

Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Salime Amorim Al Manne

Influência do uso e ocupação do solo na formação de ilhas de calor em Uberaba-MG

Uberaba

2014

Salime Amorim Al Manne

Influência do uso e ocupação do solo na formação de ilhas de calor em Uberaba-MG

Trabalho de conclusão apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do título de mestre.

Uberaba

2014

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro**

A443i Al Manne, Salime Amorim  
Influência do uso e ocupação do solo em Uberaba-MG / Salime Amorim  
Al Manne. -- 2014.  
49 f. : il., fig., graf., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) -- Uni-  
versidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2014  
Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ariana de Campos  
Coorientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza Inácio Gonçalves

1. Ilha de calor urbana. 2. Climatologia urbana. 3. Planejamento urbano -  
Urbanização. I. Campos, Ariana de. II. Universidade Federal do Triângulo  
Mineiro. III. Título.

CDU 551.588.7

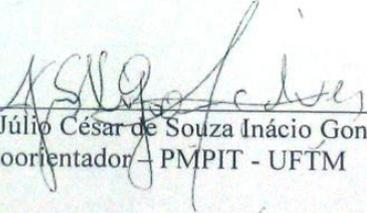
SALIME AMORIM AL MANNE

INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA FORMAÇÃO DE  
ILHAS DE CALOR EM UBERABA-MG

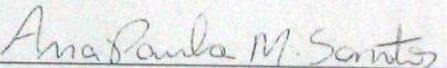
Trabalho de conclusão apresentado ao  
Programa de Mestrado Profissional em  
Inovação Tecnológica da Universidade  
Federal do Triângulo Mineiro, como requisito  
para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 29 de agosto de 2014

Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. Júlio César de Souza Inácio Gonçalves  
Coorientador – PMPIT - UFTM

  
Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha  
Membro titular – UNIFAL

  
Prof.ª Dr.ª Ana Paula Milla dos Santos  
Membro Titular – UFTM

Dedico este trabalho a minha amada filha Isabela,  
fonte de incentivo e inspiração.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me conceder vida, saúde e coragem para continuar aprendendo.

A meu pai, pelo apoio e incentivo aos estudos; a minha mãe, pelo amor, dedicação e pelas constantes orações.

Aos meus irmãos, pelo companheirismo.

A minha filha Isabela, fonte de inspiração e de incentivo.

Ao Ricardo, pelo incentivo e compreensão.

A Jéssica, por todo apoio nos trabalhos de campo.

Aos meus orientadores, professora Dra. Ariana de Campos e professor Dr. Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves, pelos sábios ensinamentos, dedicação e paciência.

As professoras Dra. Ana Paula Milla dos Santos e Dra. Ana Carolina Borella Marfil Anhê, pelas observações que contribuíram decisivamente para o desenvolvimento do trabalho, na fase de qualificação, e pelo aceite em participar como membro na banca de defesa dessa dissertação.

Aos professores Dr. Diego de Souza Sardinha e Dra. Carmem Silvia Maluf, pelo aceite em participar como membro na banca de defesa dessa dissertação.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho. Meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

O estudo da relação entre a morfologia urbana e o aumento da temperatura do ar em áreas urbanas é de grande importância para a identificação das fontes causadoras de ilhas de calor e para o desenvolvimento de metodologias mitigadoras de zonas de calor nessas áreas. O presente trabalho avaliou a influência do uso e ocupação do solo na temperatura do ar ao longo das Avenidas Dr. Randolfo Borges Júnior, Leopoldino de Oliveira e Niza Marques Guaritá, na cidade de Uberaba, interior do estado de Minas Gerais. Foram selecionados 25 pontos e realizadas medições mensais de temperatura. A caracterização da área de estudo foi realizada através de mapas de uso e ocupação do solo e imagens de satélite, sendo possível associar os dados de temperatura à morfologia urbana de Uberaba - MG. Os resultados possibilitaram identificar ilhas de calor de magnitude muito forte e os pontos onde a temperatura do ar é mais elevada, demonstrando que as áreas mais adensadas tendem a apresentar maiores temperaturas se comparadas com áreas mais afastadas dos centros urbanos. Os estudos sobre o clima são importantes ferramentas para o planejamento urbano, podendo contribuir para a criação de planos diretores municipais eficazes, principalmente no que diz respeito aos critérios de zoneamento e leis de uso e ocupação do solo.

**Palavras-chave:** Ilha de calor urbana. Climatologia urbana. Planejamento urbano - Urbanização.

## ABSTRACT

The study of the relationship between urban morphology and the increase in the air temperature in urban areas is of great importance to identify the sources that cause heat islands and to develop methods of mitigating heat zones in these areas. This study evaluated the influence of the use and occupation of land in air temperature along the Avenues Dr. Randolpho Borges Junior Avenue, Leopoldino de Oliveira and Niza Marques Guaritá, in the city of Uberaba. Twenty-five points were selected and monthly temperature measurements of these points were held. The characterization was done through use and occupation of land maps and satellite images thus it was possible to associate the temperature data to the urban morphology of Uberaba - MG. The results allowed identifying heat islands of very strong magnitude and the places where the air temperature is warmer, demonstrating that the most densely populated areas tend to have higher temperatures compared with outlying areas of urban centers. The climate studies are important tools for urban planning, contributing to the creation of effective municipal master plans, particularly with regard to the criteria and zoning laws and land use.

**Keywords:** Urban heat island. Urban climatology. Urban planning – Urbanization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização do município de Uberaba .....	30
Figura 2 – Precipitação pluviométrica mensal média de 2001 a 2013 em Uberaba .....	32
Figura 3 – Área de estudo e pontos de coleta de dados .....	33
Figura 4 – Intensidade das ilhas de calor nas medições contínuas e ponto a ponto .....	37
Figura 5 – Diagrama box-plot para os 25 pontos de coleta de dados nas medições ponto a ponto (inverno – média dos meses junho, julho e agosto).....	38
Figura 6 – Diagrama box-plot para os 25 pontos de coleta de dados nas medições ponto a ponto (verão – média dos meses janeiro, fevereiro e março).....	39
Figura 7 – Frequência de picos máximos e mínimos de temperatura em medições ponto a ponto no período de junho/2012 a janeiro/2014 .....	40
Figura 8 – Ocupação do solo nos pontos analisados .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre .....	21
Tabela 2 – Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano .....	25
Tabela 3 – Precipitação e temperatura médias mensais observadas na classe Aw .....	31
Tabela 4 – Pontos de coleta de dados e coordenadas geográficas correspondentes .....	34
Tabela 5 – Taxas de ocupação do solo e temperatura média nos pontos analisados .....	42

## **LISTA DE SIGLAS**

EPA - Environmental Protection Agency

EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

FVC – Fator de Visão do Céu

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

WMO – World Meteorological Organization

SCU – Sistema Clima Urbano

SPa – Sistema Polar Atlântico

STa – Sistema Tropical Atlântico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVO .....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	HISTÓRICO DOS ESTUDOS SOBRE O CLIMA URBANO .....	14
2.2	OCUPAÇÃO DO SOLO E SUAS CONSEQUÊNCIAS.....	15
2.3	IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR .....	17
2.4	INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA URBANA NO BALANÇO DE ENERGIA TÉRMICA .....	19
2.5	MÉTODOS DE ESTUDO DOS FENÔMENOS CLIMÁTICOS URBANOS .....	22
2.6	ANÁLISE DO CLIMA URBANO EM CIDADES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE.....	24
2.7	O ESTUDO DO CLIMA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O PLANEJAMENTO URBANO .....	27
2.8	ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE ILHAS DE CALOR.....	28
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	30
3.2	COLETA DE DADOS .....	34
3.2.1	Medições ponto a ponto.....	35
3.2.2	Medições contínuas.....	35
3.3	ANÁLISE DOS DADOS .....	35
3.3.1	Dados de temperatura.....	35
3.2.1	Uso e ocupação do solo.....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente pequenas mudanças na temperatura média do planeta podem se transformar em mudanças climáticas grandes e potencialmente perigosas. Segundo dados da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - EPA [1], a temperatura média da Terra aumentou 1,4°F (0,8°C) ao longo do século passado, e está projetado um aumento de até 11,5°F (6,4°C) durante os próximos cem anos.

Recentes estudos divulgados pelo Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas - IPCC [2] relatam que o processo de urbanização altera o meio ambiente através de uma série de fenômenos físicos que podem resultar em pressões ambientais locais. Estes incluem ilhas de calor urbanas e inundações que podem ser intensificadas pela mudança climática. É fundamental entender a interação entre os processos de alterações ambientais locais, urbanização e mudanças climáticas, pois a natureza densa de muitas cidades exerce grande influência sobre as emissões antrópicas de calor e rugosidade da superfície, relacionadas ao consumo de energia e às condições climáticas regionais.

À medida que a morfologia urbana é alterada com a canalização de córregos, verticalização das habitações, impermeabilização do solo, retirada da vegetação natural, entre outros fatores, superfícies que antes eram permeáveis e úmidas geralmente tornam-se impermeáveis e secas; esta evolução leva à formação de ilhas de calor [3].

O termo ilha de calor se refere a uma anomalia térmica onde a temperatura do ar urbano se caracteriza por ser superior a da vizinhança rural. A ilha de calor pode acontecer em diferentes escalas, tanto em localizações dentro da própria cidade, quanto na diferença de temperatura entre a área urbana e rural [4].

As cidades mal planejadas sofrem graves problemas com o fenômeno denominado ilha de calor, que ocorre em locais com excessiva quantidade de construções e baixa concentração de áreas verdes [5]. No entanto, em algumas cidades dos Estados Unidos e da Europa, o governo local é inovador nos setores de energia e meio ambiente, envolvendo-se em projetos de demonstração e aplicação de medidas eficientes para mitigação de ilhas de calor e consequente melhoria do conforto ambiental, redução do consumo de energia, da poluição e de enchentes [6].

As áreas urbanas dos países em desenvolvimento têm apresentado incontáveis problemas relacionados ao meio ambiente, sobretudo devido ao seu crescimento desordenado e à ausência quase completa de planejamento na orientação de seu desenvolvimento [7]. Apesar dos diversos estudos hoje existentes sobre esse assunto, poucas são as ferramentas

práticas disponíveis para que possam ser estabelecidas diretrizes de planejamento urbano. Esse quadro se agrava ainda mais quando considerado o caso de cidades localizadas em países em desenvolvimento, para os quais frequentemente existe uma carência de dados básicos para esse fim [8].

No campo de estudo das ilhas de calor a contribuição de Oke [9, 10,11] foi bastante significativa, pois seus estudos demonstraram que o clima da cidade é produto de um fenômeno de transformação de energia a partir da interação entre o ar atmosférico e o ambiente urbano construído.

No Brasil, os estudos sobre o ambiente atmosférico urbano ganharam maior importância a partir da década de 70, quando Monteiro [12] lançava uma proposta teórica para conduzir programas de pesquisas sobre os climas das cidades brasileiras, intitulada Sistema Clima Urbano (SCU) e visa compreender a organização climática peculiar da cidade. No SCU todos os fatos da observação do clima da cidade implicam consideráveis transformações, das quais a ilha de calor e a poluição do ar são as mais eloquentes demonstrações.

O estudo da relação entre uso e ocupação do solo e o aumento da temperatura do ar em áreas urbanas é de grande importância para a identificação das fontes causadoras de ilhas de calor e para o desenvolvimento de metodologias mitigadoras de zonas de calor nessas áreas. Outro fator que deve ser considerado durante estes estudos é o tamanho da cidade estudada, pois as cidades de porte médio e pequeno possuem características geográficas bastante diferenciadas daquelas de grande porte e metropolitanas [12].

