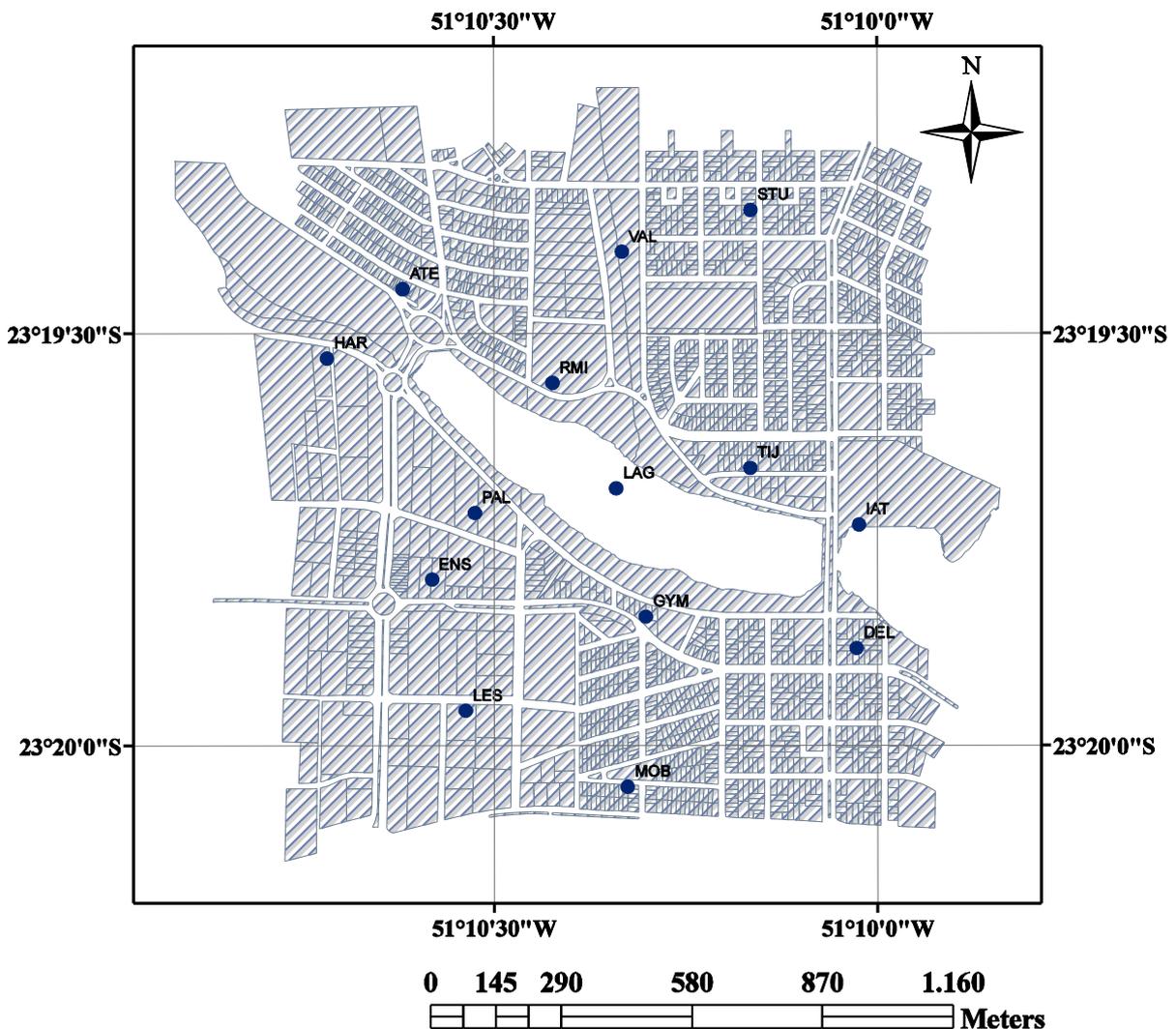


Figura 9 - Localização da região de estudo e dos 14 locais de monitoramento. As siglas indicam os locais onde a temperatura do ar foi monitorada e são definidas na Tabela 1.

Fonte: Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina (IPPUL).

A classificação da cobertura do solo foi realizada aplicando a metodologia de Rodríguez-Yi et al. (2000), sendo: (a) importação da imagem e georeferenciamento, com auxílio de uma imagem de alta resolução da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM); (b) execução da segmentação supervisionada através da identificação de regiões na imagem que são compostas de pixels com propriedades espectrais semelhantes; (c) treinamento manual, selecionando regiões de categorias conhecidas de cobertura do solo. Essas categorias são caracterizadas pelos seguintes valores de albedos: vegetação arbórea (10-20%), gramíneas (15-25%), asfalto (5-20%), telhado (10-35%), água (5-50%) e solo descoberto (10-25%); e (d) classificação automática pelo software de toda a imagem a partir dos resultados obtidos no treinamento manual.

4.3 MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DO AR

A temperatura do ar foi medida em 14 locais durante o período de 23 de maio e 19 de junho de 2013 utilizando sensores modelo HOBO-U23 (Onset Computer, Bourne, MA). O sensor HOBO-U23 opera em uma faixa de temperatura de -40 a 70°C , possui precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$ e resolução de $0,02^{\circ}\text{C}$. A Figura 10 mostra o sistema de aquisição de dados composto pelo sensor HOBO-U23, a base óptica (para transferência dos dados) e a caixa protetora de radiação solar direta, vento e precipitação. O instrumento permite selecionar a frequência de amostragem entre 1 segundo e 18 horas. Para este estudo, foi escolhido o monitoramento a cada 3 minutos procurando reduzir o número de descarregamento dos dados e ainda manter uma alta resolução temporal. Os sensores foram instalados em alturas entre 1,10 m (TIJ) e 4,80 m (RMI) acima da superfície.

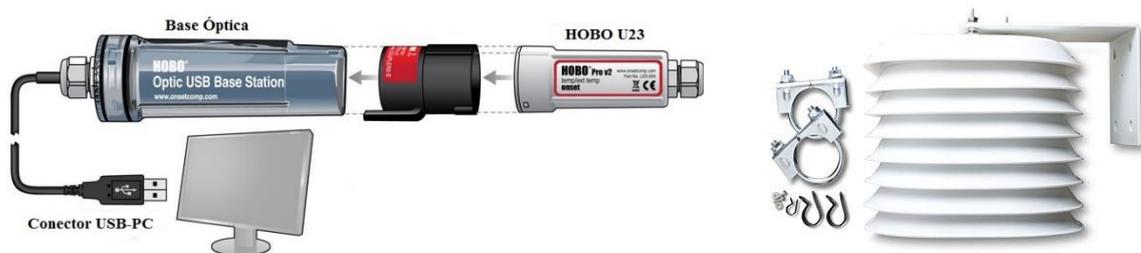


Figura 10 - Sistema de aquisição dos dados de temperatura do ar e caixa protetora contra radiação de onda curta direta e precipitação.

Fonte: Onset Computer.

Devido a problemas com a programação do sensor, o ponto de monitoramento VAL possui dados de temperatura do ar até o dia 05 de junho de 2013. A Figura 11 mostra exemplos de sensores instalados no Lago Igapó II (LAG) e Edifício L'essence (LES).



Figura 11 - Sensor instalado a) no Lago Igapó II e b) no Edifício L'essence.

Fonte: Próprio autor.

Os resultados da distribuição do campo térmico na área de estudo foram obtidos através da interpolação dos dados de temperatura do ar utilizando o método de krigagem, que é um método de regressão utilizado em geoestatística para aproximar ou interpolar dados. O software utilizado para realizar a interpolação foi o Surfer (2010), amplamente usado para modelagem de terreno, mapeamento de contorno, análise de superfície e interpolação.

4.4 OUTRAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Os dados de radiação solar global e precipitação foram medidos na estação meteorológica localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Londrina (latitude: -23,3074, longitude: -51,1122 e altitude: 560 m). O piranômetro CMP3-L (Kipp & Zonen) opera em uma faixa de 0 a 2.000 W m⁻² com precisão de ±5,0 % e faixa espectral de medição entre 310 e 2800 nm. O pluviômetro TB4 (Kipp & Zonen) opera em uma faixa de 0 a 500 mm h⁻¹ com resolução de 0,254 mm e precisão de ±2,0 %.

Como a estação meteorológica está a aproximadamente 10 km da região de monitoramento da temperatura do ar, investigou-se a validade de utilizar os dados de radiação solar para uma área relativamente afastada da estação meteorológica. Realizou-se uma comparação entre os dados de radiação solar de três estações meteorológicas localizadas na cidade de Londrina. Além da estação da UTFPR, foram obtidos dados das estações meteorológicas da EMBRAPA (latitude: -23,1938 e longitude: -51,1834) e do SIMEPAR (latitude: -23,3597 e longitude: -51,1650), localizadas na região norte e sul da cidade de Londrina, respectivamente. As três estações meteorológicas estão dentro de uma área de 60 km².

A Figura 12 ilustra as séries temporais da irradiância solar medidas nas três estações e suas respectivas correlações lineares entre os dados médios horários a) EMBRAPA e UTFPR, b) EMBRAPA e SIMEPAR e c) UTFPR e SIMEPAR. O valor do coeficiente de correlação linear (r) quantifica a excelência do ajuste entre a equação linear e os dados considerados, variando entre -1 e +1 (SPIEGEL, 1993). Um valor de r próximo de zero significa que não existe uma correlação linear entre as variáveis estudadas. A partir dos valores de r encontrados, a) 0,97, b) 0,94 e c) 0,94, conclui-se que há uma boa correlação linear entre os dados de radiação solar das estações apresentadas e, portanto, foram escolhidos os dados da estação da UTFPR para inferir resultados dentro da área de estudo.

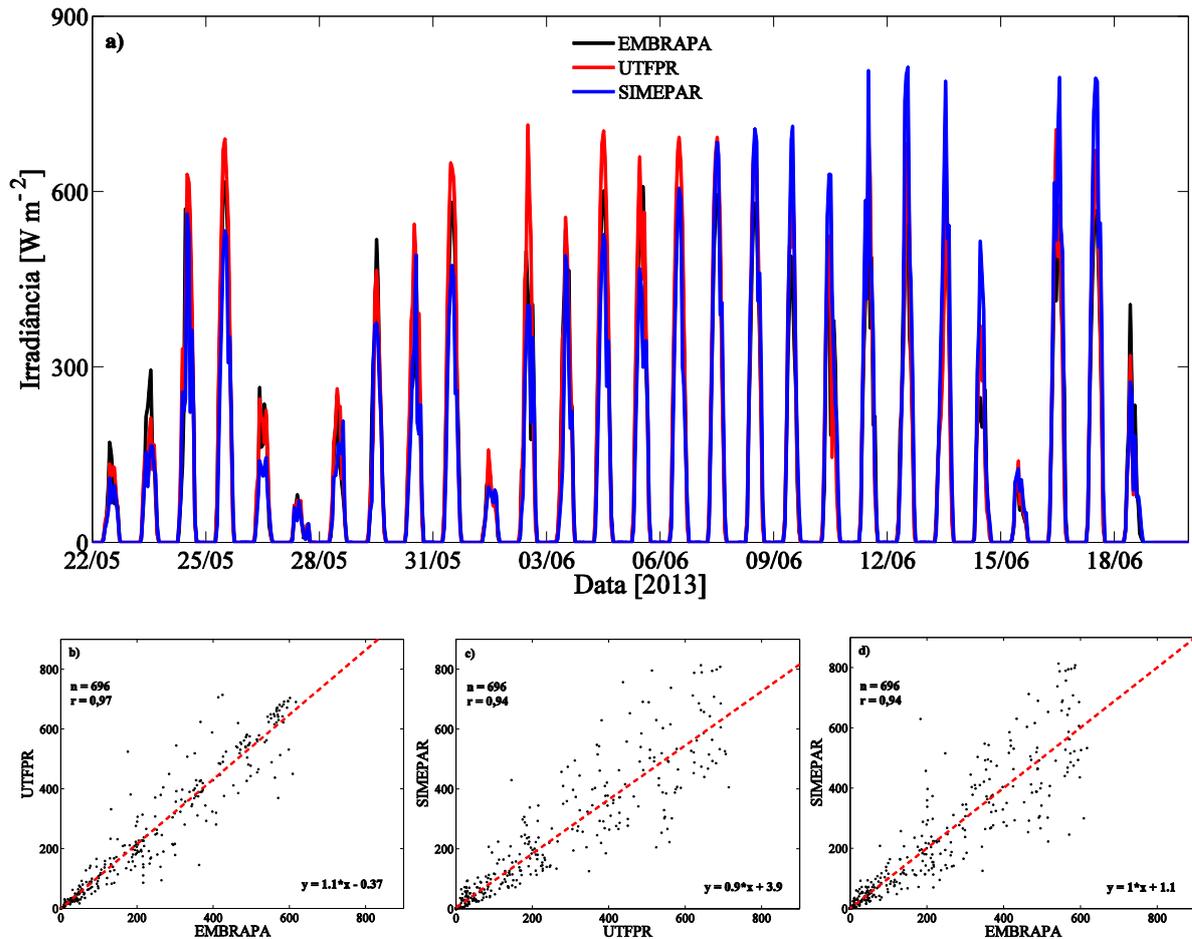


Figura 12 - Série temporal da irradiância solar medida nas três estações e as correlações da irradiância solar entre as estações b) EMBRAPA e UTFPR, c) UTFPR e SIMEPAR e d) EMBRAPA e SIMEPAR. As curvas de ajuste linear (linhas tracejadas), o número de amostras (n) e o coeficiente de correlação (r). Fonte: Autoria própria. Dados: SIMEPAR, EMBRAPA e UTFPR.

