

A influência da vegetação em um microclima da cidade de Belo Horizonte, MG

The influence of the vegetation in a microclimate within the city of Belo Horizonte, MG

Pedro Heringer Lisboa Teixeira
Bacharel em Geografia pelo UniBH
pedroheringer@hotmail.com

Taiza de Pinho Barroso Lucas
Doutoranda em Geografia pela UFMG
taizaead@gmail.com

Artigo recebido para revisão em 03/02/2014 e aceito para publicação em 17/02/2014

Resumo

A intensificação do processo de urbanização é responsável por mudanças nos padrões climáticos locais e regionais, sendo que, a principal causa destas alterações pode ser explicada através do fenômeno conhecido como ilha de calor urbana (ICU). Sabendo-se que áreas arborizadas periféricas proporcionam um maior conforto térmico em relação aos centros urbanos, o presente trabalho visou quantificar e delimitar a influência da vegetação em um sistema microclimático dentro do município de Belo Horizonte. Para isso, registrou-se a diferença de temperatura e umidade em pontos específicos, sob a influência de diferentes fatores locais, definindo e quantificando até que ponto a vegetação é capaz de amenizar os efeitos causados pelas ICUs.

Palavras-chave: Ilha de calor urbana; Microclima; Vegetação.

Abstract

The intensification of the urbanization process is responsible for changes in local and regional climate patterns, and the main cause of these changes can be explained by the phenomenon known as the urban heat island (UHI). Knowing that outlying wooded areas provide greater thermal comfort in relation to urban centers, the present work was aimed to define and quantify the influence of the vegetation on a microclimatic system within the city of Belo Horizonte. For this, the differences in temperature and humidity at specific points under the influence of different local factors were registered, to define and quantify the extent to which vegetation is able to reduce the effects caused by the UHIs.

Keywords: Urban heat island; Microclimate; Vegetation.

1. INTRODUÇÃO

O processo da urbanização, que têm se intensificado de maneira considerável nas últimas décadas, em boa parte do mundo, tem sido abordado em diversas discussões de caráter geográfico, e uma delas está relacionada às alterações das condições habituais de tempo. Uma das maneiras com que a urbanização interfere nos padrões climáticos locais é explicada pelo fenômeno conhecido como ilha de calor urbana (ICU) como define Voogt (2004). Com o crescimento das cidades, e o consequente aumento das áreas de edificações, do uso do concreto, asfalto e outros materiais nas construções urbanas, comumente ocorrem mudanças nos padrões de absorção da radiação solar e posterior reemissão de radiação infravermelha nos locais em questão, o que provoca também a

alteração da umidade do ar (AYOADE, 2011). De uma maneira geral, esta mudança nos padrões climáticos dentro de uma região metropolitana caracteriza a ICU.

O aumento da temperatura dentro de grandes centros urbanos em relação ao meio rural externo é verificado em vários estudos (SOUZA; MASSAMBANI, 1992; ANDRADE; MENDONÇA, 2010; AYOADE, 2011), e, atualmente, é de conhecimento popular que ambientes com maior presença de vegetação proporcionam um maior conforto térmico.

O trabalho em questão visou quantificar e delimitar a influência da vegetação na temperatura de um sistema microclimático urbano, dentro do município de Belo Horizonte. Para isso, registrou-se a diferença de temperatura em pontos específicos sob a influência de diferentes fatores, definindo a capacidade da vegetação de amenizar as temperaturas do ambiente e suas redondezas. Em suma, tentou-se determinar até que ponto a vegetação é capaz de mitigar o efeito das ICUs em nível local, sendo hipótese inicial que, a presença e a intensidade da vegetação sejam fatores diretamente proporcionais ao poder de amenização do fenômeno em questão.

Por isso, este trabalho se justifica devido à necessidade de mais estudos que quantifiquem tais diferenças climáticas no âmbito local, não só para enriquecer o conhecimento acerca dos microclimas das grandes cidades, mas para embasar políticas ambientais futuras.