No que diz respeito aos estudos sobre o clima da cidade de Uberaba, existem dados meteorológicos em sua maioria registrados pela Estação Experimental Getúlio Vargas da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Estes dados mostram que a temperatura do ar na cidade vem aumentando significativamente, porém, ainda há uma ausência de estudos que possam orientar o zoneamento e a gestão urbana do município. Neste sentido, o presente trabalho tem como finalidade verificar a interação entre a temperatura do ar e a caracterização do ambiente urbano, com base na análise de áreas com diferentes padrões de ocupação.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é o estudo da influência do uso e ocupação do solo na formação de ilhas de calor no município de Uberaba, interior do estado de Minas Gerais. Para isso, as seguintes etapas foram efetuadas:

- a) medições de temperatura ao longo das avenidas Dr. Randolpho Borges Júnior, Leopoldino de Oliveira e Niza Marques Guaritá;
- b) avaliação dos dados de temperatura obtidos;
- c) identificação de ilhas de calor;
- d) análise dos diferentes padrões de ocupação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HISTÓRICO DOS ESTUDOS SOBRE O CLIMA URBANO

Uma das mais antigas referências sobre as preocupações com a modificação da atmosfera nas cidades data de 1661 com a proposição de Sir John Evelyn [13], de que fosse criado um cinturão verde com espécies aromáticas para purificar o ar fumarento e já nocivo de Londres. Entretanto, a literatura científica sobre o clima urbano é relativamente recente e surgiu no século XIX com a preocupação de detectar as evidências de alterações dos elementos climáticos entre a cidade e seus arredores [14].

A preocupação com a qualidade do ambiente urbano remonta ao período da Revolução Industrial, em virtude do estado de deterioração dos aglomerados industriais que se desenvolveram na Inglaterra, França e Alemanha. Isso justifica a preocupação do inglês Luke Howard e do francês Emilien Renou, no início do século XIX, com o estudo do clima nas cidades de Londres e Paris, cujas temperaturas se mostraram 2°C e 1°C mais elevadas em comparação com seus arredores mais frescos [15]. No século XX, destacam-se os trabalhos de Landsberg [16] e Chandler [17], do final dos anos 60 com estudos nas cidades da Europa, América do Norte e mais recentemente do Japão, priorizando análises na pesquisa meteorológica e climatológica com ênfase a poluição atmosférica e ilhas de calor [14].

A partir da década de 70 estudos realizados por Oke [9, 10,11] demonstraram que o clima da cidade é produto de um fenômeno de transformação de energia a partir da interação entre o ar atmosférico e o ambiente urbano construído.

No Brasil, os estudos sobre o ambiente atmosférico urbano ganharam maior importância a partir da década de 70, com Monteiro [12]. Seus estudos demonstraram que o SCU importa energia do seu ambiente, desempenhando um processo contínuo de transformação. Essa energia possui natureza térmica, oriunda do Sol, sendo alimentada pelo calor antropogênico e retroalimentada na dinâmica da superfície, no tocante à circulação atmosférica regional.

Na teoria do SCU, encontram-se três subsistemas que se articulam e se integram: o termodinâmico, no tocante ao conforto térmico; o hidrodinâmico, no que tange ao impacto meteórico (chuvas intensas); e o físico-químico, que diz respeito à qualidade do ar [18]. Dentre estes subsistemas, pode-se destacar o termodinâmico, que se caracteriza como o nível fundamental de resolução climática para onde convergem e se associam todos os outros

componentes [12]. Este subsistema apresenta um desenvolvimento contínuo e possui, como principal produto, a ilha de calor [18].

## 2.2 OCUPAÇÃO DO SOLO E SUAS CONSEQUÊNCIAS

As áreas urbanas dos países em desenvolvimento têm apresentado incontáveis problemas relacionados ao meio ambiente, sobretudo devido ao seu crescimento desordenado e à ausência quase completa de planejamento na orientação de seu desenvolvimento [7].

A população mundial mudou sua característica de predominantemente rural para predominantemente urbana no final do século XX, momento no qual a maioria dos seres humanos passou a apresentar-se em maior concentração nas áreas urbanas. Isto aconteceu devido à implementação de leis de zoneamento e planejamento urbano, aos avanços tecnológicos na agropecuária e à diversificação da economia urbana.

No caso brasileiro a passagem do estágio de população predominantemente rural para urbana aconteceu em meados da década de 1960, tendo o processo de urbanização apresentado considerável aceleração nas décadas seguintes devido ao êxodo rural e à migração urbano-urbano, que consiste no êxodo de uma quantidade de pessoas de um centro urbano para outro. Este processo pode ser caracterizado como urbanização corporativa, gerando cidades com expressiva degradação das condições de vida e de qualidade no ambiente urbano, acarretando na queda da qualidade da atmosfera urbana e nos problemas humanos a ela correlatos [19].

As áreas urbanas e metropolitanas são, particularmente, mais afetadas porque correspondem aos segmentos da superfície terrestre mais intensamente transformados. A atividade humana nestas áreas, principalmente através do tratamento incorreto dos recursos naturais, altera inadequadamente o ambiente local e cria uma vulnerabilidade maior em relação aos eventos do sistema natural. Como um circuito alimentado positivamente, a vulnerabilidade aumenta e, conseqüentemente, aumenta a capacidade de a população absorver seus efeitos [14].

A urbanização é um processo que se desenvolveu em detrimento de espaços verdes. Os países em desenvolvimento atestam um processo muito recente de urbanização desordenada, suas cidades apresentam elevados níveis de degradação ambiental decorrente da escassez de áreas verdes urbanas, intensa circulação de veículos automotores, elevada concentração de edificações, dentre outras inúmeras causas. Retirou-se muito rapidamente a cobertura vegetal da paisagem natural ou rural na zona tropical nos últimos quarenta anos, e

foram implantadas áreas urbanas sobre sítios muitas vezes inadequadas à sua instalação. A rápida degradação do ambiente e da qualidade de vida comprova a insensatez das instâncias de poder que privilegiam o progresso econômico em detrimento do social [7].

O uso do solo urbano é muito mais uma questão de livre arbítrio e de uma especulação imobiliária desenfreada que danifica as cidades, tanto do ponto de vista ecológico quanto social [20]. Se por um lado o loteador tem algum interesse no melhor aproveitamento do solo, em termos de área construída, a administração pública corrobora esse interesse à medida que, quanto maior a área construída, maior a arrecadação de impostos e menores os custos de manutenção pela redução no número de áreas verdes. Além disso, os bicos de quadra (sobras de terrenos oriundos de um processo de parcelamento do solo urbano) destinados às áreas verdes atendem, na melhor das hipóteses, a uma porcentagem por habitante, e não às funções sociais a que se destinam [21].

A vegetação, enquanto fator, manifesta sua influência em todas as escalas de grandezas climáticas, tendo implicações desde a formação do questionável efeito-estufa planetário até a derivação de ambientes microclimáticos naturais, rurais ou urbanos. A flora desempenha, assim, importantíssimo papel no balanço de energia, particularmente no caso de cidades tropicais com expressiva continentalidade. Os estudos relativos ao clima urbano, elaborados até o presente destacaram repetidamente a importância dos espaços verdes dentro das áreas urbanas, notadamente como regulador das amplitudes termo-higrométricas, geradores de desconforto térmico [7].

Na estrutura urbana, as áreas verdes atuam verdadeiras válvulas regulares do escoamento, pela possibilidade de infiltração em meio à massa de edificações e ruas pavimentadas. Além do que, são complementos necessários ao lazer, especialmente para as classes que não dispõem de recurso para buscar entretenimento fora da circunscrição urbana [20].

Em muitas cidades com área urbana localizada em fundos de vale, as vias públicas tomaram o lugar dos cursos d'água na ocupação e expansão urbana, ou então foram construídas sobre eles. No Brasil a relação com o território (espaço natural sobre o qual se assenta a cidade) foi em geral, a de se desprezar a existência de rios, córregos, a presença de vegetação, bem como a topografia do lugar e suas características climáticas [22].

### 2.3 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR

As áreas urbanizadas produzem efeitos na atmosfera de uma região devido às diversas formas de uso e ocupação do solo. O grau de transformação das superfícies, materiais utilizados, rugosidade, densidade, permeabilidade do solo, contaminação do ar e a geração local de calor são fatores que irão determinar a reflexão, absorção ou armazenamento de calor, além de produzir efeitos na circulação e cisalhamento da ventilação [8].

A ilha de calor urbano é o exemplo mais evidente de alteração climática provocada pelo processo de urbanização. Elas se formam por duas razões: a primeira é que a maior parte dos materiais de construção é impermeável e estanque, e por esta razão não há umidade disponível para dissipar o calor do sol; a segunda é a combinação de materiais escuros de edifícios e pavimentos com configuração tipo cânion que absorve e armazena mais energia solar [23]. Esta verticalização, ao configurar-se como verdadeira cortina de concreto, tende a alterar a rugosidade da superfície local, canalizando os ventos e atuando como barreiras à livre circulação do ar. Além disso, os prédios agem como armazenadores térmicos, modificando as trocas de energia propiciando a criação de campos térmicos diferenciados [24].

O horário de pico das ilhas de calor depende das propriedades dos materiais urbanos. Cidades construídas com materiais que liberam calor mais rapidamente (solos secos e madeira) atingem picos de intensidade após o pôr do sol, já cidades construídas com materiais que liberam calor mais lentamente (concreto e rocha) podem atingir picos após o amanhecer. Estudos realizados em Buffalo e Sacramento (USA) identificaram que temperaturas de superfícies escuras e secas podem chegar a 88°C durante o dia, enquanto superfícies com vegetação e solos úmidos sob as mesmas condições atingem apenas 18°C [6].

Em climas frios do norte e em climas desérticos, a diferença entre as temperaturas do ar de áreas urbanas e rurais durante o dia pode ser menor que zero, criando uma *ilha fria* ou *ilha de frescor* durante o dia. Em Reykjavíck, na Islândia, a magnitude da ilha de calor durante o verão pode chegar a 4°C negativos [25], e por isso a cidade fica mais fria do que as áreas rurais circundantes. Isso acontece principalmente porque o sol de verão, vagaroso, lança longas colunas de sombras nas cidades mais ao norte. Na cidade de Phoenix (USA) um fenômeno de arrefecimento parecido já foi observado, sendo chamado de efeito oásis [6].

Estudos realizados em Londrina, Estado do Paraná entre 1992 e 1993, ilhas de frescor foram observadas ocorrendo principalmente nos períodos da manhã e início da tarde, sendo marcadamente mais expressivas na estação de verão, momento no qual a diferença térmica

urbano-rural atinge  $7,9^{\circ}\text{C}$  negativos [7]. Neste estudo, o levantamento de dados meteorológicos foi realizado em pontos previamente estabelecidos a partir do embasamento cartográfico detalhado e posterior checagem de campo, em dezessete pontos na área urbana da cidade. Os dados climato-meteorológicos levantados em diferentes situações diárias e sazonais possibilitaram a identificação dos principais tipos de tempo que se formam na cidade.

Além dos fatores já mencionados, o calor antropogênico e o Fator de Visão do Céu (FVC) também contribuem para aumento da temperatura urbana. O calor antropogênico representa o calor produzido pelo homem que é gerado por edifícios, equipamentos ou pessoas. É mais elevado em áreas densamente urbanizadas e pode ser uma influência significativa na formação de ilhas de calor. Para determinar quanto calor antropogênico é produzido em uma determinada região, toda a utilização de energia (comercial, residencial, industrial e transporte) deve ser somada. A soma é então dividida pela área da região para permitir a comparação entre diferentes cidades [6].

O FVC é uma medida mais apropriada para a geometria de radiação de determinado local, pois representa a fração de céu disponível para a troca de calor. O FVC é uma estimativa de área visível do céu a partir de um ponto de observação na malha urbana e está relacionado com diversos processos ambientais urbanos. É também chamado de fator de forma ou de configuração. É, portanto, um parâmetro adimensional que indica a quantidade de céu visível em um ponto. Assim a área resulta de limites impostos pelos elementos urbanos e suas inter-relações. A geometria urbana, que pode muitas vezes ser descrita pelo fator de visão do céu, é uma das principais causas da ilha de calor urbana [26].

Apesar de haver um consenso de que o FVC é um fator importante no balanço energético e nas temperaturas da cidade, nem todos os estudos conseguem provar isso. Estudos realizados em situação brasileira relacionando FVC e temperatura do ar constataram apenas uma pequena relação para a área estudada, acreditando que tal relação se deva à ocorrência de intensa ventilação na área de estudo [23]. Portanto, a melhor geometria para o conforto térmico do espaço urbano se dá quando há um equilíbrio entre a ocupação do solo urbano e a porção de céu visível [22].