4.5 TRATAMENTO DOS DADOS

4.5.1 Segregação dos dados

Os dados de temperatura do ar coletados nos 14 locais monitorados juntamente com os medidos de radiação solar e precipitação da estação meteorológica da UTFPR foram segregados em três diferentes situações de acordo com a quantidade de radiação solar diária acumulada. Diferentemente do estudo realizado por Targino et al. (2014), onde os dados foram separados de acordo com as condições meteorológicas predominantes em Londrina, este estudo segregou os dados de acordo com a quantidade diária de radiação solar acumulada. Integrando-se a irradiância durante um certo intervalo de tempo obtém-se a dose total de energia recebida por um certo alvo (em $J m^{-2}$). Nesse estudo, a irradiância solar medida com frequência de um minuto foi integrada ao longo de cada dia e os valores da dose foram classificados em três

categorias: a) Dose 1 $< 6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; b) Dose 2 entre $6 - 12 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e c) Dose 3 $> 12 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

4.5.2 Cálculo de IICU

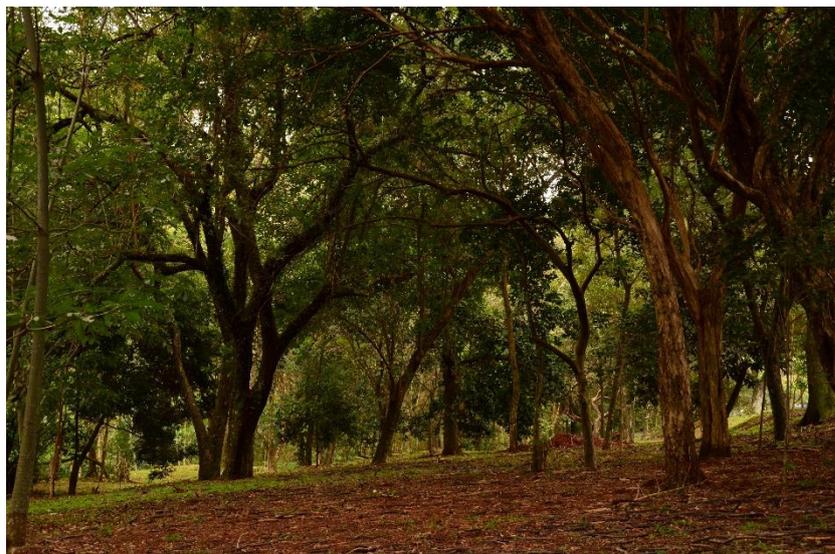
Alguns estudos (VOOGT, 2002; GAGO et al., 2013; STEENEVELD et al., 2014) afirmam que existem algumas estratégias de mitigação da ICU, conectadas ao planejamento urbano da cidade, que apresentam papel fundamental no controle da temperatura do ar em escala local. A introdução de parques de vegetação e corpos d'água artificiais, levando em consideração o campo de vento, são estratégias de mitigação da ICU em muitas cidades do mundo. A partir disso, as temperaturas do ar medidas no centro do Lago Igapó II (LAG) e no Fundo de Vale (VAL) foram selecionadas como referências para comparar com a temperatura do ar dos outros locais monitorados.

O Lago Igapó II apresenta uma área total de aproximadamente $168.106,8 \text{ m}^2$ e localiza-se na zona sul da cidade de Londrina. A margem norte deste lago passou a ser ocupada por loteamentos de médio a baixo padrão social desde sua inauguração, enquanto seu lado direito ficou parcialmente ocupado até a década de 90, quando loteamentos de alto padrão começaram a ser construídos, constituindo o bairro Gleba Palhano, tornando-se desde então, a área mais valorizada da cidade. Com este desenvolvimento imobiliário, o Lago Igapó II começou a passar por processos de revitalização, e hoje, é um atrativo tanto pelo lazer quanto por sua beleza natural. O local de monitoramento LAG caracteriza-se pela presença de água em 95% ($67.151,5 \text{ m}^2$) da área de estudo (Tabela 1) e apresenta uma profundidade de 3,0 m. A Figura 13 ilustra uma vista panorâmica do Lago Igapó II.

O Fundo de Vale do lago Igapó II apresenta uma área total de aproximadamente $31.965,9 \text{ m}^2$ (entre a Rua Humaitá e a Rua Professor Joaquim de Matos Barreto) e localiza-se na zona sul da cidade de Londrina, distante 475 metros ao norte do ponto de monitoramento LAG, caracterizado por uma densa cobertura de copas (dossel fechado) com várias espécies arbóreas (Figura 14). O local de monitoramento VAL apresenta 76,7% ($54.216,0 \text{ m}^2$) de vegetação arbórea na área de estudo (Tabela 1).



**Figura 13 - Foto ilustrativa do Lago Igapó II, um dos locais de referência deste estudo.
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 14 - Foto ilustrativa do Fundo de Vale do Lago Igapó II, local de referência deste estudo.
Fonte: Autoria própria.**

Após determinar os locais de referência do estudo, a IICU foi calculada de acordo com a Eq. 3.

$$IICU = \Delta T_{EST-REF} = T_{EST} - T_{REF} \quad (Eq. 3)$$

onde T_{EST} é a temperatura do ar das estações e T_{REF} é a temperatura do ar das estações de referência (LAG e VAL), apresentadas no início da seção.

4.5.3 Taxa de aquecimento/resfriamento

A taxa de aquecimento/resfriamento depende, principalmente, da característica morfológica do material da superfície, da irradiância solar e da precipitação diária. Além disso, é um fator que influencia diretamente a temperatura do ar. Locais urbanos, caracterizados pela maior quantidade de telhado e asfalto, possuem altas taxas de aquecimento/resfriamento. Entretanto, cânions urbanos possuem taxas de resfriamento baixas, devido ao aprisionamento da radiação infravermelha.

As taxas de aquecimento/resfriamento horárias [$^{\circ}\text{C h}^{-1}$] foram calculadas para monitorar o crescimento e o decaimento da ICU, de acordo com a Eq. 4.

$$\text{Taxa de aquecimento/resfriamento} = \frac{\Delta T_{ar}}{\Delta t} = \frac{T_{ar_i} - T_{ar_{i-1}}}{t_i - t_{i-1}} \quad (\text{Eq. 4})$$

onde T_{ar_i} é a temperatura média do ar na hora t_i . Vale ressaltar ainda que os valores positivos indicam uma taxa de aquecimento enquanto os valores negativos indicam uma taxa de resfriamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO NOS LOCAIS MONITORADOS

De acordo com a metodologia descrita na Seção 4.2, a caracterização de cada local de monitoramento e suas respectivas porcentagens de cobertura do solo são apresentados na Figura 15 e na Tabela 1, respectivamente. As áreas brancas nas imagens representam erros obtidos durante a classificação dos locais monitorados. Estes erros ocorrem devido à má interpretação das propriedades espectrais das imagens e são insignificantes (<5%) do ponto de vista da classificação da cobertura do solo por serem pequenas em relação à área de análise.

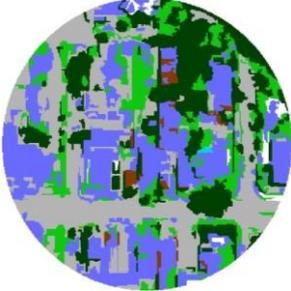
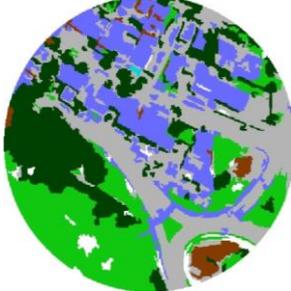
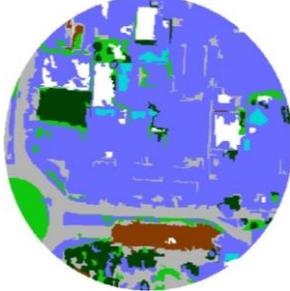
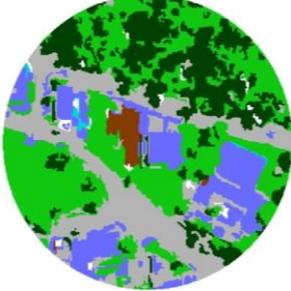
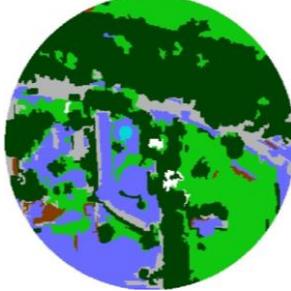
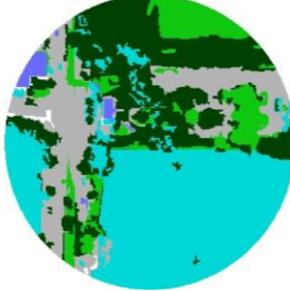
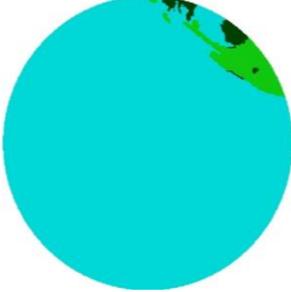
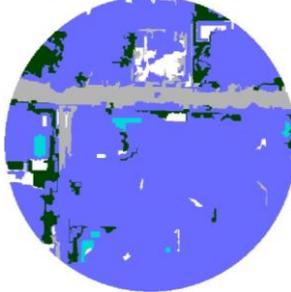
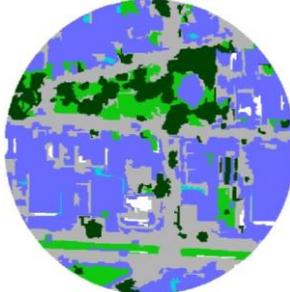
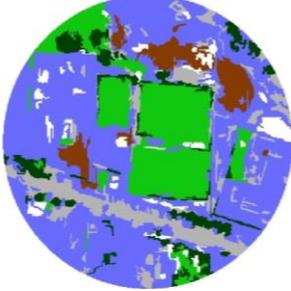
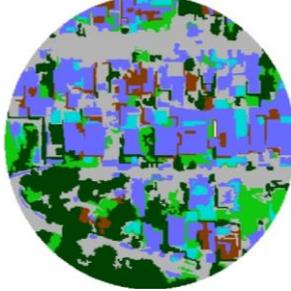
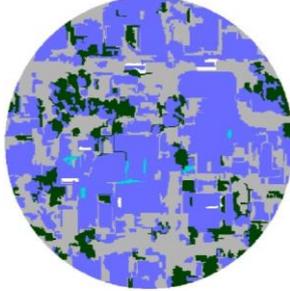
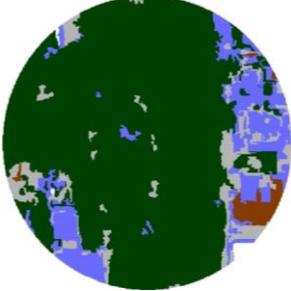
Delegacia do Adolescente (DEL)	Aterro Lago Igapó (ATE)	Edifício Enseadas (ENS)
		
Academia Energy Gym (GYM)	Hotel Harbor Self (HAR)	IATE Clube (IAT)
		
Lago Igapó II (LAG)	Edifício Lessence (LES)	Mobile Cell (MOB)
		
Palhano Sports (PAL)	Rua Tijuca (TIJ)	Edifício Studio V (STU)
		
Vale (VAL)	Residencial Margens do Igapó (RMI)	Legenda
		 <ul style="list-style-type: none"> Vegetação arbórea Gramíneas Asfalto Telhado Água Solo descoberto

Figura 15 - Classificação da cobertura do solo nos 14 locais de monitoramento da temperatura do ar. Os dois retângulos classificados como gramíneas na estação PAL são caracterizados como grama sintética. Fonte: Autoria própria.

Tabela 1 - Porcentagens da cobertura do solo da área de um raio de 150 metros ao redor do local monitorado.