Assim, foram desenvolvidos métodos que permitissem quantificar, de maneira objetiva, a variação térmica resultante da presença de vegetação em determinado ambiente dentro da área de influência climática de uma ICU, e a sua abrangência; permitindo também que fossem feitas inferências mais seguras no que diz respeito à importância da cobertura vegetal dentro do espaço urbano. Para isso foram realizadas medições de temperatura, umidade relativa do ar, direção e intensidade do vento, além da caracterização geral do tempo. Tais medições foram realizadas concomitantemente em diferentes pontos, influenciados por sistemas microclimáticos adjacentes e distintos, escolhidos em função de características específicas, como o tipo de cobertura do solo, a presença de vegetação, proximidade a edificações, e outros fatores.

Definição de microclima

As definições para o termo “microclima” na literatura consultada, além de escassas, são bastante variáveis entre si, de forma que, são utilizadas de maneira diversa, dependendo do enfoque do trabalho em questão. De acordo com a Encyclopædia Britannica (2012), microclima é “qualquer condição climática em uma área relativamente pequena, ocupando uma altura de 2 metros ou menos acima e abaixo da superfície terrestre, ou abaixo de dosséis de vegetação”. Uma definição mais abrangente é dada no site da Cornell University (Cornell Gardening Resources, 2010), e que define o termo como “o clima de uma pequena área, que difere da área circundante. Pode ser mais quente ou mais frio, mais úmido ou mais seco, mais ou menos sujeito a geadas”. Em alguns casos o

microclima é definido pela análise dos fenômenos em microescala que se estendem em até 2 km de extensão (ORLANSKI 1975).

Para os fins deste estudo, a definição usada por Andrade (2005, p.72) pode ser aplicada de maneira mais produtiva, já que leva em conta os aspectos urbanos mais fundamentais, e estabelece uma extensão de análise coerente com a proposta da presente pesquisa. O autor define que o microclima “reflete a influência de elementos urbanos individuais e dos seus arranjos mais elementares (edifícios e as suas partes constituintes; ruas e praças, pequenos jardins)”. Além disso, a dimensão típica considerada pelo autor pode ir até cerca de uma centena de metros (ANDRADE 2005; AYOADE 2011, p. 4).

Apesar disso, neste trabalho, a exata extensão do microclima a ser estudado não é tão importante quanto a quantificação de suas diferenças em relação ao seu entorno. Por isso, a ideia de que um microclima pode ser tratado como uma área relativamente pequena, que difere do clima do seu entorno, é suficiente para os objetivos em questão.

Ilha de calor

No início do capítulo 13 do seu livro “Introdução à Climatologia para os Trópicos” Ayoade (2011) afirma que “com o aumento populacional e o aumento das capacidades tecnológica/científicas da humanidade, percebeu-se que o homem pode influenciar e tem de fato influenciado o clima, apesar dessa ação ser feita principalmente numa escala local”. Um dos resultados de tais influências é caracterizado pelo fenômeno da Ilha de Calor. De acordo com Voogt (2004):

Ilha de Calor é o nome dado para descrever o aquecimento característico, tanto da atmosfera, quanto da superfície em cidades (áreas urbanas), comparadas com seu entorno não urbanizado. A Ilha de calor é um exemplo de modificação climática não intencional, quando a urbanização muda as características da superfície e atmosfera terrestre. (s/ p.)

De uma maneira mais específica, o balanço de energia e de radiação na zona urbana é modificado como consequência das alterações promovidas pela substituição das superfícies naturais por pavimentações e construções, armazenando assim parte da energia incidente na superfície, que de outra forma seria utilizada na evaporação da umidade superficial, aquecendo os ambientes urbanos, e tornando-os mais quentes que as regiões periféricas (SOUZA ; MASSAMBANI, 1992, p.3; AYOADE, 2011, p. 302). A redução da ventilação, o aumento da concentração da produção de calor de origem antrópica, e a diminuição da cobertura vegetal, também são um dos fatores principais na intensificação do fenômeno (ANDRADE, 2005, p. 82). Em geral, é possível constatar que, dentro de uma mesma faixa climática, no centro das áreas urbanas, e nos lugares pobres em vegetação, as temperaturas atingem maiores valores que o seu entorno (SOUZA; MASSAMBANI,