As cinco características comuns das ilhas de calor são: (1) Em comparação com áreas rurais não urbanizadas, a ilha de calor é mais quente em geral, com padrões de comportamento distintos. Ilhas de calor são geralmente mais intensas após o pôr do sol, quando comparadas às áreas rurais e mais frescas após o amanhecer; (2) As temperaturas do ar são elevadas em consequência do aquecimento das superfícies urbanas, uma vez que

superfícies artificiais absorvem mais calor do sol do que a vegetação natural; (3) Essas diferenças das temperaturas do ar e da superfície são realçadas quando o dia está calmo e claro; (4) Áreas com menos vegetação e mais desenvolvidas tendem a ser mais quentes, e ilhas de calor tendem a ser mais intensas conforme o crescimento das cidades; (5) Ilhas de calor também apresentam ar mais quente na “camada limite”, uma camada de ar de até 2000m de altura. Elas geralmente criam colunas de ar mais quentes sobre as cidades, e inversões de temperatura causadas por elas não são incomuns [6].

Em Londrina, as ilhas de calor que se formaram na área urbana ocorreram, sobretudo, no período noturno, tanto na estação de verão quanto na de inverno. As magnitudes mais expressivas do fenômeno ocorreram em noites de verão atingindo 10°C e 9°C, em condições de vento calmo, céu limpo e domínio do Sistema Tropical Atlântico (STa) quando, após a ocorrência de um veranico, os solos rurais encontravam-se secos e nus [7].

A formação de ilhas de calor noturna foi observada nas cidades de Marabá [27], Porto Alegre [28] e São Paulo [29], apenas em São Paulo e Porto Alegre a formação noturna ocorreu na estação de inverno. Em São José dos Campos [30] os valores mais expressivos das diferenças de temperaturas urbana-rural ( $T^{\circ}u-r$ ) foram sob o domínio do Sistema Polar Atlântico (SPa), não acontecendo com Londrina [7], onde foram observadas sob o domínio do STa.

As ilhas de calor formadas sobre Londrina, em torno de 10°C, apresentaram os mesmos valores observados em São Paulo [29] e Porto Alegre [28], sendo superior aos de São José dos Campos (3,4°C) [30] e Salvador (3,4°C e 4,6°C) [31]. As áreas de ocorrências das mais elevadas diferenças térmicas urbano-rurais coincidiram, em Londrina, genericamente, com aquelas de menor teor de umidade do ar, gerando desconforto térmico urbano [7].

## 2.4 INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA URBANA NO BALANÇO DE ENERGIA TÉRMICA

O processo de urbanização é bastante significativo em termos de modificação do clima em escala local. A materialidade física da cidade e as atividades dela decorrentes promovem alterações nos balanços energético, térmico e hídrico resultantes, trazendo como consequência modificações importantes nas propriedades físicas e químicas da atmosfera, propiciando, assim, a criação de condições climáticas distintas das áreas não urbanizadas [14].

É na cidade que a ação do homem se faz com intensidade máxima. Nela o ritmo e a magnitude de produção e armazenamento de calor são profundamente alterados e

diferenciados daquele da zona rural. As instalações industriais, a circulação de veículos automotores, a retirada da cobertura vegetal, o revestimento dos solos, a pavimentação de vias de circulação e as modificações na topografia são algumas das interferências no sítio urbano original, que alteram o balanço energético e o balanço hídrico da cidade e acabam por gerar ambientes climáticos, na maioria das vezes, inconvenientes ao pleno desempenho das funções urbanas. Os diferentes graus de derivação no organismo urbano, em sua maioria negativos, geradores de problemas socioambientais de diversas ordens, dependendo do tamanho e complexidade da cidade refletem a desorganização e a inadequação de usos do solo para atender, satisfatoriamente, às necessidades básicas da população [15].

A cidade gera um clima próprio (clima urbano), resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada de limite urbano e que agem no sentido de alterar o clima em escala local. Seus efeitos mais diretos são percebidos pela população através de manifestações ligadas ao conforto térmico, à qualidade do ar, aos impactos pluviais e a outras manifestações capazes de desorganizar a vida da cidade e deteriorar a qualidade de vida de seus habitantes [12].

Neste ambiente socialmente construído, o balanço de energia precedente sofre profundas mudanças, sendo que os elementos climáticos mais observados são a temperatura e a umidade relativa do ar (ilha de calor, ilha de frescor, conforto/desconforto térmico etc.), os ventos (diretamente ligados à dispersão da poluição) e a precipitação (inundações). As atividades socioeconômicas de maneira geral são fatores da formação do clima urbano, sendo a intensidade do adensamento humano e urbano e a localização geográfica da cidade que desempenham forte influência em tal formação [7].

As alterações no balanço de energia são resultantes das transformações geradas na superfície em relação às propriedades radiativas, térmicas, aerodinâmicas e de umidade [32]. O fenômeno mais significativo do clima urbano e sua intensidade dependem das condições microclimáticas (relacionadas a áreas que incluem grandes edificações, habitações ou setores cujas unidades de superfícies sejam medidas em metros) e mesoclimáticas (relacionadas a cidades grandes, bairros ou subúrbios de metrópoles com unidades de superfície medidas em centenas de quilômetros). Assim, é necessário pesquisar o desempenho das diversas edificações, usos do solo, morfologia, materiais de construção, desmatamento, dentre outros [15].

Sabe-se que a formação das ilhas de calor não depende de um único fator, ao contrário, diversos fatores contribuem para o aquecimento das cidades e subúrbios. A Tabela

1 apresenta as principais características urbanas que contribuem para a formação das ilhas de calor.

Tabela 1 – Características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre

<b>Características que contribuem para a formação de ilhas de calor</b>	<b>Efeitos sobre o balanço de energia</b>
Falta de vegetação	Reduz evaporação
Utilização difundida de superfícies impermeáveis	Reduz evaporação
Maior difusividade térmica dos materiais urbanos	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa refletância solar dos materiais urbanos	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam o calor	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz convecção
Aumento dos níveis de poluição	Aumenta saldo de radiação
Aumento da utilização de energia	Aumenta o calor antropogênico

Fonte: Gartland, 2010

As características da Tabela 1 podem ser divididas em cinco principais causas: (1) evaporação reduzida; (2) maior armazenamento de calor; (3) aumento do saldo de radiação; (4) convecção reduzida; (5) aumento do calor antropogênico.

Para um melhor entendimento das causas de formação de ilhas de calor é útil entender o conceito de “balanço de energia” na superfície terrestre. O balanço de energia se baseia na primeira lei da termodinâmica, que diz que a energia nunca é perdida. Isso significa que toda a energia absorvida pela superfície por meio de radiação ou a partir de calor antropogênico, vai para algum lugar. Essa energia irá aquecer o ar acima da superfície ou será evaporada com a umidade ou será armazenada nos materiais em forma de calor. O cálculo do balanço de energia pode ser feito utilizando-se a Equação 1 [6].

$$\text{Convecção} + \text{Evaporação} + \text{Armazenamento de calor} = \text{Calor antropogênico} + \text{Saldo de radiação} \quad (1)$$

Convecção é a energia que é transferida de uma superfície sólida para uma fluida, neste caso da superfície terrestre para o ar acima dela. Evaporação é a energia transmitida a partir da superfície terrestre em forma de vapor d’água. Armazenamento de calor depende da condutividade térmica e da capacidade calorífica dos materiais e a medida que mais energia térmica é armazenada, a temperatura do material aumenta. Calor antropogênico representa o calor produzido pelo homem que é gerado por edifícios, equipamentos ou pessoas. Saldo de radiação abrange quatro processos distintos que acontecem na superfície terrestre conforme Equação 2 [6].

Saldo de radiação = radiação solar global – radiação solar refletida + radiação atmosférica – radiação da superfície (2)

Radiação solar global representa a quantidade de energia radiada pelo sol. Radiação solar refletida é a quantidade de energia que é refletida a partir de uma superfície, conforme a refletância do material. Radiação atmosférica é o calor emitido por partículas presentes na atmosfera, tais como vapor d'água, nuvens, poluição e poeira. Radiação da superfície é o calor radiado a partir de uma superfície, este fator depende das temperaturas das superfícies e de seus arredores, já que uma superfície mais quente radia mais energia.

A radiação solar é o componente de valor mais elevado no balanço de energia. As superfícies ganham calor por radiação solar durante o dia e perdem por ondas longas, num processo contínuo, dia e noite [33].

Neste contexto, as ilhas de calor em áreas urbanas tendem a apresentar características típicas, mas a intensidade e o momento de ocorrência das ilhas de calor variam de acordo com cada localidade. No final, cada comunidade encontra seu próprio e exclusivo equilíbrio entre temperaturas e fluxos de energia, com base no terreno, tipologias das edificações e condições meteorológicas da área [6].

## 2.5 MÉTODOS DE ESTUDO DOS FENÔMENOS CLIMÁTICOS URBANOS

Os estudos dos fenômenos climáticos urbanos geralmente trabalham com os seguintes parâmetros:

- a) tamanho da cidade, usando “população” como parâmetro, às vezes com a interferência da velocidade regional do vento [9];
- b) relação H/W (altura/largura) ou FVC nos *canyons* urbanos [34];
- c) balanço de energia, com variáveis familiares aos climatologistas, mas não diretamente aplicáveis ao planejamento urbano [10].

Diferentes densidades construídas na cidade afetam os microclimas e, pelo seu efeito cumulativo, determinam a modificação do clima regional. É conveniente, então, substituir o parâmetro “população”, usado em alguns modelos para tratar os fenômenos climáticos urbanos, por “densidade construída”, por esta apresentar uma relação causal mais forte com o aquecimento urbano, e por ser mais permanente e relativamente fácil de ser quantificada [35].

Atualmente cinco métodos básicos são utilizados para medição dos efeitos da urbanização em climas urbanos: (1) estações fixas; (2) transectos móveis; (3) sensoriamento remoto; (4) sensoriamento vertical; e (5) balanço de energia.

O método mais simples é o de estações fixas, representado pelas estações meteorológicas presentes na maioria das cidades ao redor do mundo. Os dados são utilizados de três maneiras: comparação proveniente de um único par de estações meteorológicas, urbana e rural; estudo de múltiplas estações a fim de encontrar impactos bidimensionais e regionais; e investigação de um grande número de dados históricos para avaliar tendências de uma ilha de calor ao longo do tempo.

O lugar ideal para medir a temperatura, buscando identificar uma ilha de calor é o “dossel urbano”, definido como o volume de ar abaixo dos topos dos edifícios e árvores. Medidas padrão de temperaturas no dossel são realizadas geralmente a 1,5m acima do nível da rua, porém, muitas estações meteorológicas urbanas estão localizadas em topos de edifícios e não refletem as condições do dossel [6].

Na falta de estações fixas, em lugares corretos ao redor de uma cidade, pode-se utilizar um transecto móvel. Um transecto móvel implica percorrer um trajeto predeterminado parando em locais representativos (urbanos, suburbanos e rurais) para obter medidas utilizando apenas um tipo de instrumentação meteorológica. Transectos móveis podem ser utilizados a qualquer hora do dia ou da noite, embora isso às vezes dependa das condições de trânsito. É preciso ter cuidado ao executar estas medições, pois caso o trajeto seja percorrido por transporte público ou automóvel é importante manter os instrumentos afastados de fontes de calor. As temperaturas às margens de rodovias podem ser indevidamente influenciadas pelo calor de motores, pavimentos, ou ventos oriundos das condições de trânsito [6].

O sensoriamento remoto pode ser utilizado para medir temperaturas e outras características de superfícies como pavimentos, vegetação e solo nu. Nas últimas décadas o sensoriamento remoto aplicado em estudos de clima urbano vem se destacando, pois além de possuir alta resolução espacial e oferecer visões de diferentes escalas, permite a utilização de dados espectrais localizados na região do infravermelho termal dentro da janela atmosférica [36]. Porém, o sensoriamento remoto mostra apenas uma vista panorâmica de temperaturas urbanas, deixando de fora temperaturas de paredes, vegetação e sob as árvores. Daí a importância do cruzamento de dados obtidos por sensoriamento remoto com os dados obtidos por sensores móveis [6].