Cobertura do solo		Vegetação arbórea	Gramíneas	Asfalto	Telhado	Água	Solo descoberto
Sítios							
Delegacia do Adolescente	DEL	22,4	15,1	30,4	30,2	0,1	1,7
Aterro Lago Igapó II	ATE	22,4	22,8	31,2	20,5	0,1	2,9
Edifício Enseadas	ENS	7,5	7,5	17,1	62,1	1,7	4,1
Academia Energy Gym	GYM	22,1	35,8	24,5	15,2	0,4	2,0
Hotel Harbor Self	HAR	45,6	25,8	8,6	18,4	0,2	1,3
IATE Clube	IAT	27,8	11,8	18,3	1,3	40,7	0,0
Lago Igapó II	LAG	1,2	3,5	0,0	0,0	95,3	0,0
Edifício L'essence	LES	7,5	0,0	9,8	81,6	1,1	0,0
Mobille Cell	MOB	12,4	10,0	31,2	45,7	0,7	0,0
Palhano Sports	PAL	7,8	20,0	12,3	53,6	0,0	6,2
Rua Tijuca	TIJ	22,1	10,0	28,8	27,9	5,3	5,9
Edifício Studio V	STU	12,3	0,0	34,2	53,0	0,5	0,0
Fundo de Vale	VAL	76,7	0,0	8,5	12,7	0,0	2,1
Resid. Margens do Igapó II	RMI	38,6	19,9	14,5	17,5	9,7	0,0

Fonte: Autoria própria.

5.2 DESCRIÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO

Durante a campanha de medições, as temperaturas médias diárias variaram entre 15,3 °C (RMI) no dia 16/07/2013 e 21,2 °C (LES) no dia 01/07/2013. A mediana, os percentis e os valores extremos de cada local monitorado estão apresentados na Figura 16. Observou-se que alguns pontos de monitoramento apresentaram uma maior variabilidade nos valores de temperatura do ar enquanto outros mostraram uma menor dispersão. A maior variabilidade

ocorreu para locais com predominância de asfalto e telhado (por exemplo, LES e MOB), e a menor variabilidade em áreas com predominância de vegetação (por exemplo, ATE e VAL).

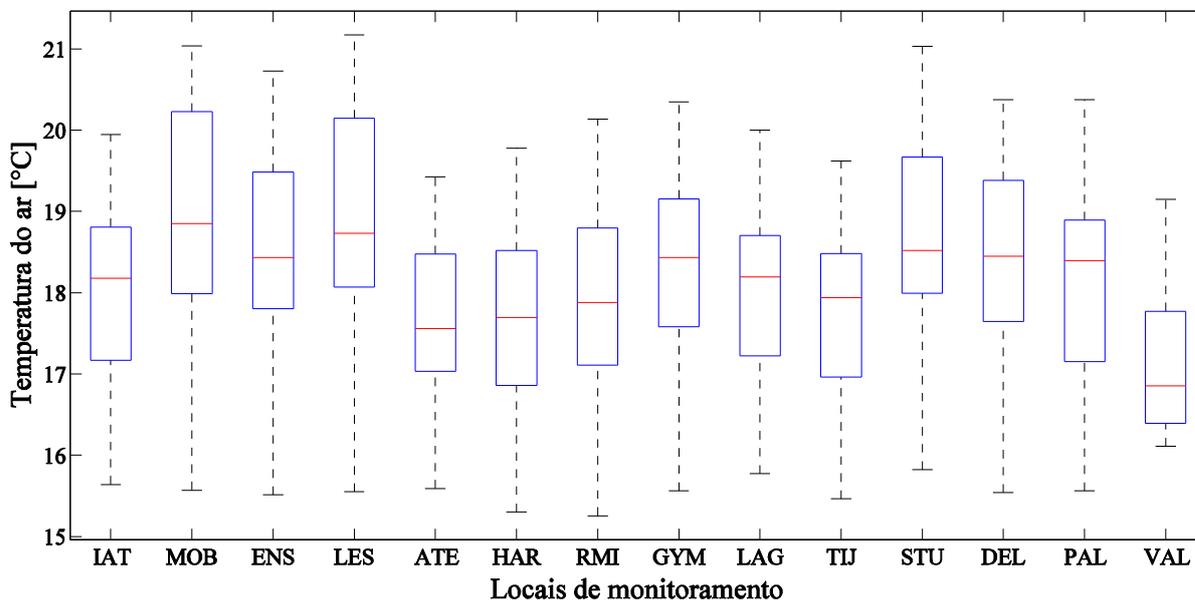


Figura 16 - Boxplot da temperatura média diária do ar dos locais de monitoramento durante a campanha de medições. O limite inferior das caixas é o percentil 25 e o superior é o percentil 75. O limite inferior das barras é o percentil 5 e o superior é o 95. A linha vermelha da caixa é a mediana.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 17 ilustra a série temporal da temperatura média diária durante a campanha para cada local de monitoramento. De forma geral, as curvas de temperatura mostraram o mesmo comportamento ao longo do mês, porém, alguns períodos apresentam grandes diferenças de temperatura entre os locais de monitoramento, enquanto em outros períodos, pequenas diferenças foram observadas. Por exemplo, no dia 08/06, registrou-se uma diferença de temperatura média entre os locais LES e ATE de 3,1 °C, enquanto que no dia 16/06 essa diferença foi de apenas 0,04 °C. Targino et al. (2014) e Martins (2013) observaram comportamentos similares durante as campanhas de inverno de 2011 e verão de 2011/2012 do projeto ICALON, com dias de grandes diferenças e dias de pequenas diferenças entre as temperaturas dos locais.

Esse comportamento sugere que a temperatura do ar foi determinada não apenas pelas variáveis locais, mas também por condições meteorológicas numa escala sinóptica. Essas características serão discutidas com mais detalhes na Seção 5.3.

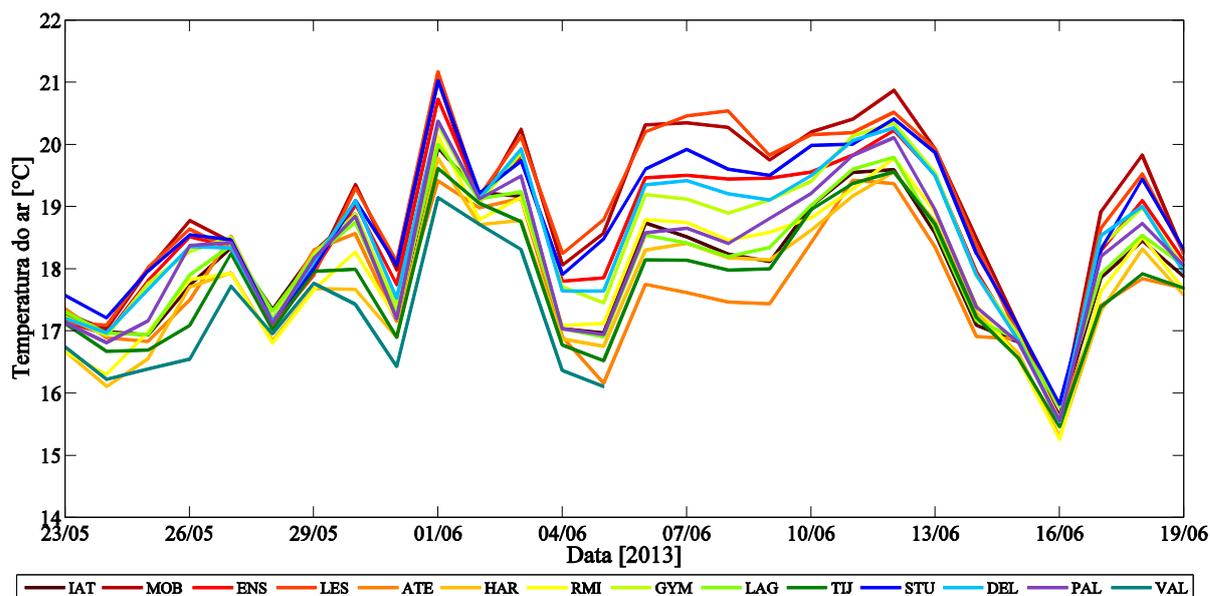
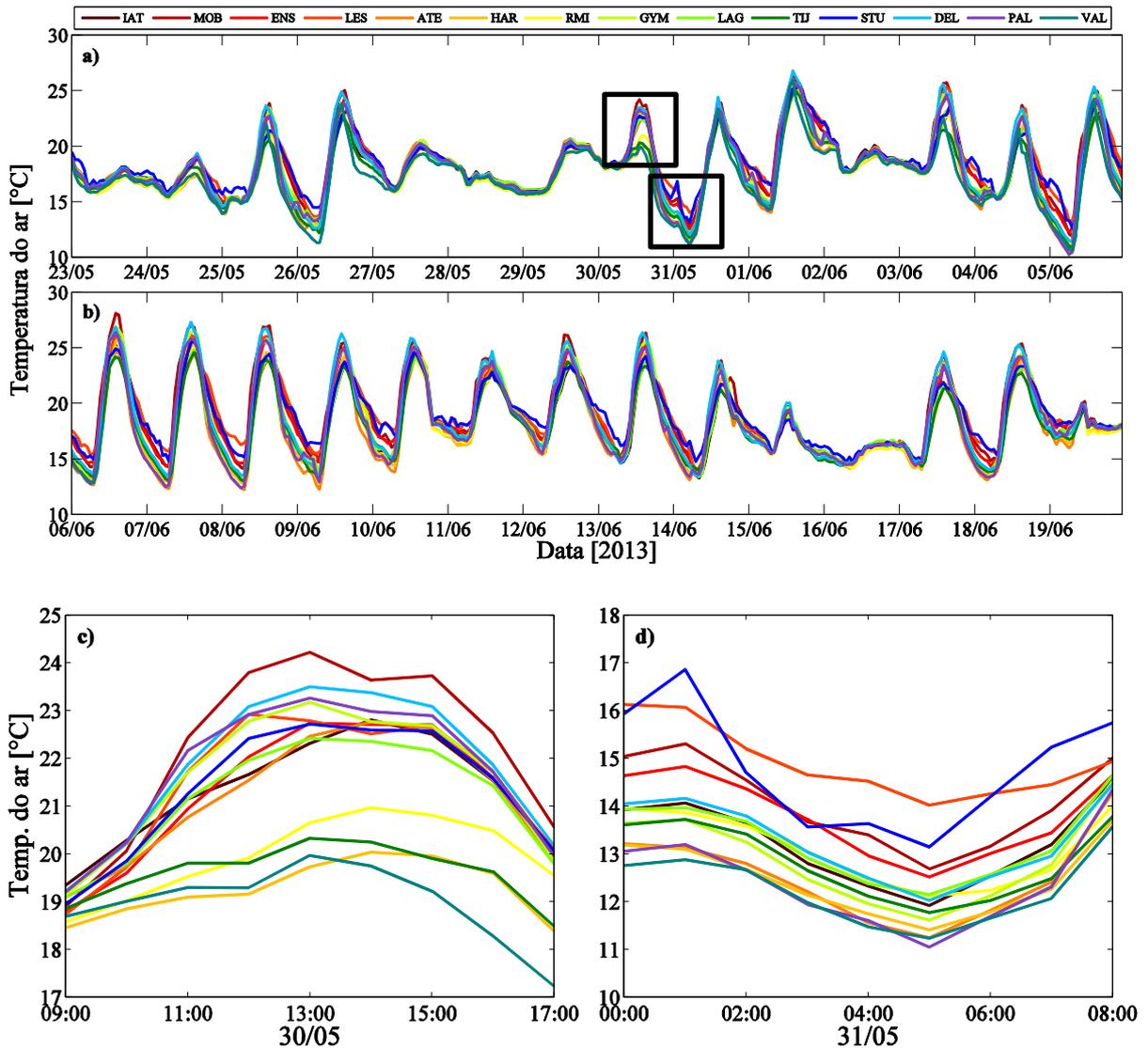


Figura 17 - Série temporal da temperatura média diária dos locais monitorados durante a campanha de medições.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 18 mostra a série temporal da temperatura média horária do ar nos 14 locais de monitoramento. É possível observar dias com ciclo diurno da temperatura do ar bem definido (por exemplo, 26/05, 30/05, 31/05 e 10/06) e ciclos modestos (28/05, 29/05 e 16/06) com pequena amplitude térmica diária. Durante os dias de ciclo diurno bem definido, observaram-se situações (por exemplo, 30/05) nas quais existiram uma grande diferença nas temperaturas máximas e mínimas entre os locais monitorados, e dias em que a diferença de temperatura entre as estações de medida é importante apenas para as temperaturas mínimas (por exemplo, 31/05).

No dia 30/05, podemos observar dois grupos de estações com características térmicas distintas: grupo I (MOB, STU, LES, ENS) com temperaturas máximas em torno de 23,0 °C durante o dia, grupo II (VAL, RMI, TIJ e HAR) com temperaturas máximas em torno de 20,0 °C e grupo III (IAT, DEL, GYM, LAG, ATE e PAL) com temperaturas máximas em torno de 22,0 °C (Figura 18c). Esse comportamento diferenciado permaneceu durante a noite e madrugada do dia 31/05, com temperaturas mínimas em torno de 14,0 °C (grupo I), 11,5 °C (grupo II) e 12,0 (grupo III) (Figura 19d). Esses comportamentos serão discutidos em detalhe na Seção 5.4.