1992; ANDRADE ; MENDONÇA, 2010). Da mesma forma, os valores mínimos são registrados em áreas verdes e reservatórios de água (SOUZA; MASSAMBANI, 1992). Outra característica do fenômeno é a maior absorção da radiação solar durante o dia por parte das superfícies dos materiais utilizados na urbanização, com a posterior liberação dessa energia durante a noite (SOUZA; MASSAMBANI, 1992, p. 16), alterando a dinâmica climática em ambos os períodos.

Para que se alcance um entendimento suficiente do fenômeno da ilha de calor é necessário observar toda a complexidade do mesmo, partindo primeiramente das características das superfícies, que são influenciadas por diversas condições, segundo Voogt (2004), dentre elas: o período (dia ou noite), quantidade de água, cor da superfície (clara ou escura) e sua posição (sombreada ou exposta). Além disso, a natureza da superfície determinará os valores do albedo e do calor específico. Se o valor do albedo for elevado, menos radiação será absorvida pela superfície para a elevação de sua temperatura; similarmente, se o calor específico da superfície é alto, mais energia esta terá de absorver para aumentar sua temperatura (AYOADE, 2011, p. 52). Já que a temperatura do ar em microclimas é fortemente determinada pelo aquecimento diferenciado das superfícies, o conhecimento de como ocorre este processo se torna imprescindível nesse tipo de análise. Esta é a razão básica pela qual áreas mais densamente urbanizadas apresentam temperaturas geralmente mais elevadas que os parques adjacentes (VOOGT, 2004).

A importância da caracterização das superfícies pode ser resumida por Voogt (1997):

A natureza da superfície condiciona fortemente as camadas mais baixas da atmosfera. Desta forma, a especificação das propriedades da superfície e suas condições são importantes objetivos para estudo, e necessários pré-requisitos para aumentar o entendimento dos sistemas climáticos (p.1118).

Tais informações indicam como alterações de caráter superficial são capazes de gerar mudanças tão notáveis nos padrões climáticos de áreas restritas, como de fato ocorre com alguns microclimas e ilhas de calor.

Efeito da vegetação sobre o clima

Neste trabalho pretendeu-se quantificar e avaliar a influência da vegetação em um microclima de Belo Horizonte, já que é bem estabelecido o fato de que áreas com maior intensidade arbórea possuem características distintas do seu entorno, principalmente dentro de ilhas de calor (SHINZATO, 2009; YU; HIEN, 2006; CA, ASAEDA ; ABU, 1998; ANDRADE; MENDONÇA, 2010).

Locais com maior intensidade de vegetação apresentam superfícies com maior capacidade de evapotranspiração, já que são capazes de reter maior quantidade de água. Assim, o calor recebido

pela radiação solar pode ser dissipado na forma de calor latente (usado para aquecer a água), ao invés de calor sensível, que é responsável pelo aumento da temperatura das superfícies e da atmosfera (YU; HIEN, 2006). Tal fenômeno se explica pelo alto calor específico da água, que, segundo Ayoade (2011, p. 30), “deve absorver cinco vezes mais energia calorífica para elevar sua temperatura em nível igual ao de uma massa de solo seco semelhante”. De uma forma geral, o aumento da superfície com capacidade de evapotranspiração, associado à área de sombreamento oferecida pela vegetação arbórea, são as principais causas do efeito mitigador proporcionado pelas áreas verdes localizadas dentro de ilhas de calor. De fato o aumento de áreas verdes dentro de espaços urbanos tem sido uma medida usada para reduzir os efeitos das ilhas de calor, como afirmam Yu ; Hien (2006):