O sensoriamento vertical é utilizado para medir a temperatura do ar acima do dossel urbano, que também é afetado pela ilha de calor. Para isto existem métodos que incluem o

envio de balões instrumentados, instalação do equipamento de monitoramento em torres de rádio ou voos a diferentes altitudes em helicóptero ou aeronave instrumentado [6].

O método do cálculo do balanço de energia pode ser utilizado para medir o fluxo de energia de e para superfícies sendo uma maneira sofisticada de medir os efeitos das ilhas de calor; além de proporcionar um melhor entendimento de suas origens.

## 2.6 ANÁLISE DO CLIMA URBANO EM CIDADES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE

As cidades médias e pequenas atestam, embora em níveis inferiores aos das grandes cidades e áreas metropolitanas, graves problemas ambientais, pois a construção de casas, estradas, terrenos de esporte ou parques industriais modifica profundamente o meio: os regimes do clima, águas e ventos são alterados até mesmo onde não há poluição [37].

É importante entender o modo como o solo foi artificializado e o espaço natural modificado, para avaliar os impactos diferenciados que cada um deles gera no balanço energético e conseqüentemente nos mosaicos climáticos locais e regionais gerados. A modificação do contexto climático tem reflexos diretos não só no bem estar e saúde dos seres humanos, mas também em todas as outras componentes da paisagem [38].

Se o planejamento da cidade deve relevar suas diferentes características internas para uma melhor intervenção, o estudo do clima urbano, enquanto subsidiário daquele, deve também oferecer um grau de detalhamento capaz de possibilitar uma intervenção mais consciente na gestão da cidade. As cidades de porte médio e pequeno possuem então características geográficas bastante diferenciadas daquelas de grande porte e metropolitanas e apresentam, portanto, consideráveis facilidades para a identificação de suas paisagens periurbanas; estas, previamente identificadas, permitirão uma melhor compreensão da interação sociedade-natureza na construção do clima urbano. Do ponto de vista conceitual nota-se uma expressiva carência de bibliografia de base para o tratamento específico das cidades de pequeno e médio porte, fato que eleva o arcabouço de conceitos produzidos até o presente a uma dimensão de alta relatividade, pois foram produzidos levando-se em conta, sobretudo, aglomerações urbanas de grande porte e metropolitanas [7].

O SCU proposto por Monteiro [12] constitui-se na base conceitual e metodológica que alicerçou a construção da metodologia de estudo construída na experiência de análise do clima e planejamento urbano em Londrina-PR [7], sendo específica para abordagem do clima urbano em cidades de porte médio e pequeno. A metodologia fundamenta-se, de maneira clara, no embasamento cartográfico e no conhecimento geográfico da cidade (e sua

setorização, ou divisão em partes com características relativamente homogêneas) como etapa fundamental do estudo. Esta proposta metodológica toma a setorização geográfica da cidade em ambientes relativamente homogêneos como base para o estudo da diferenciação climática intraurbana.

Ainda com base no SCU, Monteiro [20] propõe um quadro didático de relacionamento das unidades climáticas com ordens de grandeza taxonômica de formas e unidades (ou graus) de urbanização (Tabela 2). Nesse quadro é possível identificar que nos estudos de clima em cidades de pequeno porte os meios de observação devem ser detalhados utilizando-se técnicas de análise especiais.

Tabela 2 – Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano

Ordens de Grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidades de superfície	Escala Cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de Observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	(milhões de Km)	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	(milhões de Km)	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Redes transectos
IV	(centenas de Km)	1:1.000.000 1:5.000.000	Sub-Regional (fácies)	Megalópole Grande área Metropolitana	Rede meteorológica de superfície Posto meteorológico	Fatores geográficos	Mapeamento sistemático
V	(dezenas de Km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana Metrópole	Rede complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise espacial
VI	(centenas de Km)	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande Bairro ou Subúrbio de metrópole Pequena cidade	Registros móveis (Episódicos)	Urbanismo	
-	Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Fácies de bairro/ subúrbio de cidade Grande edificação	(Detalhe)	Arquitetura	Especiais
-	Metros	1:2.000	Microclima	Habitação Setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: Monteiro, 2011

Três aspectos ressaltam-se como fundamentais para a compreensão das particularidades oferecidas pelas cidades de porte médio e pequeno no estudo do clima [7]:

- a) cidades que carecem, tanto quanto as cidades grandes e metropolitanas de estudos;

- b) planejamento e intervenção no desenvolvimento urbano das cidades de porte médio e pequeno podem, pelo próprio estágio de desenvolvimento das mesmas, serem praticamente mais eficazes que nas cidades grandes e metropolitanas. Em tais cidades os espaços de intervenção das atividades de planejamento são bem menos consolidados, particularmente no que concerne à estrutura urbana, que naqueles das cidades de porte superior.
- c) detalhamento cartográfico concernente à representação do fato urbano e suas diferenças internas e circunvizinhas ganha maior riqueza quanto maior for a escala de trabalho da cidade objeto de estudo. Quando elaborado como etapa inicial dos estudos, ele permite a identificação da heterogeneidade do espaço urbano a ser estudado, assim como o levantamento de hipóteses concernentes a possíveis diferenças de ambientes climáticos intraurbanos.

A metodologia construída para o estudo do clima e planejamento urbano em Londrina [7] pode ser aplicada em qualquer dos três subsistemas do clima urbano; o roteiro metodológico sugerido para a aplicação da referida proposta é composto por quatro fases: (1) definição tanto da área de estudo e do subsistema a ser estudado; (2) embasamento cartográfico e análise espacial, bem como levantamento de suas características climáticas, definição dos pontos e a periodicidade para o levantamento de dados, elaboração de uma carta de uso e ocupação do solo atual da cidade; (3) levantamento dos dados de campo; (4) formulação de sugestões visando o equacionamento dos problemas na perspectiva do desenvolvimento e planejamento urbano.

É importante ressaltar que no estudo do clima urbano de cidades de porte médio e pequeno, é fundamental que se cartografe o uso do solo das circunvizinhanças da cidade, do mesmo modo que a observação do calendário agrícola regional e a utilização de dados coletados sobre as superfícies rurais. No caso de Londrina [7], o estudo apontou sugestões genericamente inspiradas nos quatro pontos apresentados por Jeanneret [39], considerado um dos ícones do urbanismo moderno, para o melhoramento dos centros urbanos:

- a) A descentralização da construção de edificações verticais da área urbana.
- b) Fomento do desenvolvimento do transporte coletivo em detrimento da utilização de veículos particulares.
- c) Estímulo ao desenvolvimento de uma arquitetura que coloque o aspecto paisagístico em destaque.
- d) Ampliação e criação de espaços verdes em toda área urbana.

- e) Represamento de partes de alguns recursos hídricos, formando lagos que influenciem na umidificação atmosférica.
- f) Estudo dos ventos predominantes para definir a localização de indústrias que lancem dejetos na atmosfera, impedindo assim que o ar por elas poluído atinja a cidade.

## 2.7 O ESTUDO DO CLIMA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O PLANEJAMENTO URBANO

O clima constitui-se numa das dimensões do ambiente urbano e seu estudo tem oferecido importantes contribuições ao equacionamento da questão ambiental das cidades. As condições climáticas destas áreas, entendidas como clima urbano, são derivadas da alteração da paisagem natural e da sua substituição por um ambiente construído, palco de intensas atividades humanas [7].

Os impactos das ilhas de calor não causam apenas pequenos desconfortos adicionais, temperaturas mais elevadas, falta de sombra e seu papel no aumento da poluição do ar têm sérios efeitos sobre a mortalidade e saúde da população. Ao aumentar a demanda de energia, mais recursos financeiros são desperdiçados na construção e manutenção de infraestruturas, para gerenciar enchentes e para a disposição de resíduos. Além disso, as técnicas construtivas não sustentáveis que promovem as ilhas de calor tendem a não ser atraentes, chamativas ou saudáveis para a flora e fauna urbanas [6].

A formação de condições climáticas periurbanas são derivadas diretamente da estruturação, morfologia e funcionalidade urbanas, gerando paralelamente ao clima da cidade (clima/local/urbano), bolsões climáticos intraurbanos diferenciados (ilhas de calor, ilhas de frescor, topoclimas, microclimas) que carecem mais de atenção, pois entende-se também que as especificidades podem reforçar a diversificação da paisagem urbana e, portanto, de seus ambientes internos. Assim, a identificação mais detalhada possível dos diferentes espaços intraurbanos é de grande importância, pois, a partir dela também é possível identificar os fatores causadores da diferenciação climática do ambiente [7].

A análise termodinâmica da cidade fornece a informação básica ao arquiteto e ao urbanista. É exatamente nesse nível de criação dos espaços habitacionais e urbanos que se estabelecem os mecanismos de reciclagem e adaptação do sistema urbano ao clima em especial e à qualidade ambiente de modo mais abrangente [20].

Só muito recentemente é que o clima tem se configurado como elemento do planejamento urbano, principalmente a partir do momento em que a poluição gerada em tais

ambientes, e sua estreita ligação com a dinâmica atmosférica, passou a chamar a atenção de planejadores. A contenção da degradação ambiental, particularmente da miséria social, se constitui num primeiro passo para a melhoria das condições de vida. A urgência do planejamento urbano, em países como o Brasil, nunca se fez tão clara, todavia, o ato de planejar, ou orientar o desenvolvimento urbano é uma atividade muito recente enquanto perspectiva da ação de instituições ligadas à gestão das cidades no mundo tropical [7].

## 2.8 ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE ILHAS DE CALOR

Aspectos direta e/ou indiretamente relacionados ao clima da cidade devem ser devidamente considerados no planejamento e nos projetos de intervenção urbana visando maior eficiência e desempenho das funções da cidade e melhor orientação ao seu crescimento. Um exemplo é a criação e ampliação de espaços verdes adequados como forma de minimizar os efeitos do desconforto gerado por ilhas de calor, contribuindo, ao mesmo tempo, para a redução das elevadas concentrações de poluição atmosférica e efeito das inundações urbanas [15].

Comunidades podem tornar-se mais habitáveis com o emprego de estratégias para mitigar ilhas de calor. A aplicação disseminada de coberturas e pavimentos frescos e o plantio de árvores e vegetação em um bairro podem torná-lo mais saudável, mais bonito e menos dispendioso. Os principais benefícios que a redução de ilhas de calor pode trazer a uma comunidade são, redução de temperaturas, economia de energia, melhoria da qualidade do ar, conforto humano e melhorias para a saúde, redução de enchentes, manutenção e redução de resíduos e benefícios estéticos [6].

Com os avanços tecnológicos e com a crescente valorização das edificações ecologicamente corretas, novos materiais são introduzidos no mercado. Coberturas frescas, coberturas verdes, pavimentos frescos e arborização do ambiente urbano podem ser considerados importantes estratégias para a redução de ilhas de calor.

As coberturas frescas, também chamadas de *cool roofs*, liberam menos calor para o ar durante o dia e à noite. Estes materiais possuem duas propriedades que os mantêm mais frescos: elevada refletância solar (acima de 40%) e elevada emissividade térmica (acima de 85%). Com a elevada refletância solar estes materiais refletem a energia solar mais facilmente do que os materiais tradicionais, que possuem valor de 25% ou menos [40]. A emissividade térmica é a capacidade do material de irradiar o calor armazenado, portanto, quanto maior a emissividade térmica mais fresca será a superfície do material. São exemplos de coberturas

frescas os revestimentos cimentícios, elastoméricos, revestimentos em policloreto de vinila (PVC), poliolefina termoplástica (TPO) e espuma de poliuretano spray (SPF) [6].

As coberturas verdes atuam na redução das ilhas de calor através do sombreamento e da evapotranspiração. Durante o verão somente 10 a 30% da energia solar alcança a área abaixo da uma árvore, sendo que o restante é absorvido pelas folhas e utilizado para a fotossíntese ou liberado novamente para a atmosfera, assim, o sombreamento acarreta na redução da temperatura nas superfícies localizadas abaixo das plantas e o processo de evapotranspiração refresca o ar utilizando o calor atmosférico para a evaporação da água [41]. Existem basicamente dois tipos de coberturas verdes, podendo ser executados utilizando vegetação rasteira (com até 5cm de altura) ou com vegetação mais alta e densa.