**Figura 18 - Série horária da temperatura média do ar para os locais monitorados durante todo o período de estudo (a, b) e detalhe do período diurno do dia 30/05 (c) e madrugada do dia 31/05 (d).
Fonte: Autoria própria.**

A Figura 19 ilustra a série temporal de irradiância solar horária, medida na estação meteorológica da UTFPR, durante a campanha de medições. De forma geral, o experimento foi caracterizado por períodos de alta nebulosidade associados a passagens de sistemas frontais, seguidos por períodos de poucas nuvens provocados pelo ingresso de sistemas de alta pressão. A presença de nebulosidade (altura, tipo e cobertura) possui grande influência na irradiância à superfície como observado nos dias: 07/06 (céu claro, máxima irradiância $\sim 700 \text{ W m}^{-2}$), 08/06 (moderada nebulosidade, máxima irradiância $\sim 900 \text{ W m}^{-2}$) e 28/05 (céu totalmente coberto, máxima irradiância $\sim 200 \text{ W m}^{-2}$). Esses dias foram dominados por um sistema de alta pressão estacionário, uma frente fria e um sistema de baixa pressão, respectivamente.

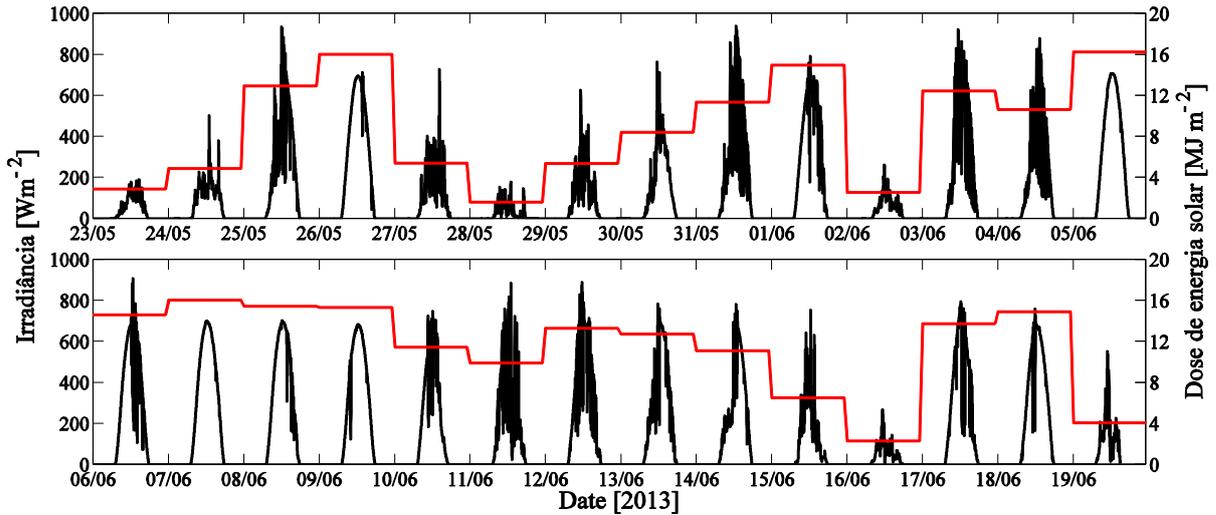


Figura 19 - Série temporal de radiação solar monitorada na estação meteorológica da UTFPR e a dose de energia solar diária (linha vermelha) durante o período de estudo.

Fonte: Autoria própria.

A precipitação total acumulada no período de estudo foi de 204,5 mm distribuídos em 17 dias como apresentado na Figura 20. Os dias 23/05, 28/05 e 02/06 acumularam os maiores valores de precipitação diária do período de estudo, com 29,0, 68,8 e 45,5 mm, respectivamente.

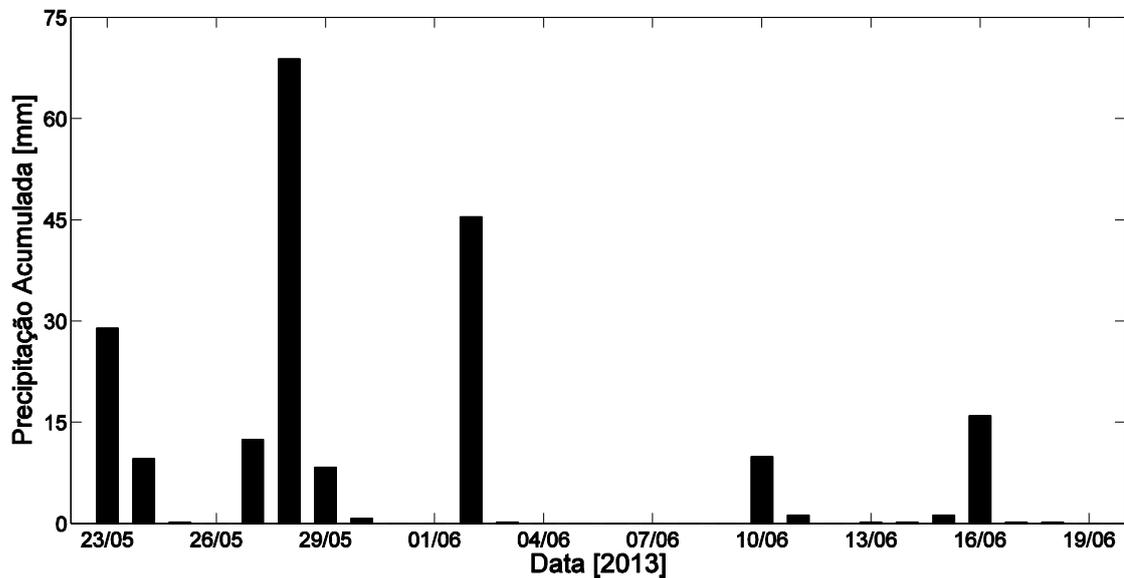


Figura 20 - Série temporal da precipitação acumulada diária monitorada na estação meteorológica da UTFPR durante o período de estudo.

Fonte: Autoria própria.

5.3 RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DO AR E IRRADIÂNCIA SOLAR

O aquecimento da superfície da Terra depende principalmente da quantidade de radiação de onda curta incidente. A resposta diferenciada das superfícies à incidência de radiação solar é observada geralmente em situações dominadas por sistemas de alta pressão, com pouca nebulosidade e ventos calmos (KOLOKOTRONI; GIRIDHARAN, 2008). Portanto, a temperatura do ar de cada local depende do tipo de cobertura do solo e do valor da irradiância à superfície. Materiais com maior admitância térmica (por exemplo, telhado e asfalto) absorvem mais radiação de onda curta e, conseqüentemente, aquecem mais o ar adjacente, através do fluxo de calor sensível. Em contrapartida, superfícies de menor admitância térmica (por exemplo, superfícies com água e vegetação) utilizam essa energia primeiramente para a evapotranspiração, através do fluxo de calor latente, e posteriormente para aquecer a superfície e o ar adjacente (LOWRY, 1967).

A Figura 21 apresenta a relação entre o tipo de cobertura do solo e a temperatura média do ar por estação de monitoramento para cada classe de dose diária. Os locais de monitoramento estão organizados em ordem decrescente de porcentagem de materiais urbanos (telhado + asfalto).

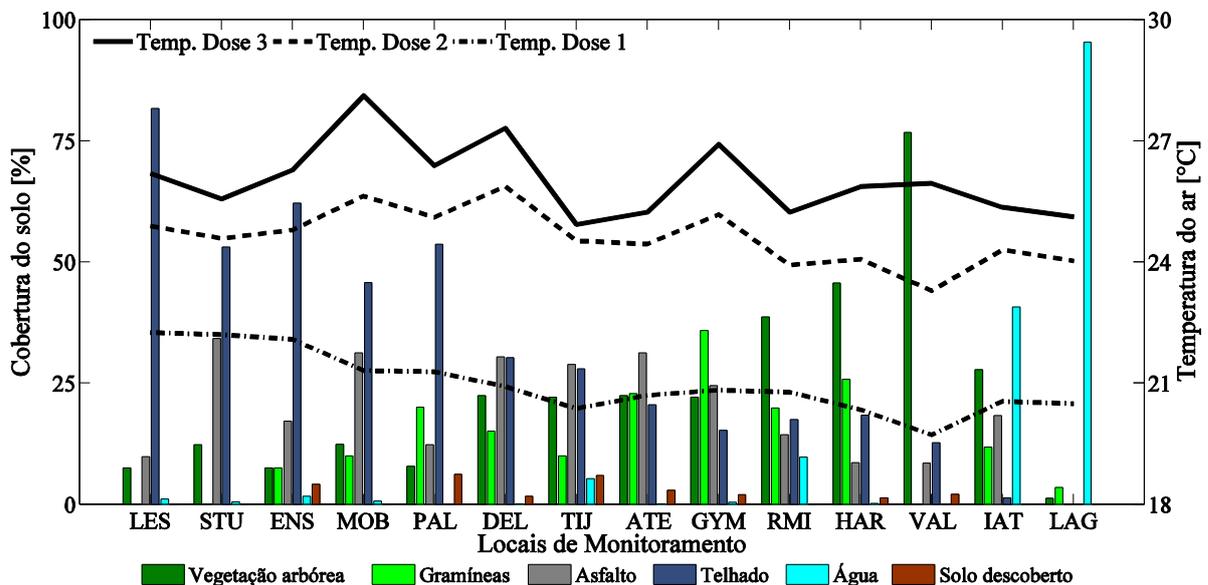


Figura 21 - Relação entre o tipo de cobertura do solo (barras verticais) e temperatura média máxima do ar (linhas) nos locais monitorados para os três grupos de dose de energia solar.

Fonte: Autoria própria.

Observa-se uma clara relação negativa entre a cobertura vegetal e a temperatura do ar. Essa relação é evidente nas três classes de dose, onde obteve-se diferenças de 2,5, 2,5 e 3,2 °C

na Dose 1, Dose 2 e Dose 3, respectivamente, ao se comparar temperaturas de locais dominados por asfalto e telhado com locais com predominância de vegetação. É interessante notar que, de acordo com as classes de dose de energia solar, as curvas de temperatura do ar seguem o mesmo padrão, mostrando que as superfícies respondem ao aquecimento solar mesmo com pequenas quantidades de irradiação acumuladas, como em passagens de frente fria ou dias com precipitação.

Com a segregação dos dados em três períodos de acordo com a dose de energia solar incidente, realizou-se a distribuição espacial do campo de temperatura mínima média e máxima média do ar para as três condições radiativas (Figura 22). É importante salientar que as temperaturas mínimas são encontradas durante as noites e as madrugadas, onde a taxa de resfriamento de cada local monitorado é o fator que determina sua intensidade. Já as temperaturas máximas são verificadas 1-3 horas após o meio-dia e determinadas pela taxa de aquecimento de cada local.

A Figura 22a apresenta as temperaturas médias mínimas mais elevadas ($14,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), com diferenças de apenas $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre os locais monitorados. Esse comportamento é esperado pois, durante o período de Dose 1, a presença de nebulosidade e precipitação não permitem o aquecimento diferenciado dos locais de monitoramento, nem o intenso resfriamento por perdas radiativas e, conseqüentemente, a taxa de resfriamento entre os diversos locais é comparável. Foram encontrados resultados semelhantes em estudos realizados em Londres (GIRIDHARAM et al., 2007) e Londrina (TARGINO et al., 2014). Já nas Figuras 22b e 22c, caracterizadas pelos períodos de Dose 2 e Dose 3 respectivamente, verificou-se áreas relativamente mais frias no centro e mais quentes nas regiões sudoeste e nordeste da área de estudo. Devido à grande irradiância, houve um elevado aquecimento da superfície nos locais com maiores porcentagens de asfalto e telhado e, após o pôr-do-sol, a taxa de resfriamento diferenciado entre os locais foi determinante para visualizar as maiores diferenças de temperatura do ar.

A distribuição espacial da temperatura média máxima do ar durante o período de Dose 1 (Figura 22d) revelou dois núcleos quentes ($22,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) localizados no sudoeste e nordeste da área de estudo, sendo $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ superior às temperaturas do ar na zona central de estudo. Quando a dose aumentou (Dose 2 e 3, Figuras 22e e Figura 22f), um núcleo quente foi observado na zona sudoeste com diferenças de até $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MOB – TIJ). Como as temperaturas médias máximas são encontradas durante o dia, o fator determinante neste caso é o valor da irradiância, que aquece os locais monitorados de forma diferenciada de acordo com o tipo de cobertura do solo. Kolokotroni e Giridharam (2008) chegaram a resultados semelhantes no estudo realizado em Londres, durante o verão.