O plantio de vegetação em áreas urbanas é uma das principais estratégias empregadas para mitigar o efeito da ilha de calor, já que a vegetação desempenha uma função significativa na regulação do clima urbano. É uma medida efetiva para criar um “efeito oásis” e mitigar o aquecimento urbano tanto no nível ‘macro’ quanto no ‘micro’ (p. 105)

Os mesmos autores sugerem que os “impactos de resfriamento” dos parques urbanos são refletidos não apenas nas temperaturas mais baixas destas áreas, mas também em temperaturas mais baixas em suas redondezas, durante o dia e noite. De fato, é possível economizar energia quando construções urbanas estão próximas a parques. Em um estudo realizado em Singapura, através de simulações computacionais, foi constatada uma capacidade de até 10% na redução da energia utilizada para resfriamento de ambientes urbanos que se encontram ao redor de parques, em comparação com ambientes mais afastados destes (YU ; HIEN, 2006). Em outro estudo realizado no Japão (CA; ASAEDA; ABU, 1998) estimou-se que a presença de um parque adjacente é capaz de gerar uma economia de até 4000 kWh de eletricidade usada em resfriamento, no período das 13 às 14h em um dia quente de verão. No mesmo estudo verificou-se que, durante o período mais quente, a temperatura do ar medida a 1.2 m acima de uma superfície gramada, dentro de um parque, é aproximadamente 2°C mais baixa que a temperatura medida na mesma altura em regiões urbanas circundantes.

Outro aspecto importante da vegetação é sua capacidade de amenizar o efeito da poluição urbana de várias maneiras. Uma delas é a absorção de gases poluentes como SO₂ e NO_x através dos estômatos das folhas. Estes gases se difundem de maneira semelhante ao CO₂ e podem ser metabolizados pelas plantas, apesar de causarem prejuízos fisiológicos às mesmas (ZEIGER, 2006; AYOADE, 2011, p. 310). Outras substâncias tóxicas como o formaldeído, benzina e tricloroetileno podem ser absorvidas, e a retirada de CO₂ do ar, com a posterior estocagem de carbono na estrutura da planta por meio da fotossíntese é um mecanismo eficiente para equilibrar as quantidades desse gás na atmosfera (SHINZATO, 2009, p. 32). As plantas também são capazes de remover

temporariamente os poluentes particulados ao retê-los na superfície da folha, até serem levados pelas águas da chuva, ou ainda ficarem incorporados ao solo quando a folha se desprender (SHINZATO, 2009, p. 31).

Apesar de não ser o objetivo deste trabalho analisar o impacto da impermeabilização nos espaços urbanos, é importante ressaltar que a falta de infiltração pelo solo aumenta a quantidade e a velocidade das águas que chegam aos córregos e rios em até 45% (SHINZATO, 2009, p. 36), sendo este um aspecto de extrema relevância no planejamento urbano e na prevenção de desastres naturais.

Clima urbano e qualidade de vida

Considerando todos os aspectos tratados, nota-se a importância de se compreender melhor os sistemas climáticos urbanos, já que, como Critchfield (1974) ressalta, “a saúde humana, a energia e o conforto, são afetados mais pelo clima do que por qualquer outro elemento do ambiente”. O clima urbano deve, assim, ser considerado enquanto componente de qualidade do ambiente e, portanto, de influência na qualidade de vida dos seus habitantes (ANDRADE, 2005, p. 75).

Por isso, o controle climático visando a manutenção do conforto fisiológico humano, e a melhoria da saúde física e mental, muitas vezes deve envolver a criação de microclimas artificiais (AYOADE, 2011, p. 299), e uma das formas de se alcançar tal objetivo tem sido a implantação de áreas verdes nos espaços urbanos. A informação sobre o clima local pode ser utilizada, por exemplo, na seleção da estrutura urbana geral, no tipo de uso do solo, no direcionamento e caracterização dos espaços abertos, na utilização da vegetação e de cores predominantes, ou mesmo no planejamento de conjuntos residenciais no nível do quarteirão (ANDRADE, 2005, p. 81). A importância de se agregar o conhecimento climático no planejamento urbano é bem explicada por Whitford et. al. (2001) quando é diz que “os problemas colocados pela densificação urbana podem ser atenuados por um bom desenho urbano e por diferentes soluções técnicas”, sendo que “a participação dos climatólogos urbanos nesta discussão afigura-se, portanto, indispensável”.