Os pavimentos mais quentes tendem a ser impermeáveis e de cor escura, com valores de refletância solar abaixo de 25%. Pavimentos com refletância solar moderada, 25% ou mais, podem ser considerados frescos. Existem duas formas de resfriar pavimentos, mudando para uma cor mais clara, aumentando assim sua refletância solar, ou tornando-os permeáveis, permitindo que a água seja drenada durante as chuvas e evaporada em dias quentes e ensolarados. A água evaporada retira o calor dos materiais de pavimentação mantendo-os mais frescos, um processo similar à evapotranspiração das plantas [6].

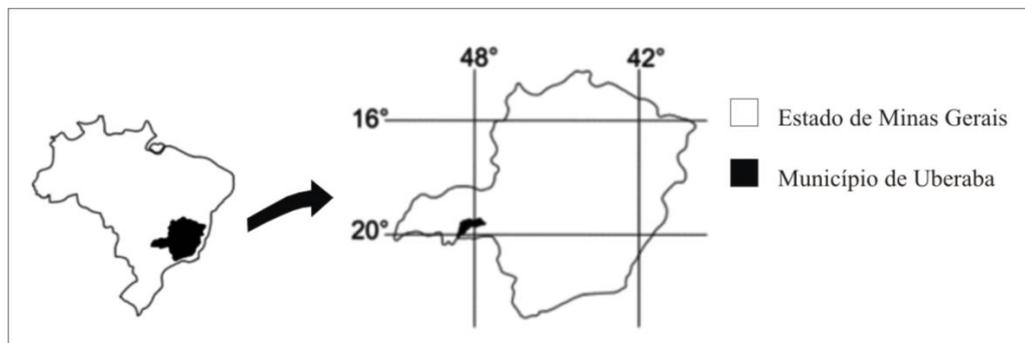
Árvores e vegetação são componentes funcionais vitais para uma cidade saudável e trazem inúmeros benefícios como conforto térmico, redução do consumo de energia, retirada de dióxido de carbono do ar, redução da poluição do ar, menos enchentes e melhorias para o ecossistema, moderando as ilhas de calor por meio do sombreamento, pela evapotranspiração e pela proteção contra ventos [42].

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Uberaba situa-se no interior do Estado de Minas Gerais, a 752 m de altitude, 19°45'27" latitude sul e 47°55'36" longitude oeste (Figura 1), tendo como municípios limítrofes as cidades de Uberlândia e Indianópolis ao Norte, Veríssimo e Conceição das Alagoas a Oeste, Nova Ponte, Sacramento e Conquista a Leste, Água Comprida e Delta ao Sul, sendo que parte da porção sul do município faz fronteira também com o Estado de São Paulo. Uberaba abrange uma área total de 4.512 km<sup>2</sup> sendo que 94% correspondem à área rural do município. O perímetro urbano é composto por 128 km<sup>2</sup> de área urbana e por 130 km<sup>2</sup> de área de transição urbana perfazendo um total de 258 km<sup>2</sup> de perímetro urbano, porém a área urbanizada corresponde a apenas 84 km<sup>2</sup>. As rodovias BR-050 e BR-262 cruzam o município e estão localizadas na área de transição urbana, sendo consideradas eixos de desenvolvimento as faixas de 500 metros de cada lado, medidos a partir do eixo de ambas as rodovias.

Figura 1 – Localização do município de Uberaba



Uberaba possui clima tropical quente e úmido (Aw, segundo a classificação de Köppen) [43]. A classe climática Aw tem como característica específica clima tropical úmido de savana. A época mais seca coincide com o inverno, tendo como precipitação máxima observada para o mês mais seco nesta estação valores menores que 60 mm. A vegetação observada nessas áreas é arbustiva e rasteira [44].

A partir das médias dos valores obtidos das Normais Climatológicas (1961-1990) publicadas pelo INMET e disponibilizadas pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO), para precipitação e temperatura médias mensais na área correspondente à classe

climática Aw, foi possível observar o comportamento desses elementos ao longo de um ano (Tabela 3).

Tabela 3 – Precipitação e temperatura médias mensais observadas na classe Aw

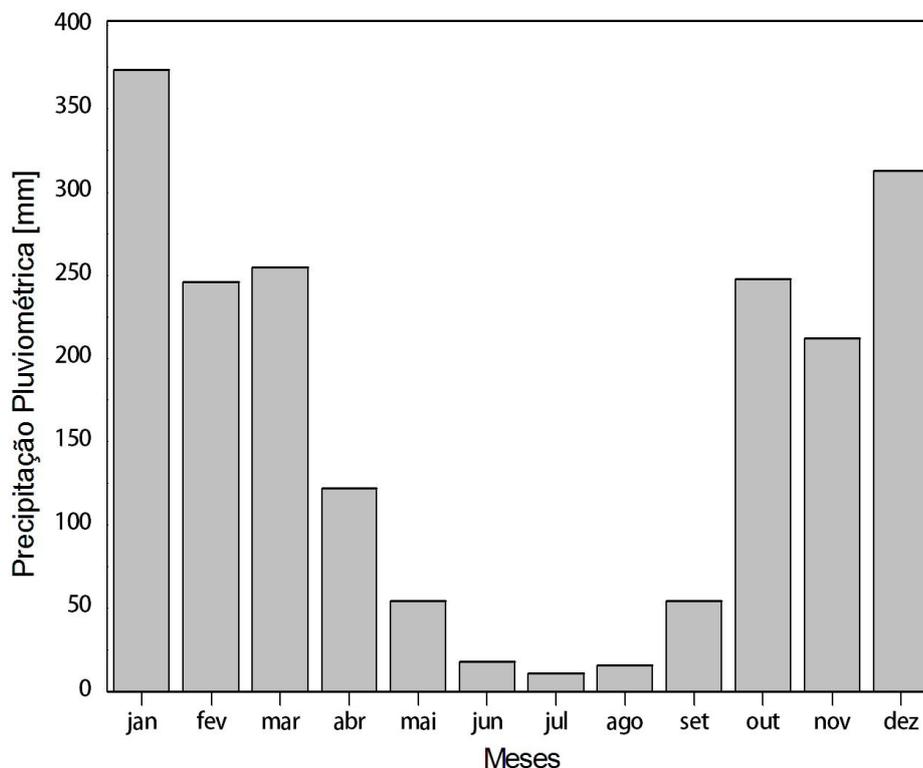
<b>Estação</b>	<b>Verão</b>			<b>Outono</b>			<b>Inverno</b>			<b>Primavera</b>		
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Prec. (mm)	191,0	150,0	137,0	73	34,5	33,5	36	27,5	38,5	104,5	180,5	227
Temp. (°C)	24,6	27,7	24	22,7	21,1	20,4	20,6	22	23,2	23,9	23,9	23,7

Fonte: Sá Júnior, 2009

A menor temperatura média foi observada no mês de junho, com 20,4°C e a máxima no mês de fevereiro, com 24,7°C. A média de temperatura de inverno é de 22°C e de verão 24,4°C. A partir do mês de maio, estendendo-se até setembro, inicia-se o período seco com a ocorrência de precipitação menor que 44 mm mês. Os menores valores de precipitação por estação foram observados nos meses de julho, agosto e setembro, período de inverno, com um total de 102 mm, média de 34 mm mês, correspondendo a 8,3% da precipitação anual. Observa-se que os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro concentram as maiores precipitações, sendo responsáveis por aproximadamente 60% do total das precipitações ocorridas no ano [44].

Segundo relatório ambiental divulgado pelo Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba [45], a precipitação média anual no município é de 1400 mm, sendo os meses mais chuvosos dezembro e janeiro, representando cerca de 34% da precipitação média anual, e menos chuvosos junho, julho e agosto. A temperatura média anual é de 22,2° C, sendo os meses mais quentes janeiro (23,6°C), dezembro e fevereiro (23,4° C) e os mais frios junho (18,6° C) e julho (18,5° C). A umidade relativa média anual oscila entre 70 e 75%. A distribuição da umidade varia sensivelmente com as estações do ano, com máximo de 81% em dezembro e mínimo de 52% em agosto. A precipitação pluviométrica média mensal, de 2001 a 2013, é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Precipitação pluviométrica média mensal de 2001 a 2013 em Uberaba - MG



Fonte: INMET, 2014

A ocupação do espaço urbano se procedeu às margens do córrego das Lages, afluente do rio Uberaba, situado em um vale profundo entre sete colinas [45]. As avenidas em fundo de vale são importantes eixos do sistema viário de Uberaba. A região central está situada em torno da Avenida Leopoldino de Oliveira, considerada um importante elemento do sistema viário, onde se abriga importante centro comercial e bancário. O modelo de urbanização adotado ignorou a presença dos cursos d'água e com a canalização dos mesmos para a construção de ruas e avenidas a cidade passou a sofrer as consequências dessas intervenções urbanas.

Segundo Fonseca [46] toda a vegetação que circundava a cidade foi removida, para dar lugar a atividades agrícolas. Acontece que esse cinturão verde ao redor da cidade auxiliava na contenção das águas das chuvas que caíam nas áreas de maior altitude. Além disso, a vegetação que existia no centro da cidade também foi retirada para dar lugar à impermeabilização asfáltica. A cidade de Uberaba figura entre os centros urbanos menos arborizados do país, o que já provoca um micro clima denominado Ilha de Calor. Outro aspecto que chama a atenção é que uma boa parcela das áreas mais antigas da cidade era

pavimentada por blocos de granito ou de basalto. Esse tipo de pavimentação permite que o fluxo d'água infiltre no solo com maior rapidez, o que não ocorre com o asfalto. Esses blocos foram quase que totalmente substituídos por asfalto. Podemos concluir, assim, que o problema atual das enchentes e inundações no centro de Uberaba é decorrente de um conjunto de ações incorretas realizadas no centro da cidade e em seu entorno. Resumindo: uma total ausência de planejamento urbano/ambiental.

Considerando-se que o assentamento da cidade de Uberaba se deu em uma área de fundo de vale, é importante ressaltar que estes locais quando localizados em área urbana interferem no clima, e, quando vegetados, proporcionam a formação de microclima mais úmido e com menor temperatura. Ao serem canalizados, sua vegetação natural é suprimida, apresentam suas margens grandemente adensadas deixando de favorecer a diminuição da temperatura do ar e a condução de ar fresco ao longo dos vales ou através deles [47].

A área de estudo compreende as avenidas Dr. Randolpho Borges Júnior, Leopoldino de Oliveira e Niza Marques Guaritá, perfazendo um trajeto de 10,5 km, no sentido Oeste/Leste da área urbana de Uberaba, sendo delimitados 25 pontos de coleta de dados, distribuídos a cada 500 m aproximadamente (Figura 3).

Figura 3 – Área de estudo e pontos de coleta de dados



As coordenadas geográficas de cada ponto de coleta e análise de dados de temperatura são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Pontos de coleta de dados e coordenadas geográficas correspondentes

<b>Pontos</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>	<b>Pontos</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>
P1	S 19° 42' 22" W 47° 58' 17"	P14	S 19° 44' 54" W 47° 56' 08"
P2	S 19° 42' 30" W 47° 58' 01"	P15	S 19° 45' 00" W 47° 55' 51"
P3	S 19° 42' 40" W 47° 57' 52"	P16	S 19° 45' 09" W 47° 55' 38"
P4	S 19° 42' 57" W 47° 57' 47"	P17	S 19° 45' 10" W 47° 55' 22"
P5	S 19° 43' 08" W 47° 57' 37"	P18	S 19° 45' 19" W 47° 55' 06"
P6	S 19° 43' 22" W 47° 57' 28"	P19	S 19° 45' 24" W 47° 54' 49"
P7	S 19° 43' 30" W 47° 57' 14"	P20	S 19° 45' 30" W 47° 54' 32"
P8	S 19° 43' 44" W 47° 57' 09"	P21	S 19° 45' 32" W 47° 54' 15"
P9	S 19° 43' 56" W 47° 56' 57"	P22	S 19° 45' 31" W 47° 53' 59"
P10	S 19° 44' 07" W 47° 56' 49"	P23	S 19° 45' 29" W 47° 53' 44"
P11	S 19° 44' 19" W 47° 56' 40"	P24	S 19° 45' 25" W 47° 53' 27"
P12	S 19° 44' 30" W 47° 56' 29"	P25	S 19° 45' 24" W 47° 53' 19"
P13	S 19° 44' 43" W 47° 56' 18"		

### 3.2 COLETA DE DADOS

As medições de temperatura foram realizadas entre junho de 2012 e janeiro de 2014, um total de 19 campanhas realizadas. As medidas ocorreram a partir das 18 horas, devido ao fato de que ao longo do dia a diferença entre a temperatura das regiões mais urbanizadas aumenta em relação à temperatura das áreas menos urbanizadas, conforme as superfícies urbanas se aquecem.