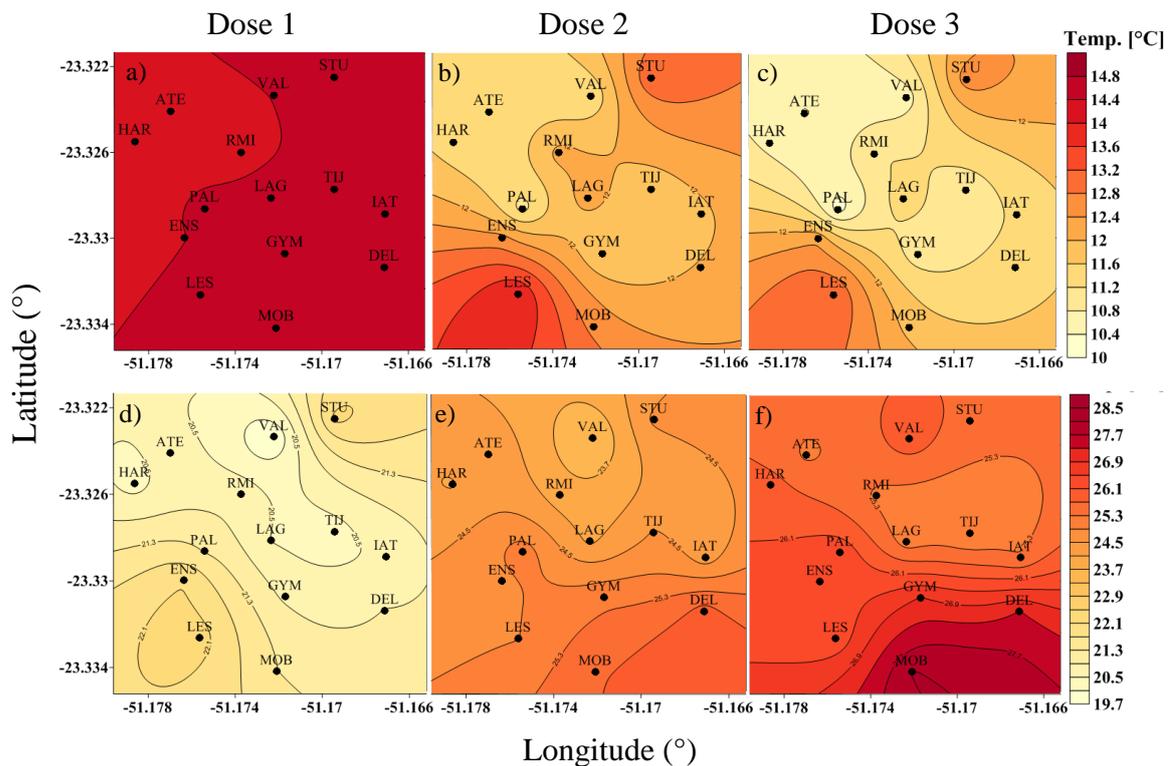


Figura 22 - Distribuição espacial da temperatura média mínima (painel superior) e média máxima (painel inferior) para as três classes de dose.

Fonte: Autoria própria.

5.4 INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA TEMPERATURA DO AR VOLTADA AO PLANEJAMENTO URBANO

5.4.1 Relação entre a temperatura do ar, irradiância solar e precipitação acumulada diária

A quantidade e o tipo de cobertura do solo e a quantidade de radiação solar incidente na superfície contribuem com a intensidade da temperatura do ar de um local. Entretanto, alguns estudos (LAKSHMI; ZEHRFUHS; JACKSON, 2003; AHMAD; HASHIM, 2007) confirmaram que a umidade do solo também possui influência direta na temperatura do ar. Por exemplo, um período de chuva prolongado, além de proporcionar uma redução na temperatura do ar, inibe sua variação entre os locais, mesmo que esses locais apresentem características superficiais distintas. Em dias posteriores à chuva, os locais permeáveis tendem a demorar mais tempo para evaporar completamente a umidade do solo que locais impermeáveis, promovendo temperaturas mais amenas e, conseqüentemente, aumentando a diferença de temperatura do ar entre os locais.

A partir disso, escolheram-se dois períodos de quatro dias para aprofundar o estudo da relação entre a temperatura do ar e a precipitação acumulada diária. O primeiro período, de 29/05 a 01/06, apresentou precipitação de 8,4 mm no primeiro dia e baixa irradiância à superfície. Esse fato determinou o pequeno aquecimento superficial de todas as estações, com amplitude térmica máxima de 4,9 °C entre a temperatura máxima e mínima diária da estação MOB (Figura 23). O aumento da dose de energia elevou a temperatura durante os dias seguintes, gerando uma amplitude térmica de 10,0 °C (PAL), 12,0 °C (DEL) e 12,4 °C (MOB) entre as temperaturas máximas e mínimas do ar, respectivamente (Figura 23). Dessa forma, observou-se que a amplitude entre as temperaturas diurnas e noturnas do ar durante o período aumentou devido ao aumento da irradiância e secagem do solo¹. A Tabela 2 mostra um resumo das condições nesse primeiro período.

Tabela 2 - Características meteorológicas diárias para o período entre 29/05 e 01/06.

Variáveis meteorológicas	29/05	30/05	31/05	01/06
Temperatura máxima do ar (°C)	19,7 – 20,7	20,0 – 24,2	22,2 – 24,4	24,9 – 26,8
Temperatura mínima do ar (°C)	15,6 – 16,1	13,0 – 16,4	11,1 – 14,0	14,1 – 16,5
Amplitude térmica máxima (°C)	4,9	10,0	12,0	12,4
Dose de energia solar (MJ m ⁻²)	5,4	8,4	11,3	15,0
Precipitação acumulada (mm)	8,4	0,8	0	0

Fonte: Autoria própria.

¹ A umidade do solo não foi medida neste estudo, no entanto infere-se que o teor de umidade do solo diminui em períodos de intensa incidência de radiação solar e ausência de precipitação ou outras fontes hídricas.

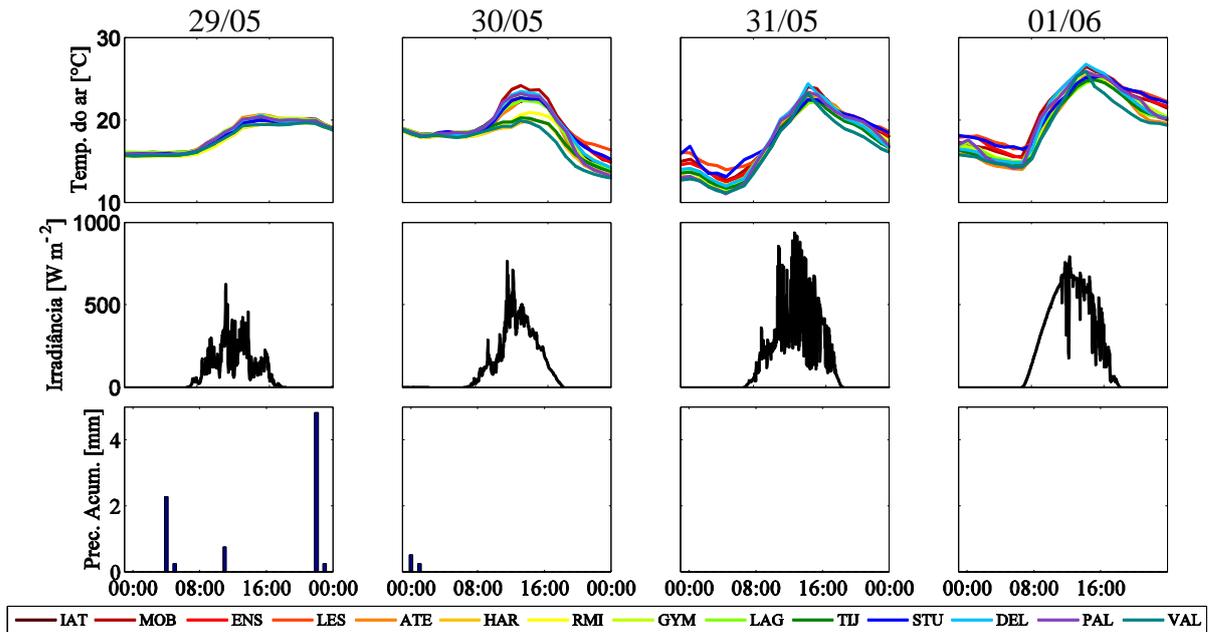


Figura 23 - Temperatura do ar [14 locais], irradiância solar e precipitação acumulada horárias no período entre 29/05 e 01/06.

Fonte: Autoria própria.

O segundo período escolhido (23 – 26/05) apresentou um comportamento semelhante com aumento da amplitude térmica como resposta ao aumento da dose de energia e secagem do solo, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Características meteorológicas diárias para o período entre 23/05 e 26/05.

Variáveis meteorológicas	23/05	24/05	25/05	26/05
Temperatura máxima do ar (°C)	18,5 – 19,5	17,4 – 19,5	20,5 – 24,1	22,5 – 25,2
Temperatura mínima do ar (°C)	15,7 – 16,6	14,4 – 15,9	13,6 – 15,6	11,4 – 14,5
Amplitude térmica máxima (°C)	2,9 (STU)	4,6 (ATE)	9,2 (DEL)	12,5 (VAL)
Dose de energia solar (MJ m ⁻²)	2,9	4,9	12,9	16,0
Precipitação acumulada (mm)	29,0	9,7	0,3	0,0

Fonte: Autoria própria.

A distribuição espacial da temperatura média mínima e máxima do ar durante o dia 29/05 (Figura 24a e Figura 24e) revelou um comportamento térmico semelhante entre todos os locais e, dessa forma, houve uma pequena diferença entre as temperaturas (1,0 °C). No dia seguinte, a maior umidade disponível no solo influenciou as temperaturas dos locais centrais,

por exemplo, o VAL apresentou temperatura 4,5 °C abaixo da temperatura da estação MOB (Figura 24f). Durante a noite do dia 30/05 e madrugada do dia 31/05, observou diferenças entre as temperaturas mínimas em torno de 2,9 °C (Figura 24b e Figura 24c). Já durante a tarde do dia 31/05, o comportamento térmico dos locais foi semelhante, com diferenças entre as temperaturas máximas em torno de 2,3 °C (Figura 24g). No último dia (01/06), as temperaturas mínimas apresentaram diferenças em torno de 2,4 °C (Figura 24d) enquanto as temperaturas máximas apresentaram diferenças de apenas 1,9 °C (Figura 24h). Assim, concluiu-se que as diferenças entre as temperaturas durante a tarde são superiores em dias com maior umidade no solo devido às diferentes taxas de aquecimento da superfície dos locais de monitoramento.

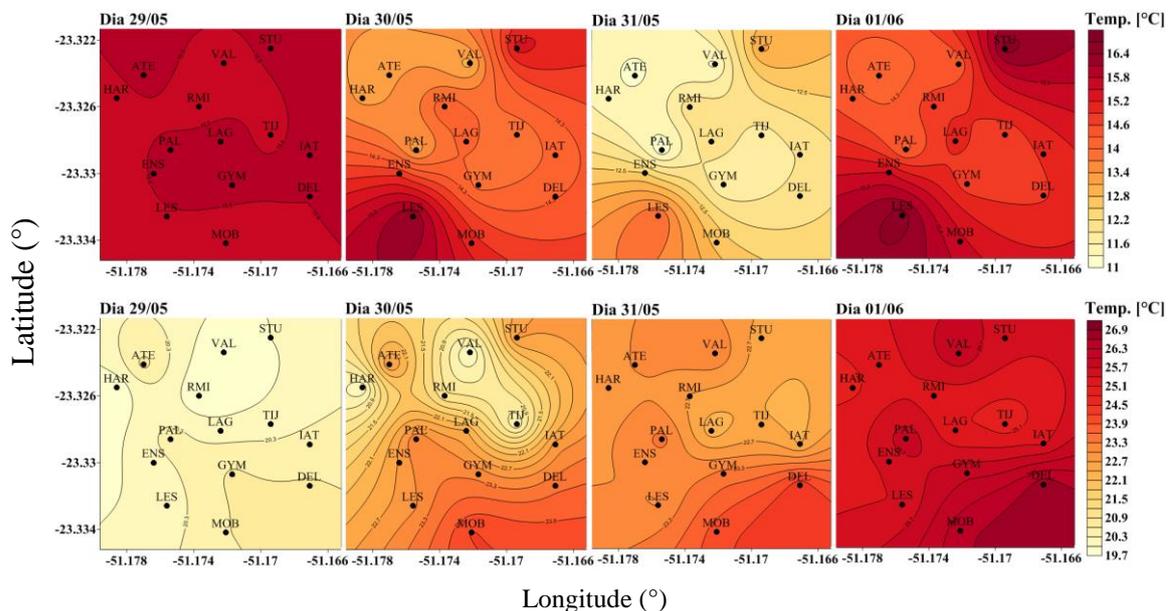


Figura 24 - Distribuição espacial da temperatura média mínima (painel superior) e média máxima (painel inferior) do ar durante o período entre 29/05 e 01/06.