Cada vez mais se torna imprescindível o desenvolvimento de estudos que caracterizem a dinâmica climática urbana em diferentes escalas, tal como suas inter-relações. Como foi constatado nesta breve revisão bibliográfica, a vegetação desempenha um papel fundamental no estabelecimento de características climáticas locais e até mesmo regionais, justificando assim os objetivos do presente trabalho.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, foram pré-selecionados alguns espaços urbanos que fossem favoráveis à análise proposta. Para isso certas características foram fundamentais, dentre elas:

- Ser uma zona de transição entre microclimas, que são definidos como áreas relativamente pequenas, de até cerca de uma centena de metros (AYOADE, 2011), e com características climáticas distintas do seu entorno (Cornell Gardening Resources, 2010), que refletem a influência de elementos urbanos individuais e dos seus arranjos mais elementares, como edifícios e as suas partes constituintes; ruas e praças, pequenos jardins, etc. (ANDRADE, 2005).
- Pelo menos um dos microclimas deveria possuir ampla cobertura vegetal de porte arbóreo e arbustivo, e outro deveria ser caracterizado por cobertura do solo predominantemente constituída por concreto ou asfalto, próximo a edificações, e com baixa cobertura vegetal, para que houvesse uma distinção clara entre os ambientes.

Após a escolha do espaço, as regiões de transição foram demarcadas, de forma a distinguir os diferentes sistemas microclimáticos. Para isso foram utilizadas primeiramente imagens de satélite como Landsat e GoogleEarth, que permitissem a visualização do tipo de ocupação do solo, a suposta abrangência dos microclimas adjacentes e sua zona de contato. Nesta etapa também foi feita uma análise prévia da provável localização dos pontos de medição.

Em um segundo momento foram feitas visitas de campo prévias para confirmar a localização do espaço escolhido, os limites dos microclimas, e os pontos de medição. Para tal objetivo utilizou-se um aparelho de GPS e termo-higrômetros, como forma de confirmação prévia da existência de diferentes sistemas microclimáticos adjacentes. Desta forma foi determinado que a área de análise deveria ser dividida em 5 pontos. O ponto 1 seria posicionado dentro do microclima com vegetação mais intensa, à sombra de uma árvore; o ponto 2 estaria próximo ao microclima com vegetação mais intensa, porém sob a influência direta da radiação solar; o ponto 3 deveria se encontrar na região limítrofe entre a área de vegetação mais intensa e as imediações sem cobertura vegetal do solo; o ponto 4 deveria se localizar dentro de um microclima sem cobertura vegetal, porém ao abrigo da radiação solar direta; e por fim o ponto 5, sob a influência direta da radiação solar, em um microclima sem a presença de vegetação imediata, sobre um chão de concreto ou asfalto.

Os pontos deveriam estar próximos entre si por uma distância máxima de 100 metros, minimizando influências atmosféricas diferenciadas na cobertura por nuvens e sistemas de ventos.

Tal procedimento visa caracterizar de maneira efetiva diferentes sistemas microclimáticos sob as mesmas condições meteorológicas imediatas.

Escolha e delimitação da área de estudo

Para as medições em campo foram avaliados alguns espaços urbanos dentro do município de Belo Horizonte, utilizando-se imagens de satélite e observações in loco. Alguns trabalhos semelhantes (SHINZATO, 2009; ALBUQUERQUE, 2012) procuraram analisar a influência da vegetação, e das diferentes coberturas de solo, na determinação dos diferentes microclimas urbanos, utilizando estações de medição localizadas dentro de parques ou áreas urbanizadas. Estes estudos utilizaram uma escala de análise maior que 200 metros entre os pontos mais distantes. O presente trabalho visou restringir ao máximo a distância entre cada estação de medição, de maneira a registrar diferenças microclimáticas relacionadas a fatores imediatos, quantificando assim a capacidade da vegetação na regulação da temperatura e umidade mesmo entre pontos separados por alguns metros. Assim, a distância máxima entre os pontos escolhidos foi de 100 metros.