Para a coleta de dados de temperatura utilizou-se o método dos transectos móveis, utilizando-se um sensor de temperatura (resoluções de duas casas decimais para temperaturas entre 0 a 40°C e uma casa decimal para temperaturas entre 40°C a 100°C), preso a uma haste de madeira com 1,2 m de comprimento, acoplado na lateral de um veículo. O tempo gasto entre a análise do ponto inicial e final não ultrapassou uma hora, com velocidade entre 30 e 40 km/h segundo metodologia [48]. Durante as análises foram realizadas medições ponto a ponto e contínuas.

### 3.2.1 Medições ponto a ponto

As medições ponto a ponto foram realizadas no sentido oeste-leste (do ponto 1 ao 25) com início às 18 horas, aferindo-se as temperaturas de cada ponto separadamente. Em cada ponto a medida teve duração de meio minuto, com uma frequência de 2 Hz. A temperatura final fornecida pelo sensor para cada ponto corresponde à média dos 60 registros de temperatura obtidos durante um período de 30 segundos. O período total de deslocamento entre o ponto 1 e o ponto 25 foi de aproximadamente 60 minutos.

### 3.2.2 Medições contínuas

As medições contínuas tiveram início aproximadamente às 19 horas, imediatamente após o encerramento das medições ponto a ponto. No início da medição, o sensor de temperatura foi programado para realizar aferições contínuas, deslocando-se no sentido leste-oeste (do ponto 25 ao 1) em velocidade média de 40km/h, interrompendo-se apenas ao final do percurso, com duração aproximada de 30 minutos.

## 3.3 ANÁLISE DOS DADOS

### 3.3.1 Dados de temperatura

A leitura e média dos dados coletados foram realizadas utilizando-se o programa Logger Lite instalado em microcomputador. Após análise, as informações referentes às médias de temperatura de cada ponto de coleta foram lançadas mês a mês em planilha eletrônica juntamente com a média das medidas contínuas. Assim, foi possível a identificação dos locais com maior ocorrência de temperaturas máximas e mínimas durante o trajeto. Após o levantamento térmico baseado nas temperaturas dos 25 pontos amostrais, foram identificados os locais com maiores ocorrências de picos máximos e mínimos de temperatura.

A intensidade da ilha de calor foi calculada pela diferença entre a temperatura máxima e mínima de cada medição, sendo considerada de fraca magnitude quando as diferenças entre os pontos oscilam entre 0°C e 2,0°C, média magnitude entre 2,0°C e 4,0°C, forte entre 4,0°C e 6,0°C e muito forte quando as diferenças forem superiores a 6,0°C, segundo Garcia [49]. Dados de temperatura e intensidade das ilhas de calor das medições ponto a ponto e contínuas foram comparados entre período seco e chuvoso.

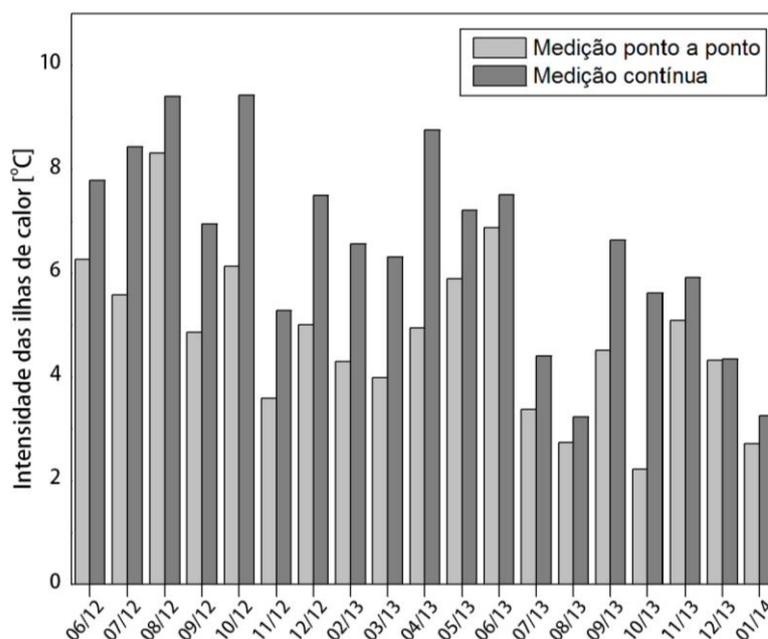
### 3.3.2 Uso e ocupação do solo

A análise do uso e ocupação do solo nos três pontos foi realizada a partir da estimativa de porcentagem de áreas com cinco tipos ocupação: (1) vegetação pouco alterada; (2) pavimentação asfáltica; (3) edificações com até quatro pavimentos; (4) edificações com mais de quatro pavimentos; (5) áreas permeáveis. O cálculo das áreas foi realizado através do software Autocad, na elaboração de desenhos digitais sobrepostos às imagens obtidas do Google Earth, conforme metodologia de Rocha [22].

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que a intensidade de ilhas de calor foi maior nas medições contínuas do que nas medições ponto a ponto (Figura 4), provavelmente devido ao início das medições ponto a ponto às 18 horas e início das medições contínuas às 19 horas. Ilhas de calor urbanas são frequentemente fracas durante o final da manhã e durante o dia e tornam-se mais intensas após o por do sol devido à liberação lenta de calor. O horário de seu pico, no entanto, depende das propriedades das superfícies urbanas e rurais, estação e condições meteorológicas predominantes [3].

Figura 4 – Intensidade das ilhas de calor nas medições contínuas e ponto a ponto



O gráfico da Figura 4 demonstra a ocorrência de ilhas de calor em todas as 19 medições contínuas e nas medições ponto a ponto. Dentre as medições contínuas realizadas, 11% foram de média magnitude, 26% de forte magnitude e 63% de magnitude muito forte. Dentre as medições ponto a ponto identificou-se que 32% foram de média magnitude, 47% de forte magnitude e 21% de magnitude muito forte.

Os resultados possibilitaram identificar ilhas de calor com intensidade máxima de 8,3°C nas medições ponto a ponto e 9,4°C nas contínuas. A média da intensidade das ilhas de calor no período seco, que compreende os meses de junho, julho e agosto, foi 5,5°C para as medições ponto a ponto e 6,8°C para as medições contínuas. No período chuvoso, que

compreende os meses de outubro a março, a média foi 4,1°C para as medições ponto a ponto e de 6,0°C para as contínuas, demonstrando que as ilhas de calor foram mais intensas no período seco, ou seja, durante o inverno.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os diagramas box-plot das medições ponto a ponto realizadas durante o período seco (inverno) e chuvoso (verão), respectivamente. Os pontos P12, P13, P14, P15, P16 e P17, localizados na zona central, mais urbanizada da cidade, apresentaram média de temperatura mais elevadas em relação aos outros pontos, tanto no inverno como no verão.

O perfil das ilhas de calor dos grandes centros urbanos traçado por Oke [11] descreveu que o local da cidade com maior atividade antrópica, normalmente o centro, se caracteriza por ser mais quente do que os bairros residenciais e periféricos. Este perfil foi chamado *perfil clássico das ilhas de calor*, o que justifica a ocorrência de maiores médias de temperatura na zona central de Uberaba.

Outra possível justificativa para este resultado seria o fato de a região central da cidade estar localizada em uma depressão geográfica, fazendo com que a frequência e a velocidade média dos ventos sejam extremamente baixas, minimizando o efeito das trocas térmicas por convecção e ressaltando ainda mais a influência do espaço construído sobre a temperatura do ar [35].

Figura 5 – Diagrama box-plot para os 25 pontos de coleta de dados nas medições ponto a ponto (inverno - média dos meses junho, julho e agosto)

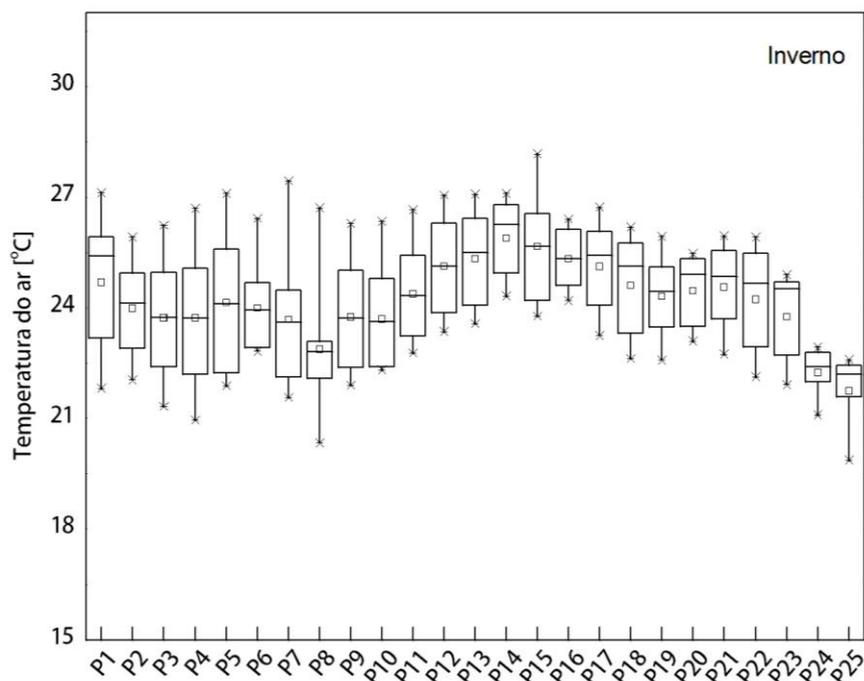
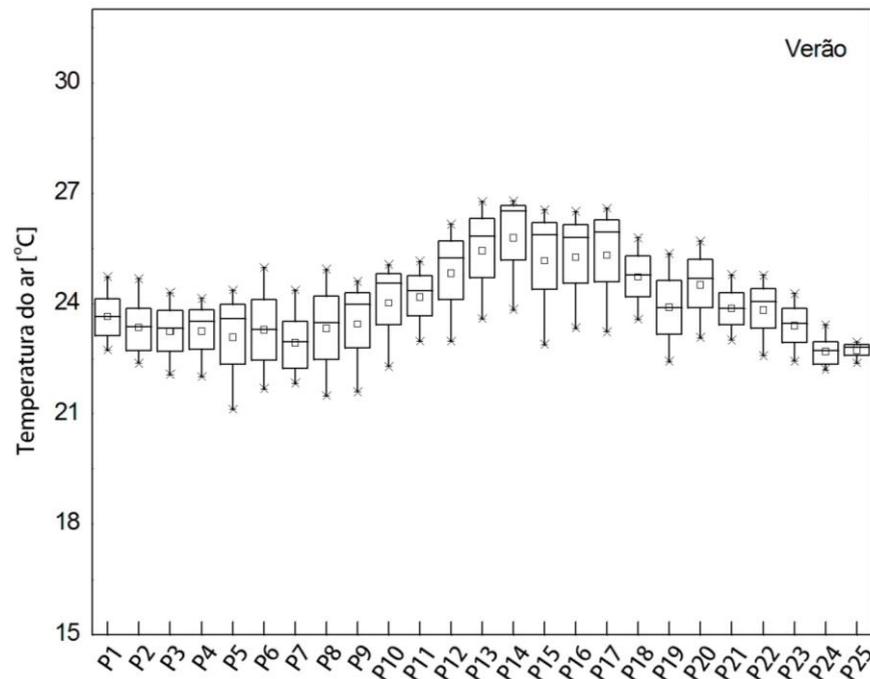


Figura 6 – Diagrama box-plot para os 25 pontos de coleta de dados nas medições ponto a ponto (verão - média dos meses janeiro, fevereiro e março)