Fonte: Autoria própria.

5.4.2 Efeito do resfriamento do Fundo de Vale e do Lago Igapó II sobre a área de estudo

Essa seção busca determinar se a presença de um lago ou de um bosque urbano constituem alternativas eficientes para mitigar a ICU. Para isso, foram calculadas as taxas de aquecimento/resfriamento dos locais selecionados MOB, LES, RMI, LAG e VAL (Figura 25) e a distribuição espacial da $IICU_{VAL}$ e $IICU_{LAG}$ (Figura 26) para o período entre 29/05 e 01/06.

De acordo com as características meteorológicas do dia 29/05, as temperaturas do ar dos locais apresentaram pequenas variações diárias (Figura 25a) devido à pequena taxa de aquecimento/resfriamento observado neste dia, sendo que a taxa de aquecimento máxima foi

de 1,0 °C entre 11-12 horas (Figura 25b). Devido à isso, observou pequenas $IICU_{VAL}$ (Figura 26a) e $IICU_{LAG}$ (Figura 26b). Neste dia, a pequena irradiância solar não proporcionou aquecimento diferenciado nos locais monitorados e a nebulosidade foi fundamental para aprisionar a energia na baixa troposfera. Tem-se, portanto, que em um dia com chuva, as temperaturas não são influenciadas pela irradiância ou pela porcentagem de cobertura do solo.

Devido à umidade disponível no solo, o dia 30/05 apresentou características peculiares. Observou-se que os locais caracterizados pela maior porcentagem de materiais impermeáveis, como MOB e LES, apresentaram taxas de aquecimento de 2,5 °C entre 10-11 horas, enquanto locais com maior quantidade de vegetação, como RMI e VAL, apresentaram taxas de aquecimento de 0,5 °C durante o mesmo período (Figura 25d). Os locais mais centrais, caracterizados pela maior cobertura de vegetação, não aqueceram tanto quanto os locais periféricos da área de estudo e, dessa forma, apresentam menores $IICU$ (Figuras 26c-d). Às 12 horas, a temperatura do VAL está 4,5 °C menor do que a temperatura de locais urbanos enquanto o LAG está apenas 1,8 °C. Entre 16-17 horas, a taxa de resfriamento começa a dominar o comportamento da temperatura do ar e alcança uma taxa média de -1,8 °C h⁻¹ nos locais secos (MOB e LES), -1,2 °C h⁻¹ nos locais úmidos (RMI e VAL) e -1,8 °C h⁻¹ no LAG (Figura 25d). Esse padrão continua ao longo do dia e noite do dia 30/05 e durante a madrugada do dia 31/05. Os locais LES e STU, localizados na região sudoeste e nordeste da área de estudo, respectivamente, apresentam uma taxa de resfriamento mais lenta e por isso ficam realçadas nas Figuras 26c-d.

No dia 31/05, as temperaturas máximas dos locais apresentam pouca diferença durante a tarde devido à grande irradiância disponível e (provavelmente) pouca umidade no solo (Figura 25e). Assim, os locais com grande quantidade de telhado e asfalto, como MOB e LES, apresentaram taxa de aquecimento de 2,3 °C h⁻¹ entre as 10-11 horas, enquanto, para o mesmo horário, os locais com maior quantidade de vegetação e água (RMI, LAG e VAL) apresentaram 1,7 °C h⁻¹. Isso ocorreu pois certa quantidade de umidade presente no solo dos locais com grande porcentagem de vegetação evaporou e a grande irradiância solar proporcionou o aquecimento homogêneo de todos os locais. A taxa de resfriamento passou a dominar a temperatura dos locais e, entre 15-16 horas, os locais com vegetação (RMI e VAL) e os locais com telhado e asfalto (MOB e LES) apresentaram taxa de resfriamento média de -1,1 °C h⁻¹ e o LAG apresentou -0,2 °C h⁻¹ (Figura 25f). Dessa forma, as maiores $IICU_{VAL}$ são à noite, quando o local de referência resfria-se mais rapidamente e apresenta temperaturas mais amenas do que locais com grande porcentagem de telhado e asfalto (Figura 26e). O comportamento do LAG segue o padrão de locais com asfalto e telhado devido ao aquecimento rápido durante o

dia, e ao resfriamento lento durante as noites, típico das superfícies aquáticas lénticas (Figura 26f). Portanto, a $IICU_{VAL}$ possui valores maiores do que a $IICU_{LAG}$.

No dia 01/06, as temperaturas máximas foram elevadas e com pouca diferença entre os locais (Figura 25g) pois, mesmo os locais com grande quantidade de vegetação, como o VAL e o RMI, apresentaram taxas de aquecimento maiores que $1,5 \text{ }^\circ\text{C h}^{-1}$ entre as 8-9 horas (Figura 25h). Tanto a $IICU_{VAL}$ quanto a $IICU_{LAG}$ foram pequenas devido à menor disponibilidade de umidade no solo e à alta irradiância solar (Dose 3). A partir das 13 horas, o VAL apresentou uma alta e rápida taxa de resfriamento, chegando a $-2,0 \text{ }^\circ\text{C h}^{-1}$, apresentando um comportamento diferente de todas as estações até o anoitecer. Os locais LES e STU, por exemplo, localizados na região sudoeste e nordeste da área de estudo, respectivamente, permanecem sendo os locais mais quentes durante a noite, com $IICU_{VAL}$ em torno de $3,4 \text{ }^\circ\text{C}$ e $IICU_{LAG}$ em torno de $2,4 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 26g-h).

Portanto, com exceção ao dia 29/05 onde não foi possível observar influência das estações de referência na amenização das temperaturas dos locais (devido à grande quantidade de chuva), o VAL apresentou uma melhor eficiência da amenização da temperatura do ar. No dia posterior à chuva, o VAL apresentou aquecimento menor do que o LAG durante o dia e maior resfriamento durante a noite. Nos dias posteriores, devido à pouca umidade do solo, não houve diferença entre o VAL e o LAG durante a tarde, entretanto, durante a noite, percebeu-se que o VAL continuou apresentando menores temperaturas do que os demais locais.

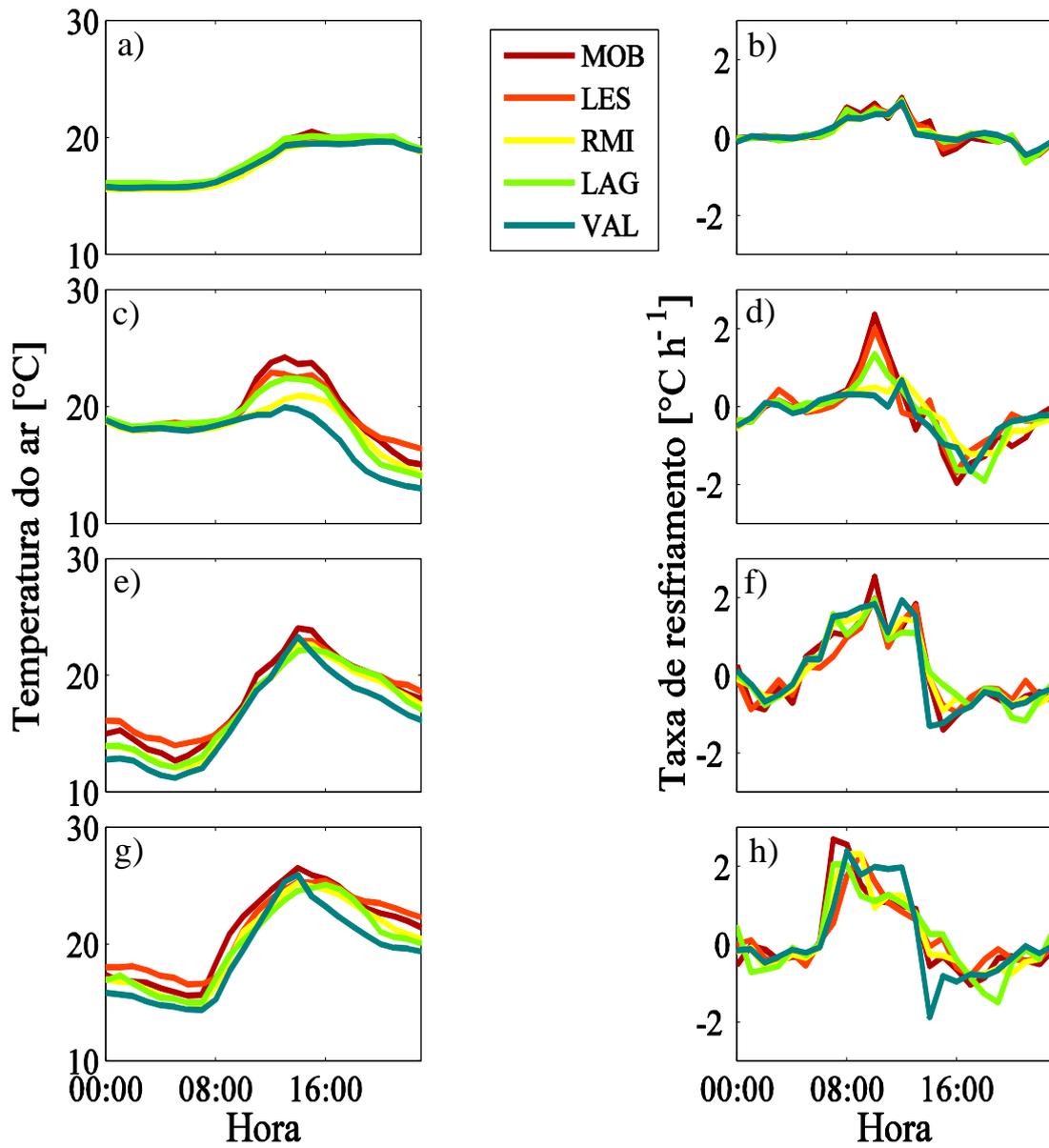


Figura 25 - Série horária da temperatura média do ar e da taxa de aquecimento/resfriamento dos locais de monitoramento selecionados (MOB, LES, RMI, LAG e VAL) para cada dia do período entre 29/05 e 01/06.

Fonte: Autoria própria.

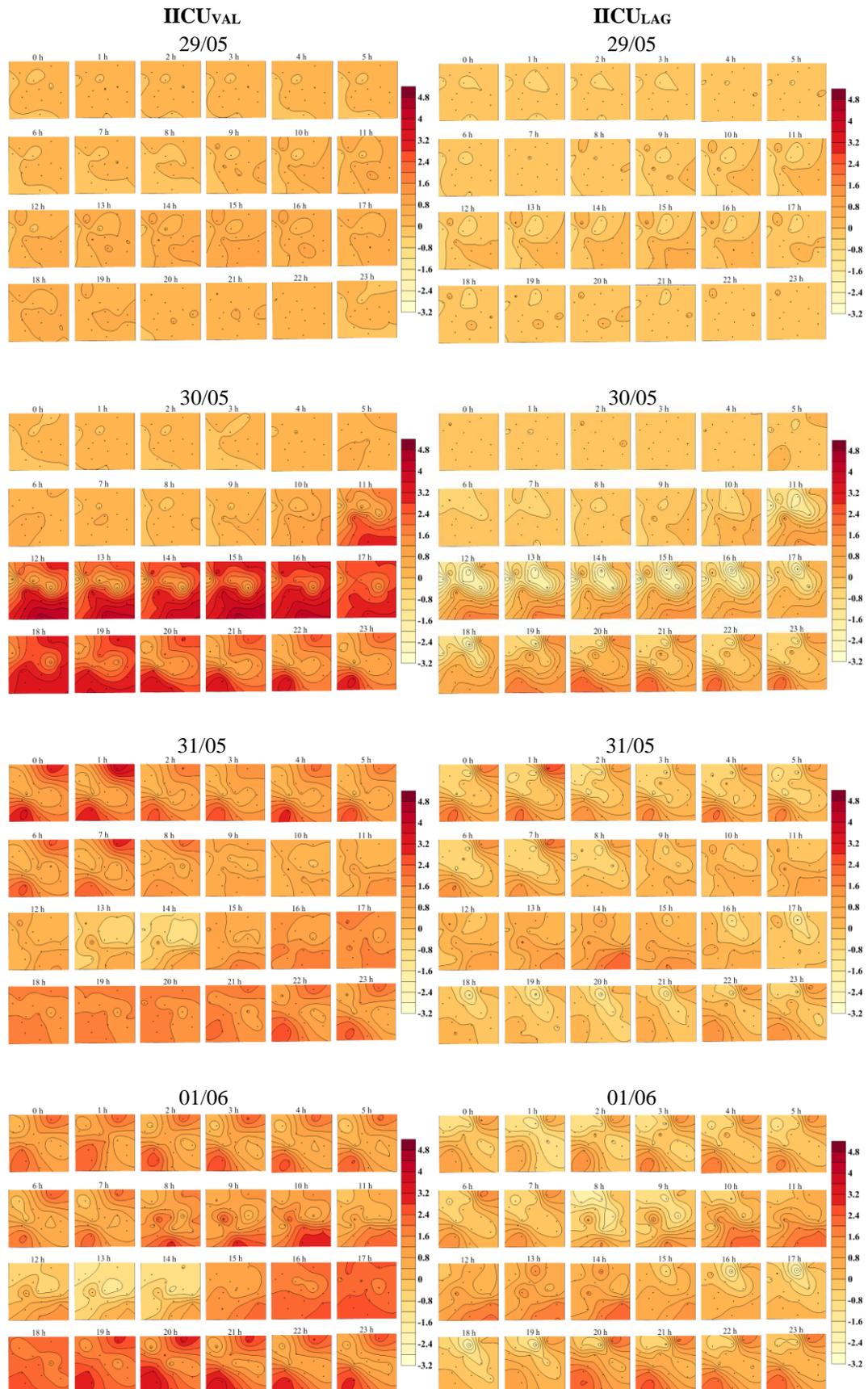


Figura 26 - Distribuição espacial horária da IICU entre os locais de monitoramento e a estação de referência VAL (esquerda) e LAG (direita) durante o dia 01/06.
Fonte: Autoria própria.