Desta forma, foi escolhido como local de análise o Campus Estoril do Centro Universitário de Belo Horizonte (UniBH), localizado na Regional Oeste. O motivo da escolha se deu, principalmente, pela presença de diferentes coberturas do solo, tipos de vegetação, e quebras abruptas de condições microclimáticas dentro do campus; o que possibilita uma análise em condições as mais controladas possíveis.

Foram escolhidos cinco pontos, de maneira a representar os tipos básicos de cobertura de solo e proximidade com a vegetação. Todas as estações de medição se encontravam a uma altitude aproximada de 963 metros:

- Ponto 1 (19°58'221''S/ 43°57'757''W/ UTM 7791437): Localizado em uma área de algumas dezenas de metros quadrados, densamente arborizada, e sombreada durante todo o dia.
- Ponto 2 (19°58'211''S/ 43°57'761''W/ UTM 7791456): Localizado dentro da mesma área verde do ponto 1, também com cobertura vegetal, porém a alguns metros de distância deste, e com incidência solar direta.
- Ponto 3 (19°58'196''S/ 43°57'767''W/ UTM 7791482): Localizado em uma pista do estacionamento, para trânsito de pessoas e de carros, sem cobertura vegetal imediata, porém adjacente à área verde onde se encontravam os pontos 1 e 2.
- Ponto 4 (19°58'234''S/ 43°57'812''W/ UTM 7791414): Localizado no corredor coberto após a entrada principal (Av. Prof. Mário Werneck) do campus, e adjacente ao estacionamento, sem cobertura vegetal, e sombreado durante todo o dia.

- Ponto 5 ($19^{\circ}58'216''S$ / $43^{\circ}57'819''W$ / UTM 7791447): Localizado no centro do estacionamento aberto, após a entrada principal, sem cobertura vegetal e com incidência solar direta durante todo o dia.