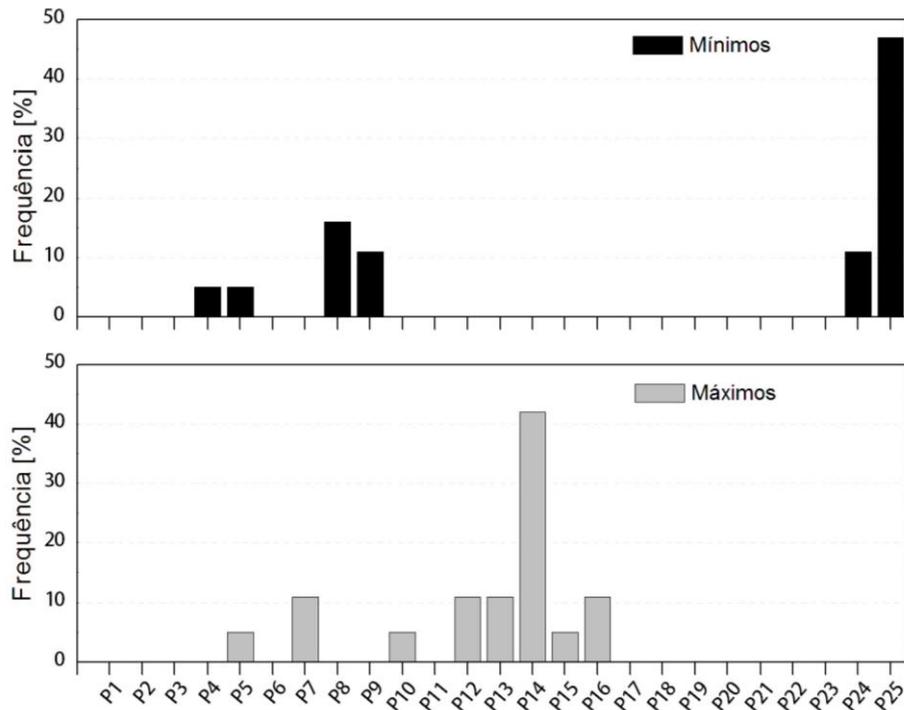


Após análise das medições ponto a ponto, observou-se que a maior frequência de picos máximos de temperatura ocorreu no ponto P14, localizado na área mais urbanizada do trecho; enquanto a maior frequência de picos mínimos de temperatura ocorreu nos pontos P8 e P25, localizados em áreas menos urbanizadas e próximas a cursos d'água.

Temperaturas de superfície e temperaturas atmosféricas variam em diferentes áreas, de acordo com o uso e ocupação do solo. As temperaturas de superfície variam mais do que a temperatura do ar durante o dia, mas ambas são bastante semelhantes à noite [7]. Estudos realizados pela EPA [3] mostraram que a água mantém uma temperatura relativamente constante dia e noite, devido ao seu alto poder calorífico, justificando a maior frequência de picos mínimos de temperatura nos pontos P8 e P25.

O critério utilizado na escolha dos pontos foi a frequência relativa de picos de temperaturas mínimas e máximas. A análise de uso e ocupação do solo foi realizada apenas para os pontos amostrais que apresentaram frequência relativa maior do que 15%, pois a ocorrência de picos de temperaturas máximas e mínimas foi menor ou igual a 11% em todos os demais pontos. A frequência de picos máximos e mínimos de temperatura nos pontos de coleta de dados é apresentada na Figura 7.

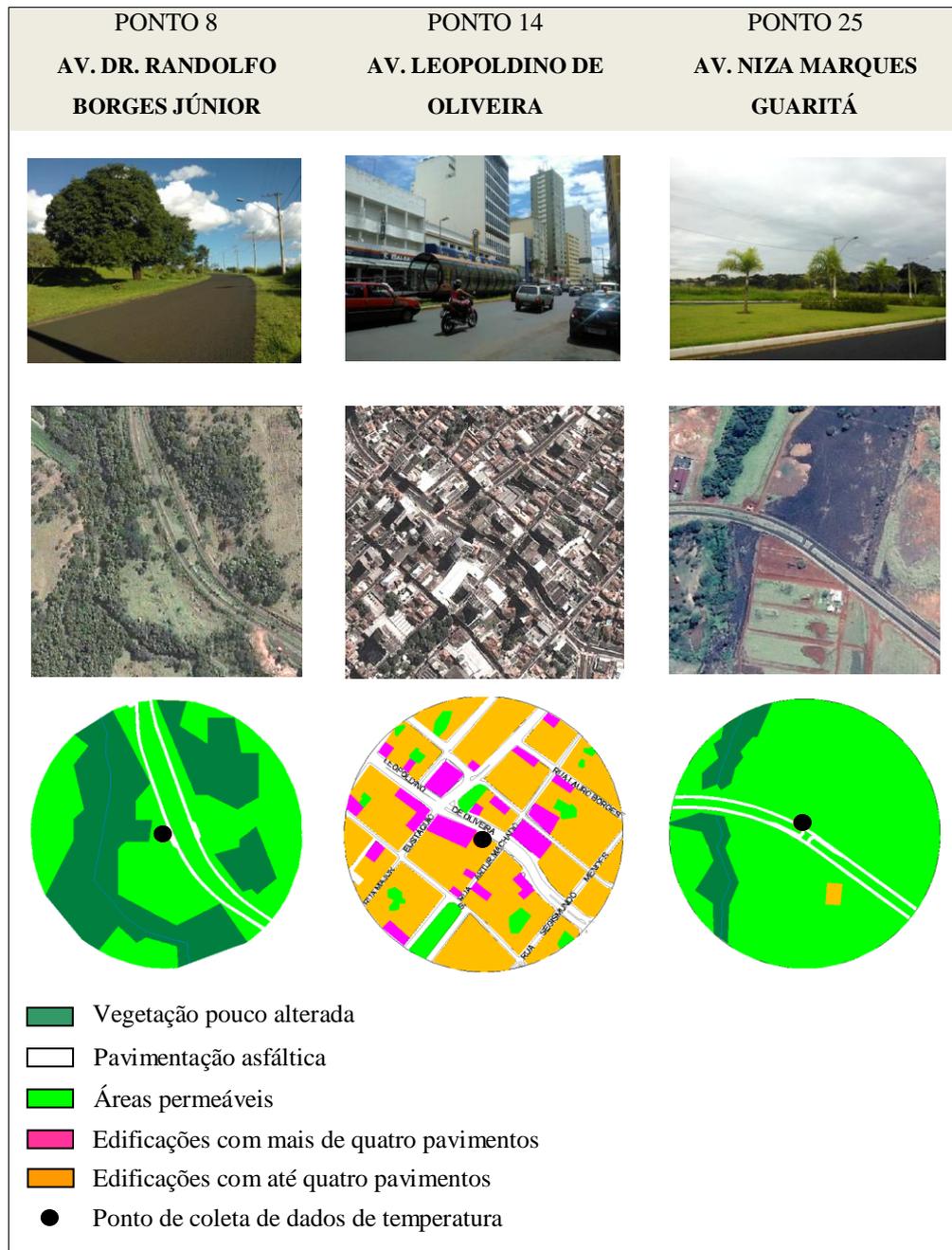
Figura 7 – Frequência de picos máximos e mínimos de temperatura em medições ponto a ponto no período de junho/2012 a janeiro/2014



Na área de estudo existem trechos no início e no final do trajeto que ainda não apresentam uma taxa de ocupação do solo elevada, podendo ser chamadas de áreas periurbanas. Esses trechos são mais arborizados, com maior permeabilização do solo, permitindo a comparação com os demais trechos em área urbanizada.

A análise de uso e ocupação do solo dos pontos P8, P14 e P25 permitiu a identificação das características predominantes em cada um deles. A Figura 8 faz uma exposição geral dos resultados obtidos com a caracterização das áreas estudadas. O ponto P8 encontra-se afastado da região central da cidade, apresentando características mais próximas às do meio rural. O ponto P25 também se encontra afastado da região central da cidade, porém está inserido em um vazio urbano, considerado uma zona de expansão, com lotes e ruas já delimitados, mas não pavimentados. Ambos os pontos contam com a presença de vegetação pouco alterada às margens dos cursos d'água existentes, sendo o rio Uberaba e o córrego das Lages no ponto P8 e o córrego dos Carneiros no ponto P25. O ponto P14, ao contrário dos demais, encontra-se na área central do município, completamente urbanizada e edificada, com poucas áreas permeáveis e tráfego intenso de veículos.

Figura 8 – Ocupação do solo nos pontos analisados



O estudo permitiu ainda estimar a porcentagem de áreas cobertas por vegetação pouco alterada, pavimentação asfáltica, edificações com até quatro pavimentos, edificações com mais de quatro pavimentos e áreas permeáveis incluindo solos nus, canteiros e áreas não edificadas. As taxas de ocupação do solo e temperatura média nos pontos P8, P14 e P15 são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Taxas de ocupação do solo e temperatura média nos pontos analisados

<b>Tipos de ocupação do solo</b>	<b>Ponto 8</b>	<b>Ponto 14</b>	<b>Ponto 25</b>
Vegetação pouco alterada	44,6%	0	10%
Pavimentação asfáltica	3,7%	27,2%	4,3%
Edificações com até 4 pavimentos	0	57,5%	0,5%
Edificações com mais de 4 pavimentos	0	9,7%	0
Áreas permeáveis	51,7%	5,6%	85,2%
<b>Temperatura média</b>	<b>25°C</b>	<b>28°C</b>	<b>24°C</b>

As ocorrências dos pontos P8, P14 e P25 condizem com o perfil clássico das ilhas de calor traçado por Oke [11], pois os pontos P8 e P25 se encontram mais afastados do centro da cidade e próximos a cursos d'água, tornando estas áreas mais frescas do que as demais, com temperatura média de 25°C e 24°C respectivamente, enquanto o P14 se encontra em uma área mais adensada, com temperatura média de 28°C, grande quantidade de edificações e apenas 5,6% de área permeável.

De acordo com a Tabela 1, já apresentada, as características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre podem ser divididas em cinco principais causas: (1) evaporação reduzida; (2) maior armazenamento de calor; (3) aumento do saldo de radiação; (4) convecção reduzida; (5) aumento do calor antropogênico.

Com base no exposto, conclui-se que a falta de vegetação e a utilização difundida de superfícies impermeáveis no ponto P14 resultou em uma redução da evaporação, contribuindo para o aumento da temperatura do ar. Neste ponto, a taxa de ocupação do solo com edificações de até quatro pavimentos e com mais de quatro pavimentos é de 57,5% e 9,7% respectivamente, perfazendo um total de 67,2%, o que provoca um aumento no armazenamento de calor devido a maior difusividade térmica dos materiais urbanos.

Além da alta taxa de ocupação por edificações, o ponto P14 possui 27,2% de pavimentação asfáltica, aumentando ainda mais o saldo de radiação devido à baixa refletância solar que este tipo de pavimento apresenta. O tráfego intenso de veículos presente neste ponto aumenta os níveis de poluição e consequentemente o saldo de radiação. A localização em uma região de fundo de vale leva a uma diminuição da velocidade dos ventos, reduzindo também a convecção, ou seja, reduz a transferência de energia da superfície terrestre para o ar acima dela. Por fim, a localização do ponto P14 em região bastante adensada e com grande

concentração de atividades comerciais e residenciais provoca um aumento da utilização de energia, aumentando também o calor antropogênico.

Todos os fatores citados causam efeitos sobre o balanço de energia na superfície terrestre e contribuem para o aquecimento das cidades e subúrbios. O presente trabalho confirma a ocorrência do fenômeno das ilhas de calor na cidade de Uberaba influenciado pelo uso e ocupação do solo urbano, concentrando-se em áreas mais adensadas e com menor permeabilidade do solo. Observou-se também que áreas com maior quantidade de áreas verdes e com maior permeabilidade do solo apresentaram temperaturas mais amenas e agradáveis.

Mudanças que envolvam mitigação de ilhas de calor impactam diretamente muitos setores e podem gerar bastante controvérsia, porém o governo local muitas vezes é o principal agente de mudança em uma comunidade.