Com o intuito de identificar a melhor estratégia de mitigação da ICU para a região de Londrina, a Tabela 4 apresenta os resultados finais obtidos durante esse estudo. A Tabela 4 mostra com um “X” a melhor estratégia para cada parâmetro analisado, e “-” indica situações nas quais ambas as estratégias apresentam pouca eficiência.

Tabela 4 - Comparação entre a eficiência térmica do LAG e do VAL durante o período entre 29/05 e 01/06.

Parâmetros de análise	LAG	VAL
Eficiência na amenização da temperatura do ar em um dia de chuva	-	-
Eficiência na amenização da temperatura do ar no dia posterior a chuva durante a tarde		X
Eficiência na amenização da temperatura do ar no dia posterior a chuva durante a noite		X
Eficiência na amenização da temperatura do ar a partir do segundo dia após a chuva durante a tarde	-	-
Eficiência na amenização da temperatura do ar a partir do segundo dia após a chuva durante a noite		X

Fonte: Autoria própria.

A partir desses resultados, conclui-se que o VAL apresentou-se como a estratégia com melhor eficiência para mitigação da ICU, tanto durante as noites quanto durante as tardes do dia posterior à chuva.

5.4.3 Estratégias de mitigação e custos associados

A partir dos resultados obtidos com o monitoramento *in situ*, foram consideradas duas possíveis estratégias de mitigação da ICU: plantação de um bosque e construção de um lago artificial. Neste estudo, foram levados em conta tanto a eficiência de mitigação quanto os custos de implantação e manutenção.

Nessa seção serão apresentados os valores de implantação de um bosque e da implementação de um lago artificial, ambos de 5.000 m² (50 x 100 m) de área. Para isso, foram levantados os custos para aquisição de mudas, plantio e manutenção de um bosque e os custos de escavação, terraplanagem, compactação e implementação de um lago artificial. O custo de compra do terreno foi desconsiderado, pois levou-se em conta que o terreno foi disponibilizado pela prefeitura da cidade de Londrina.

Os custos de construção do lago artificial foram disponibilizados pela *Teixeira Holzmann Empreendimentos Imobiliários*, empresa do ramo imobiliário localizada em Londrina. Como a empresa providenciou o orçamento para construção de um lago de 2.800 m², esses valores foram adaptados para construção de um lago de 5.000 m² com 3 metros de profundidade (Tabela 5). Os gastos com a mão de obra não foram considerados neste cálculo.

Tabela 5 - Custos de implantação de um lago artificial de 5.000 m² e 3 metros de profundidade.

Atividades desenvolvidas	Preço unitário (R\$/m³ ou R\$/unidade)	Quantidade (m³ ou unidade)	Preço total (R\$)
Escavação, carga e transporte de solo inversível	10,50	15.000,00	157.500,00
Compactação	4,85	6.800,00	32.980,00
Caixa de entrada de água da lagoa (tubulação de 1200 mm)	18.700,00	1,00	18.700,00
Monge de saída d'água	19.160,00	1,00	19.160,00
Plantio de grama no talude e no topo da lagoa	5,50	2.000,00	11.000,00
Total			239.340,00

Os custos para implementação de um bosque foram disponibilizados pela *Flora Londrina*, viveiro de mudas localizado em Londrina, através de um orçamento realizado especificamente para a área de estudo em questão. A Tabela 6 apresenta os custos de implantação de um bosque de 5.000 m².

- Área: 5.000 m² (50 x 100 m);
- Espaçamento de plantio: 3 x 3 m;
- Número de mudas: 555;
- Estratificação: Três estratos, no mínimo;
- Espécies: 16 espécies nativas: açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), aroeira-salsa (*Schinus molle*), canafístula (*Peltophorum dubium*), capixingui (*Croton floribundus*), cedro (*Cedrela fissilis*), gurucaia (*Parapiptadenia rigida*), ingá-de-metro (*Inga edulis*), ipe-branco (*Tabebuia roseoalba*), mutambo (*Guazuma ulmifolia*), pata-de-vaca (*Bauhinia forficata*), pau-d'alho (*Gallesia integrifolia*), peroba-poca (*Aspidosperma cylindrocarpon*), quaresmeira (*Tibouchina granulosa*), sapuva (*Machaerium stipitatum*), sobrasil (*Colubrina glandulosa*), uvaia (*Eugenia pyriformis*);
- Tamanho: entre 80 e 100 cm.

A escolha destas espécies deu-se por serem nativas e encontradas no viveiro da cidade. Para obter o objetivo esperado com a melhor eficiência, as espécies devem ser utilizadas intercaladas e bem distribuídas, com espaçamento de 3 metros entre as linhas de espécies de grande porte para que a copa das árvores cubra toda a área do bosque (ARAÚJO; ARAÚJO, 2006). As espécies de médio e pequeno porte devem ser plantadas entre as espécies de grande porte, gerando uma estratificação de no mínimo três estratos.

Tabela 6 - Custos de implementação de um bosque de 5.000 m².

Atividades	Preço unitário (R\$/muda)	Quantidade (mudas)	Preço total (R\$)
Mudas	5,00	555	2.775,00
Plantio	2,00	555	1.110,00
Manutenção (3 anos)	36,00	555	19.980,00
Total			23.865,00

De acordo com os custos obtidos para implantação de um lago e implementação de um bosque, ambos de 5.000 m², tem-se que custo de implementação de um bosque representa aproximadamente 10% do custo para implantação de um lago. Portanto, do ponto de vista econômico, o bosque é a melhor alternativa para mitigação da ICU.

6 CONCLUSÕES

O campo de temperatura do ar foi monitorado em 14 locais da região sul da cidade de Londrina durante os meses de maio e junho de 2013. Neste estudo, a temperatura do ar foi relacionada com variáveis locais, como radiação solar incidente acumulada, precipitação acumulada, e cobertura do solo.

Observaram-se diferentes características quando o período de estudo foi segregado em três classes de dose de energia solar incidente. Os dias com altas doses de radiação solar acumulada (superior a 12 MJ m^{-2}) apresentaram as maiores diferenças de temperatura do ar devido ao aquecimento e resfriamento diferenciado entre os locais monitorados. Os locais com características mais urbanas (telhado e asfalto) como MOB, ENS, LES, DEL e STU apresentaram altas taxas de aquecimento durante a manhã com temperaturas máximas próximas de $28,1 \text{ }^\circ\text{C}$ (MOB) enquanto a temperatura dos locais com grande porcentagem de vegetação (RMI, HAR, ATE, TIJ, IAT e VAL) ficou entre $25\text{-}26 \text{ }^\circ\text{C}$. Durante a tarde, os locais com predominância de asfalto e telhado perderam calor mais lentamente do que locais com grande quantidade de vegetação. As temperaturas mínimas dos locais urbanizados foram $3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ mais quentes do que locais com vegetação. O LAG seguiu o comportamento dos locais com vegetação durante o dia, entretanto, durante a tarde, resfriava-se lentamente como os locais urbanos.

Para estudar a influência da precipitação no estudo do campo térmico, escolheu-se um período de 4 dias, caracterizado por abundante chuva no primeiro dia, com pequena diferença de temperatura entre os locais monitorados devido à baixa taxa de aquecimento da superfície. Sem a precipitação, o aquecimento dos locais foi o fator dominante nas temperaturas do ar. Devido à presença de umidade no solo, os locais com vegetação apresentaram taxas de aquecimento pequenas pois a energia é utilizada, primeiramente, para evaporar a água e depois para aquecer a superfície. Os locais com grande quantidade de materiais impermeáveis, como telhado e asfalto, apresentaram altas taxas de aquecimento já que estes materiais apresentam baixo albedo. Este fato explica as grandes diferenças de temperaturas observadas nestes dias.

Como a precipitação acumulada apresentou relação direta com a temperatura do ar, o mesmo período foi selecionado para uma análise mais detalhada dessa relação. Em locais urbanos, a presença de vegetação contribuiu muito para a mitigação da ICU. Em dias posteriores a grandes precipitações, esses locais apresentaram pequena taxa de aquecimento da superfície e suas temperaturas foram muito mais amenas que as temperaturas de locais sem vegetação.

Em dias mais secos, durante o dia, a temperatura do ar dependeu do tipo de cobertura do solo e da irradiância solar e as IICU foram menores. Durante a noite, a presença de vegetação teve um papel fundamental na mitigação da ICU, visto que a taxa de resfriamento de locais com vegetação é alta e mais rápida que a do lago e que locais com grande quantidade de telhado e asfalto. Dessa forma, concluiu-se que um bosque com vegetação é mais eficiente que um lago artificial, tanto economicamente (aproximadamente 10% do valor) quanto termicamente.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, S. A. **Some effects of urban parks on air temperature variations in Kuala Lumpur, Malaysia.** In: 2nd Tohwa University International Symposium, Tohwa University, Fukuoka, Japan. p. 107-108, 1992.
- AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Energy**, v. 24, p. 391-407, 2001.
- ARAUJO, M. N.; ARAUJO, A. J. **Arborização urbana.** Séries de cadernos técnicos da agenda parlamentar. Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná. 38 p. 2011.
- AVISSAR, R. Potential effects of vegetation on urban thermal environment. **Atmospheric Environment**, v. 30, p. 437-448, 1996.
- BORNSTEIN, R., LIN, Q. Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies. **Atmospheric Environment**, v. 34, p. 507-516, 2000.
- BOWLER, D. E.; BUYUNG-ALI, L.; KNIGHT, T. M.; PULLIN, A. S. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. **Landscape and Urban Planning**, v. 97, p. 147-155, 2010.
- BRASILIS, S. (2008). **Londrina volta a crescer verticalmente.** Disponível em <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=567137>. Acesso em: 20 de maio 2013.
- BRAZEL, A.; GOBER, P.; CLARKE, S. G.; MYINT, S.; QUAY, R.; MILLER, A. Q.; ROSSI, S.; GRIMMOND, S. **Mitigating urban heat island effects with water and energy sensitive urban designs.** In: Eighth Symposium on the Urban Environment, Phoenix, Arizona, 2009.
- CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Comput Graph**, v. 20, p. 395-403, 1996.
- CHANDLER, T. J. Urban climatology and its relevance to urban design. **World Meteorological Organisation**, Technical notes no. 149, Geneva. 1976.

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

CHEN, Y.; WONG, N. H. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 105-120, 2006.

CHIES, C.; YOKOO, S. C. Colonização do norte paranaense: avanço da cafeicultura e problemas decorrentes deste processo. **Revista GEOMAE**, v. 3, p. 27-44, 2012.

CHIESURA, A. The role of urban parks for the sustainable city. **Landscape and Urban Planning**, v. 68, p. 129-138, 2004.

COUTTS, A. M.; BERINGER, J.; TAPPER, N. J. Investigating the climatic impact of urban planning strategies through the use of regional climate modelling: A case study for Melbourne, Australia. **International Journal of Climatology**, v. 28, p. 1943-1957, 2008.

ELIASSON, I. The use of climate knowledge in urban planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 48, p. 31-44, 2000.

ELIASSON, I.; HOLMER, B. Urban heat island circulation in Göteborg, Sweden. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, p. 187-196, 1990.

ELIASSON, I.; UPMANIS, H. Nocturnal airflow from urban parks - implications for city ventilation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 66, p. 95-107, 2000.

FALLMANN, J.; SUPPAN, P.; EMEIS, S. Modeling of the urban heat island (UHI) using WRF – Assessment of adaptation and mitigation strategies for the city of Stuttgart. **Geophysical Research Abstracts**, v. 15, 2013.