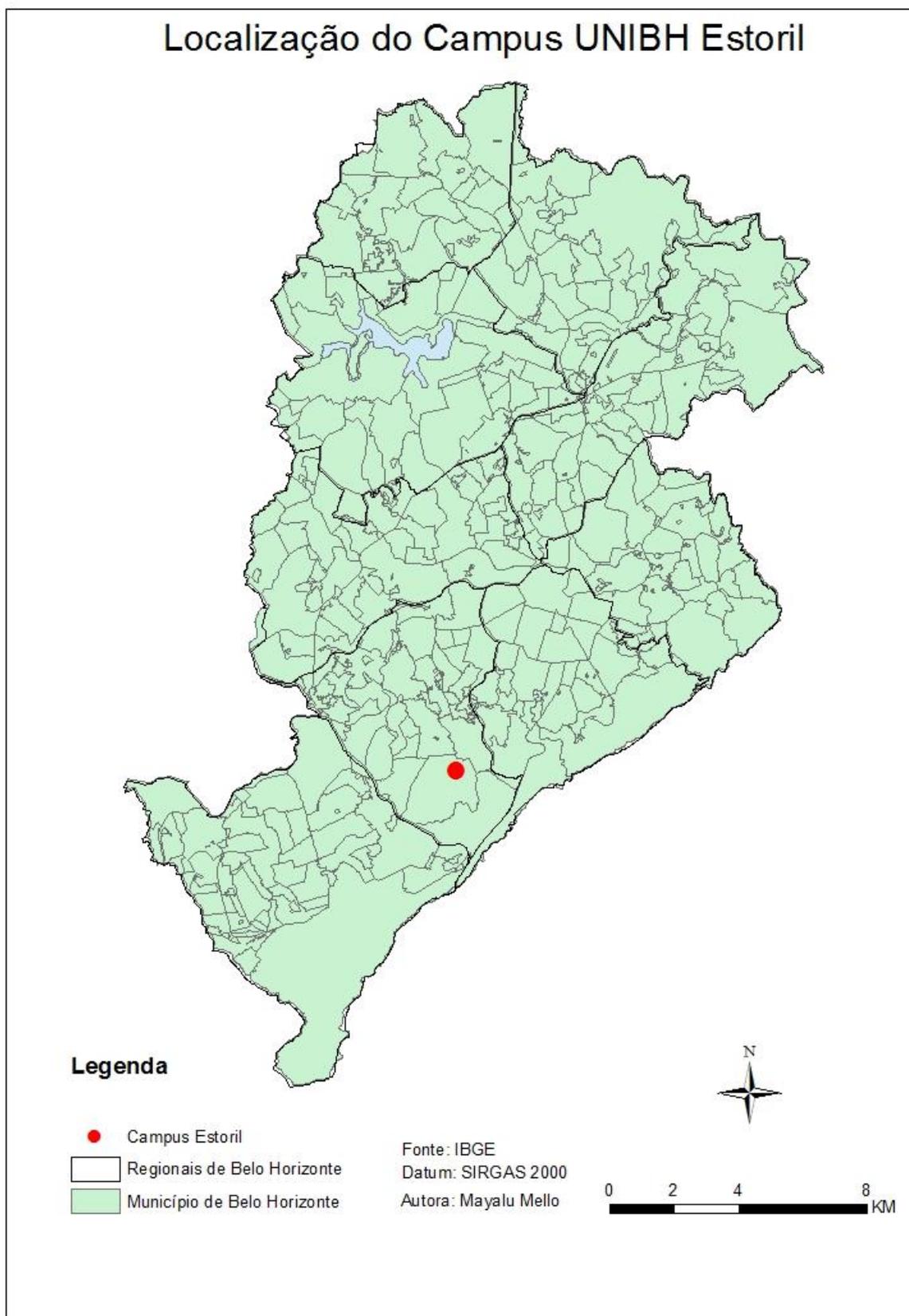


Figura 1 – Localização da área de medição dentro da Regional Oeste de Belo Horizonte



Figura 2 – Localização da área de medição dentro do campus do Centro Universitário de Belo Horizonte UniBH. Fonte: GoogleMaps 2013