A cidade de Chicago, nos Estados Unidos, comprometeu-se com dois projetos de demonstração: uma cobertura verde sobre a Câmara Municipal e a instalação de sistemas de pavimentação porosa em uma vila, utilizando-se cascalho de cor mais clara em substituição ao pavimento original escuro para reduzir o efeito da ilha de calor e eliminar as inundações crônicas sem a utilização de esgotos. No ano de 2002, a cidade passou a exigir coberturas frescas em todos os edifícios novos, com plano para elevar a exigência de refletância solar ao longo do tempo [6].

O Estado da Califórnia, nos Estados Unidos, tem sido líder em programas de incentivo às coberturas frescas, grande parte em resposta à crise energética da Califórnia no ano 2000. Em outubro de 2005 o uso de coberturas frescas tornou-se obrigatório, com incentivos de U\$ 0,10 a 0,20 por pé quadrado (0,09 m<sup>2</sup>) de cobertura fresca instalada, ou por quilowatt/hora economizado em edifícios com ar condicionado [6].

Considera-se que normas para proteção de árvores e sombreamento são as mais cruciais para a mitigação de ilhas de calor. Além dos benefícios já citados as árvores contribuem ainda com a redução de emissões de carros estacionados. Ao resfriar ruas e áreas de estacionamento, menores quantidades de hidrocarbonetos evaporam dos tanques de combustível dos carros enquanto estão estacionados, bem como quando o motor do carro é ligado. Emissões evaporativas por toda a região de Sacramento, nos Estados Unidos, poderiam ser reduzidas em 0,75 toneladas métricas por dia, e emissões em partida em 0,09 toneladas métricas por dia, se as copas das árvores em estacionamentos fossem aumentadas de 10 para 50% [50]. Nesse sentido, a cidade possui uma portaria que exige que estacionamentos

novos ou significativamente alterados plantem árvores para sombrear 50% da área do estacionamento, após 15 anos de crescimento das árvores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, foi possível registrar a intensidade das ilhas de calor nas 19 medições de temperatura realizadas entre junho de 2012 e janeiro de 2014, comprovando-se um aquecimento de até 9,4°C nas áreas densamente urbanizadas, indicando a formação de ilhas de calor de magnitude muito forte. Verificou-se ainda a influência da vegetação e permeabilidade do solo na amenização do armazenamento de calor noturno, pois em áreas mais arborizadas e mais afastadas da região central da cidade não foram identificadas variações significativas de temperatura, o que comprova a necessidade de desenvolvimento e implantação de um projeto de arborização urbana para a cidade de Uberaba.

A análise possibilitou ainda, a identificação dos pontos cuja temperatura do ar é mais elevada. Os resultados mostraram que a morfologia urbana da cidade de Uberaba exerce grande influência na temperatura do ar, ressaltando a importância de se estudar formas de tratamento do espaço urbano a fim de melhorar a qualidade ambiental para o conforto humano, principalmente na área central da cidade, onde há total deficiência de áreas verdes. Desta forma os efeitos das ilhas de calor seriam amenizados tornando o ambiente urbano mais agradável e confortável.

Neste sentido, entende-se que estudos sobre o clima são importantes ferramentas para o planejamento urbano, podendo contribuir para a criação de planos diretores municipais eficazes, principalmente no que diz respeito aos critérios de zoneamento e leis de uso e ocupação do solo do município, incentivando-se o uso de pavimentos permeáveis, coberturas verdes, coberturas frescas e arborização do ambiente urbano. Assim, sugere-se que trabalhos futuros avancem as pesquisas sobre ilhas de calor desenvolvendo projetos como, análise da possível economia de energia por meio da utilização de coberturas frescas e sombreamento, simulação dos possíveis efeitos de arrefecimento e estimativa de melhoria da qualidade do ar a partir da mitigação da ilha de calor este importante município localizado na região do Triângulo Mineiro no Estado de Minas Gerais.

## REFERÊNCIAS

- [1] U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Climate Change: Basic Information**. Disponível em: < <http://www.epa.gov/climatechange/basics/>> Acesso em: 30 jun. 2014.
- [2] IPCC, 2014. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [3] U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY'S OFFICE OF ATMOSPHERIC PROGRAMS. Climate Protection Partnership Division. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies – Urban Heat Islands Basics**. Disponível em: < <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/BasicsCompendium.pdf> >. Acesso em: 22 fev. 2014.
- [4] POLIZEL, Jefferson Lordello. **Geotecnologias e clima urbano: aplicação dos recursos de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas na cidade de Piracicaba, SP**. 2009. 153f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- [5] SOUZA, Lea Cristina Lucas de. Ilhas de calor. **Jornal Unesp**, São Paulo, v.18, n.186, p.11, 2004.
- [6] GARTLAND, Lisa. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução de Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248 p.
- [7] MENDONÇA, Francisco. **Clima e planejamento urbano em Londrina: Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo termo-higrométrico**. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco (Org.). **Clima Urbano**. 2. Ed. São Paulo: Contexto, 2011, p. 93-120.
- [8] SOUZA, Lea Cristina Lucas de. et al. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 155-167, out./dez. 2010.
- [9] OKE, Tim R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.7, p. 769-779, 1973.
- [10] OKE, Tim R. et al. The energy balance of central Mexico City during the dry season. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.33, p. 3919-3930, 1999.
- [11] OKE, Tim R. **Technical note n. 134: Review of urban climatology**, World Meteorological Organization, Geneva, WMO, p. 1968-1973, 1973.

- [12] MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Teoria e Clima Urbano. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. (Série Teses e Monografias, 25).
- [13] EVELYN, John. **Fumifugium: Or the Inconvenience of the Aer and Smoake of London Dissipated.** Reprint of 1661 pamphlet. London: Oxford University Press, 1933, 49 pp.
- [14] GONÇALVES, Neyde Maria Santos. Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco (Org.). Clima Urbano. 2. Ed. São Paulo: Contexto, 2011, p. 69-91.
- [15] BRANDÃO, Ana Maria de Paiva Macedo. O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco (Org.). Clima Urbano. 2. Ed. São Paulo: Contexto, 2011, p. 121-153.
- [16] LANDSBERG, Helmut Erich. The Climate of towns. In: THOMAS JR, William L. (Ed.) Man's role in changing the face of the earth. Chicago: The University of Chicago Press, 1956, PP. 584-605.
- [17] CHANDLER, Tony. The climate of London. London: Hutchinson University Library Publishers, 1965, 292p.
- [18] NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira; OLIVEIRA, Ivanilton José de. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia/GO (1986-2010). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 113-127, jul./dez. 2011.
- [19] MENDONÇA, Francisco. **Estudo do clima urbano no Brasil:** Evolução, tendências e alguns desafios. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco (Org.). Clima Urbano. 2. Ed. São Paulo: Contexto, 2011, p. 175-191.
- [20] MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Teoria e clima urbano:** Um projeto e seus caminhos. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco (Org.). Clima Urbano. 2. Ed. São Paulo: Contexto, 2011, p. 9-67.
- [21] GONÇALVES, Wantuelfer. **Padrões de assentamento de áreas verdes municipais: uma visão crítica.** 1994. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- [22] ROCHA, Luciani Maria Vieira; SOUZA, Léa Cristina Lucas; CASTILHO, Francisco José Vigeta. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 161-175, jul./set. 2011.
- [23] SOUZA, Lea Cristina Lucas de. **Influência da Geometria Urbana na Temperatura do Ar ao Nível do Pedestre.** 1996. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.
- [24] DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **A cidade de Curitiba e a poluição do ar:** Implicações de seus atributos urbanos e geológicos na dispersão de poluentes em período de inverno. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco (Org.). Clima Urbano. 2. Ed. São Paulo: Contexto, 2011, p. 155-173.

- [25] STEINECKE, K. Urban Climatological studies in the Reykjavik subarctic environment, Iceland. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 33, p. 4157-4162, 1999.
- [26] BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues. **Estudo do campo térmico urbano de São Carlos (SP): análise da intensidade da ilha de calor urbano em episódio climático de verão**. 2009. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- [27] MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; TARIFA, J. R. **Contribuição ao estudo do clima de Marabá: uma abordagem de campo subsidiária ao planejamento urbano**. São Paulo: USP, 1977. (Climatologia, n. 7).
- [28] DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Aspectos temporoespaciais da temperatura e umidade relativa em Porto Alegre em Janeiro de 1982: contribuição ao estudo do clima urbano**. São Paulo, 1987. 2 vs. Dissertação Mestrado/USP.
- [29] LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo, Hucitec, 1985.
- [30] TARIFA, R. J. **A análise topo e microclimática e o trabalho de campo – O caso de São José dos campos**. São Paulo: IGEO/USP, 1981. (Climatologia, 11).
- [31] SAMPAIO, A. H. L. **Correlação entre uso do solo e ilhas de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador**. São Paulo, 1981. Dissertação de Mestrado – USP.
- [32] LANDSBERG, Helmut Erich. The urban heat island. In: *The Urban Climate*, Academic Press, New York, 1981.
- [33] BARBIRATO, Gianna Melo; SOUZA, Lea Cristina Lucas de; TORRES, Simone Carnaúba. **Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2007. 164 p.
- [34] TAHA, H. Night time air temperature and the sky-view factor: a case study in San Francisco, California. Berkeley CA, Lawrence Berkeley Laboratory, 1988.
- [35] DUARTE, Denise Helena Silva; SERRA, Geraldo Gomes. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlação e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 7-20, abr./jun. 2003.
- [36] COSTA, Douglas F. da; SILVA, Hélio R.; PERES, Leonardo F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira – SP através da utilização de geotecnologias. **Eng. Agríc.**. Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 974-985, set./out. 2010.
- [37] CLAVAL, P. *La logique des Villes*. Paris: Litec. 1981.
- [38] MONTEIRO, Ana; VELHO, Sara; GÓIS, Joaquim. A importância da fragmentação das paisagens urbanas na Grande Área Metropolitana do Porto para a modelização das ilhas de calor urbano – uma abordagem metodológica. **Revista da Faculdade de Letras – Geografia – Universidade do Porto**, III série, v. 1, p. 123-159, 2012.

[39] JEANNERET, Charles-Édouard. (Le COURBUSIER). “Le centre des grandes villes et le modernism. In: RONCAYOLO, M; PAQUOT, T. (org.). Villes et civilisation urbaine XIX et XX siècle. Paris: Larousse, 1992. p. 255-261.

[40] BERDAHL, Paul; BRETZ, Sarah. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings** **25**, n. 2, p. 149-158.

[41] U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY’S OFFICE OF ATMOSPHERIC PROGRAMS. Climate Protection Partnership Division. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies – Green Roofs**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/heat island/resources/pdf/GreenRoofsCompendium.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2014.

[42] HUANG, J. et al. The Wind-Shielding and Shading Effects of Trees on Residential Heating and Cooling Requirements. ASHRAE Winter Meeting, Atlanta, Georgia, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

[43] FERNANDES, André L.T.; FRAGA JÚNIOR, Eusímio F.; TAKAY, Buno Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 270-276, mar. 2011.

[44] SÁ JÚNIOR, Arioaldo de. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais. 2009. 101f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

[45] PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA. Projeto Água Viva: Relatório Ambiental. Disponível em <[http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/agua\\_viva/arquivos/avaliacao\\_ambiental/Relatorio%20Ambiental%201.pdf](http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/agua_viva/arquivos/avaliacao_ambiental/Relatorio%20Ambiental%201.pdf)> Acesso em: dez. 2013.

[46] FONSECA, Valter Machado da. Enchentes em Uberaba: Um problema de engenharia ou falta de planejamento?. **Jornal da Manhã**, Uberaba, 1 mar. 2010. Disponível em: <<http://www.jmonline.com.br/novo/?noticias,22,ARTICULISTAS,23578>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

[47] DACANAL, Cristiane. *et al.* Microclima em Fundos de Vale: análise de diferentes ocupações urbanas em Campinas, SP. **Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**, 12., 2008. FORTALEZA, CE, 2008, Fortaleza, CE, 2008. 10 p.

[48] AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ilhas de Calor em Birigui / SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 121-130, dez 2005.

[49] GARCIA, Fernández F. Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial síntesis, S.A., 1996. 285p.

[50] SCOTT, K. *et al.* Effects of tree cover on parking lot microclimate and vehicle emissions. **Journal of Arboriculture**, v. 25, n. 3, p. 129-142.