FREITAS, E. D. **Mudanças no uso do solo e seus impactos nos padrões atmosféricos e na qualidade do ar**. São Paulo, 2009, 102p. Tese de Livre Docência – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A. M. G.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, v. 10, p. 193-202, 2002.

GAGO, E. J.; ROLDAN, J.; PACHECO-TORRES, R.; ORDÓÑEZ, J. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 749-758, 2013.

GHIAUS, C.; ALLARD, F.; SANTAMOURIS, M.; GEORGAKIS, C.; NICOL, F. Urban environment influence on natural ventilation potential. **Building and Environment**, v. 41, p. 395-406, 2006.

GIGUÈRE, M. **Urban Heat Island Mitigation Strategies**. Institut National de Santé Publique du Québec: Québec, 2009.

HAEGER-EUGENSSON, M.; HOLMER, B. Advection caused by the UHIC as a regulating factor on the nocturnal UHI. **International Journal of Climatology**, v. 19, p. 975-988, 1999.

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, p. 397-406, 2009.

HATHWAY, E. A.; SHARPLES, S. The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study. **Building and Environment**, v. 58, p. 14-22, 2012.

HIRANO, Y.; FUJITA, T. Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo. **Energy**, v. 37, p. 371-383, 2012.

HOLMER, B.; ELIASSON, I. Urban-rural vapour pressure differences and their role in the development of urban heat islands. **International Journal Climatology**, v. 19, p. 989-1009, 1999.

HUANG, H.; OOKA, R.; KATO, S. Urban thermal environment measurements and numerical simulation for an actual complex urban area covering a large district heating and cooling system in summer. **Atmospheric Environment**, v. 39, p. 6362-6375, 2005.

HUANG, L.; ZHAO, D.; WANG, J.; ZHU, J.; LI, J. Scale impacts of land cover and vegetation corridors on urban thermal behavior in Nanjing, China. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 94, p. 241-157, 2008.

ICHINOSE, T.; SHIMODOZONO, K.; HANAOKI, K. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 3897-3909, 1999.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. 2012. Summary for Policymakers. In: **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation** [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, p. 1-19.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE (2012). Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 13 de setembro 2013.

JANSSON, C. **Urban microclimate and surface hydrometeorological processes**. 2006. 24 f. Tese (Doutorado) - Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 2006.

JAUREGUI, E. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. **Energy and Buildings**, v. 16, p. 457-463, 1991.

JAUREGUI, E. Heat island development in Mexico City. **Atmospheric Environment**, v. 31, p. 3821-3831, 1997.

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

JIN, M. S. Developing an index to measure urban heat island effect using satellite land skin temperature and land cover observations. **Journal of Climate**, v. 25, p. 6193-6201, 2012.

JOSS, J.; RESELE, G. Mathematical modelling of the heat exchange between a river and the atmosphere. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 41, p. 27-40, 1987.

KIDDER, S. Q.; ESSENWANGER, O. M. The effect of clouds and wind on the difference in nocturnal cooling rates between urban and rural areas. **Journal of Applied Meteorology**, v. 34, p. 2440-2448, 1995.

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

KIM, Y. H.; BAIK, J. J. Daily maximum urban heat island intensity in large cities of Korea. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 79, p. 151-164, 2004.

KIM, Y. H.; BAIK, J. J. Spatial and Temporal Structure of the Urban Heat Island in Seoul. **Journal of Applied Meteorology**, v. 44, p. 591-605, 2005.

KLEEREKOPER, L. **Urban heat**: Design principles for urban heat management in the Netherlands. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Delft University of Technology, Holanda, 2009.

KLEEREKOPER, L.; ESCH, M. V.; SALCEDO, T. B. How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. **Resources, Conservations and Recycling**, v. 64, p. 30-38, 2012.

KLYSIK, K.; FORTUNIAK, K. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 3885-3895, 1999.

KOLOKOTRONI, M.; ZHANG, Y.; WATKINS, R. The London heat island and building cooling design. **Solar Energy**, v. 81, p. 102-110, 2007.

KOLOKOTRONI, M.; GIRIDHARAM, 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, p. 986-998, 2008.

LAKSHMI, V.; ZEHRFUHS, D.; JACKSON, T. J. Soil moisture–temperature relationships: results from two field experiments. **Hidrological Processes**, v. 17, p. 3041–3057, 2003.

LANDSBERGER, H. E. The urban climate. **International Geophysics Series**, v. 28. Academic Press, New York, 1981.

LEE, D. Ill wind in the streets. **The Geographical Magazine**, p. 348-351, 1987.

LEE, D. O. Urban-rural humidity differences in London. **International Journal of Climatology**, v. 11, p. 577-582, 1991.

LEWIS, J.; NICHOLAS, F.; SEALES, S.; WOOLLUM, C. Some effects of urban morphology on temperatures at Washington DC. **Journal of the Washington Academy of Sciences**, v. 61, p. 258-265, 1971.

LOWRY, T.W. The climate of cities. **Scientific American**, v. 217, p. 15-24, 1967.

MADLENER, R.; SUNAK Y. What we can learn for urban energy planning and urbanization management? **Sustainable Cities and Society**, v. 1, p. 45-53, 2011.

MARTINS, C. **Análise da ilha urbana de calor na cidade de Londrina, Brasil**: cobertura do solo, fatores meteorológicos e conforto térmico. 2013. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MASSON, V. A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 94, p. 357-397, 2000.

MORRIS, C. J. G.; SIMMONDS, I.; PLUMMER, N. Quantification of influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. **Journal of Applied Meteorology**, v. 40, p. 169-182, 2001.

MURAKAWA, S.; SEKINE, T.; NARITA, K.; NISHINA, D. Study of the effects of a river on the thermal environment in an urban area. **Energy and Buildings**, v. 15-16, p. 993-1001, 1990.

NICHOLSON, S. E. A pollution model for street-level air. **Atmospheric Environment**, v. 9, p. 19-31, 1975.

NISHIMURA, N.; NOMURA, T.; IYOTA, H.; KIMOTO, S. Novel water facilities for creation of comfortable urban microclimate. **Solar Energy**, v. 64, p. 197-207, 1998.

NKEMDIRIM, L. C. A test of lapse rate/wind speed model for estimating heat island magnitude in an urban airshed. **Journal of Applied Meteorology**, v. 19, p. 748-756, 1980.

NUNEZ, M.; OKE, T. R. The energy balance of an urban canyon. **Journal of Applied Meteorology**, v. 16, p. 11-19, 1977.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 7, p. 769-779, 1973.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, p. 237-254, 1981.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. New York: Methuen, 1987. 372p.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, v. 11, p. 103-113, 1988.

OKE, T. R. The micrometeorology of the urban forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 324, p. 335-349, 1989.

OKE, T. R.; JOHNSON, D. G.; STEYN, D. G.; WATSON, I. D. Simulation of surface urban heat island under 'ideal' conditions at night – Part 2: diagnosis and causation. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 56, p. 339-358, 1991.

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, p. 2186-2194, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. 2011. World Urbanization Prospects. Disponível em <http://esa.un.org/unup/CD-ROM/Urban-Rural-Population.htm>. Acesso em: 20 maio 2013.

PAPST, A. L. **Uso de Inércia térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis – SC**. 1999. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

PARK, M.; HAGISHIMA, A.; TANIMOTO, J.; NARITA, K. Effect of urban vegetation on outdoor thermal environment: Field measurement at a scale model site. **Building and Environment**, v. 56, p. 38-46, 2012.

PARK, H. S. Features of the heat island in Seoul and its surrounding cities. **Atmospheric Environmental**, v. 20, p. 1859-1866, 1986.

PLUHOWSKI, E. J. Urbanization and its effects on the temperature of the streams on Long Island, New York. **Hydrology and some effects of urbanization on Long Island, New York**, 106 f. 1970.

POLIDORO, M.; LOLLO, J.; BARROS, M. Environmental impacts of urban sprawl in Londrina, Paraná, Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 5, p. 73-83, 2011.

RIZWAN, A. M.; DENNIS, Y. C. L.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, p. 120-128, 2008.

ROBITU M.; MUSY, M.; INARD, C.; GROLEAU, D. Energy balance study of water ponds and its influence on building energy consumption. **Building Services Engineering, Research and Technology**, v. 25, p. 171-182, 2004.

RODRÍGUEZ-YI, J.L.; SHIMABUKURO, Y. E.; RUDORFF, B. F. T. Image segmentation for classification of vegetation using NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, p. 167-172, 2000.

ROWNTREE, R. A.; NOWAK, D. J. Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. **Journal of Arboriculture**, v. 17, p. 269-275, 1991.

SAITO, I.; ISHIHARA, O.; KATAYAMA, T. Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area. **Energy and Buildings**, v. 15, p. 493-498, 1991.

SANTAMOURIS, M. **Energy and climate in the urban built environment**. London: James and James, 2001. 407p.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. An empirical model for predicting the cooling effect of urban green áreas with trees. **Energy and Buildings**, v. 31, p. 221-235, 2000.

SIMONDS, J. O. **Landscape architecture: a manual of site planning and design**. New York: McGraw-Hill Professional, 2007.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 3ª edição. Tradução e revisão técnica Pedro Consentino. São Paulo: Pearson Makron Books, 1993. 643 p.

SPRONKEN-SMITH, R. A. **Energetics and cooling in urban parks**. 1994. 204 f. Tese - The University of British Columbia, Vancouver, 1994.

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, p. 2085-2104, 1998.

SPRONKEN-SMITH, R. A.; OKE, T. R. Scale modelling of nocturnal cooling in urban parks. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 93, p. 287-312, 1999.

SPRONKEN-SMITH, R. A.; OKE, T. R.; LOWRY, W. P. Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park. **International Journal of Climatology**, v. 20, p. 1033-1047, 2000.

STEENEVELD, G. J.; KOOPMANS, S.; HEUSINKVELD, B. G.; HOVE, L. W. A. van; HOLTSLAG, A. A. M. Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the netherlands. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, p. 1-14, 2011.

STEENEVELD, G. J.; KOOPMANS, S.; HEUSINKVELD, B. G.; THEEUWES, N. E. Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect. **Landscape and Urban Planning**, v. 121, p. 92-96, 2014.

STEVENS, H. H.; FICKE, J. F.; SMOOT, G. F. **Water temperature, influential factors, field measurement and data presentation**. U.S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources Investigations, Book I, Ch. D1, 1975.

SUN, R.; CHEN, L. How can urban water bodies be designed for climate adaptation? **Landscape and Urban Planning**, v. 105, p. 27-33, 2012.

TAHA, H.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. Residential cooling loads and the urban heat island: the effects of albedo. **Building and Environment**, v. 23, p. 271-283, 1988.

TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 99-103, 1997.

TARGINO, A.; KRECL, P.; CORAIOLA, G. Effects of the large-scale atmospheric circulation on the onset and strength of urban heat island. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 117, p. 73-87, 2014.

THUROW, C. **Improving street climate through urban design**. American Planning Association, Chicago, 1983. 34 f.

TOMLINSON, C. J.; CHAPMAN, L.; THORNES, J. E.; BAKER, C. J. Derivation of Birmingham's Summer surface urban heat island from MODIS satellite images, **International Journal of Climatology**, v. 32, p. 214-224, 2012.

UNGER, J. Heat Island Intensity with Different Meteorological Conditions in a Medium-Sized Town: Szeged, Hungary. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 54, p. 147-151, 1996.

UPMANIS, H.; ELIASSON, I.; LINDQVIST, S. The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). **International Journal of Climatology**, v. 18, p. 681-700, 1998.

VARDOULAKIS, S.; FISHER, B. E. A.; PERICLEOUS, K.; GONZALEZ-FLESCA, N. Modelling air quality in street canyons: a review. **Atmospheric Environment**, v. 37, p. 155-182, 2003.

VOOGT, J. Urban Heat Island. In: **Encyclopedia of Global Environmental Change**, v. 3. Chichester: John Wiley and Sons, 2002.

WALCEK, C. J.; YUAN, H-H. Calculated influence of temperature-related factors on ozone formation rates in the lower troposphere. **Journal of Applied Meteorology**, v. 34, p. 1056-1069, 1995.

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H.; MYERS, S. L.; YE, K. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. Tradução Luciane F. Pauleti Vianna. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 491 p.

WATKINS, R.; PALMER, J.; KOLOKOTRONI, M. Increased temperature and intensification of the urban heat island implications for human comfort and urban design. **Building and Environment**, v. 33, p. 86-96, 2007.

WEBB, B. W.; ZHANG, Y. Spatial and seasonal variability in the components of the river heat budget. **Hydrological Processes**, v. 11, p.79-101, 1997.

WILMERS, F. Effects of vegetation on urban climate and buildings. **Energy and Buildings**, v. 15-16, p. 507-514, 1991.

YO, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 105-120, 2006.