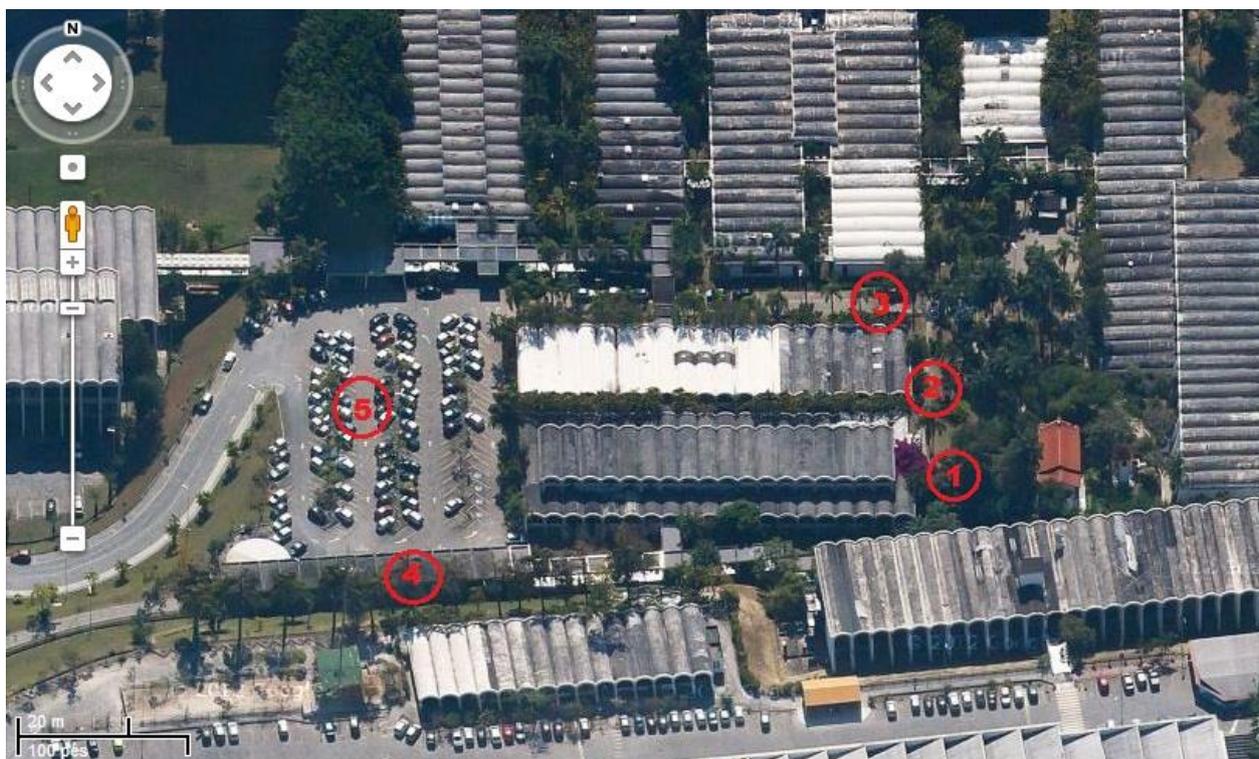


Figura 3 – Localização dos pontos de medição dentro do campus (Fonte: GoogleMaps 2013)

Medições em campo

As medições em campo foram realizadas no outono de 2013, no dia 1º de Junho, durante um período de 12 horas (8h às 20h), que compreendeu tanto o intervalo sob a maior influência direta da radiação solar, quanto o período com predominância da radiação terrestre em relação a solar.

Apesar das chuvas ocasionais durante a estação, os dias deste período são predominantemente secos, com uma presença de nuvens moderada ou baixa. No dia em que foram realizadas as medições em campo, o padrão meteorológico típico da estação se repetiu, com uma baixa presença de nuvens; o que permitiu o registro da temperatura e umidade sob condições de incidência solar direta durante aproximadamente 90% do dia.

Cada ponto de medição continha um termo-higrômetro analógico dentro de um abrigo posicionado a 1,5 m do solo (Figura 4 a 8) de acordo com os padrões recomendados pela World Meteorological Organization (OKE, 2006), sendo registradas, entre intervalos de 1 hora, a temperatura (bulbo seco e úmido), a umidade relativa do ar, a direção e intensidade do vento, e outras condições do tempo, como por exemplo, a presença e os tipos de nuvem.

A padronização das medições de cada ponto foi feita utilizando um termo-higrômetro eletrônico, diminuindo assim os erros relacionados às diferenças de registro intrínsecas a cada instrumento analógico.

Após a etapa das medições, foram feitas as análises dos dados, seguidas do registro dos resultados e das conclusões.



Figura 4 – Ponto 1



Figura 5 – Ponto 2



Figura 6 – Ponto 3



Figura 7 – Ponto 4



Figura 8 – Ponto 5

3. RESULTADOS

Através da análise dos dados coletados é possível notar um padrão geral de temperatura e umidade de acordo com o esperado. Por exemplo, a curva de temperatura observada em cada um dos pontos segue o comportamento básico de praticamente qualquer medição diária durante o período seco: um aumento constante durante a manhã, com um pico máximo entre o início e meio da tarde, seguido de uma queda constante a partir do meio da tarde até a noite (Gráfico 1).

O mesmo ocorre com a curva da umidade relativa, que de uma maneira geral tem o formato do gráfico de temperatura invertido: uma queda constante da umidade durante a manhã, com um

pico mínimo entre o início e o meio da tarde, seguido de um aumento constante a partir do meio da tarde até a noite (Gráfico 2).

Gráfico 1 - Variação da temperatura (°C) de cada ponto em função do horário

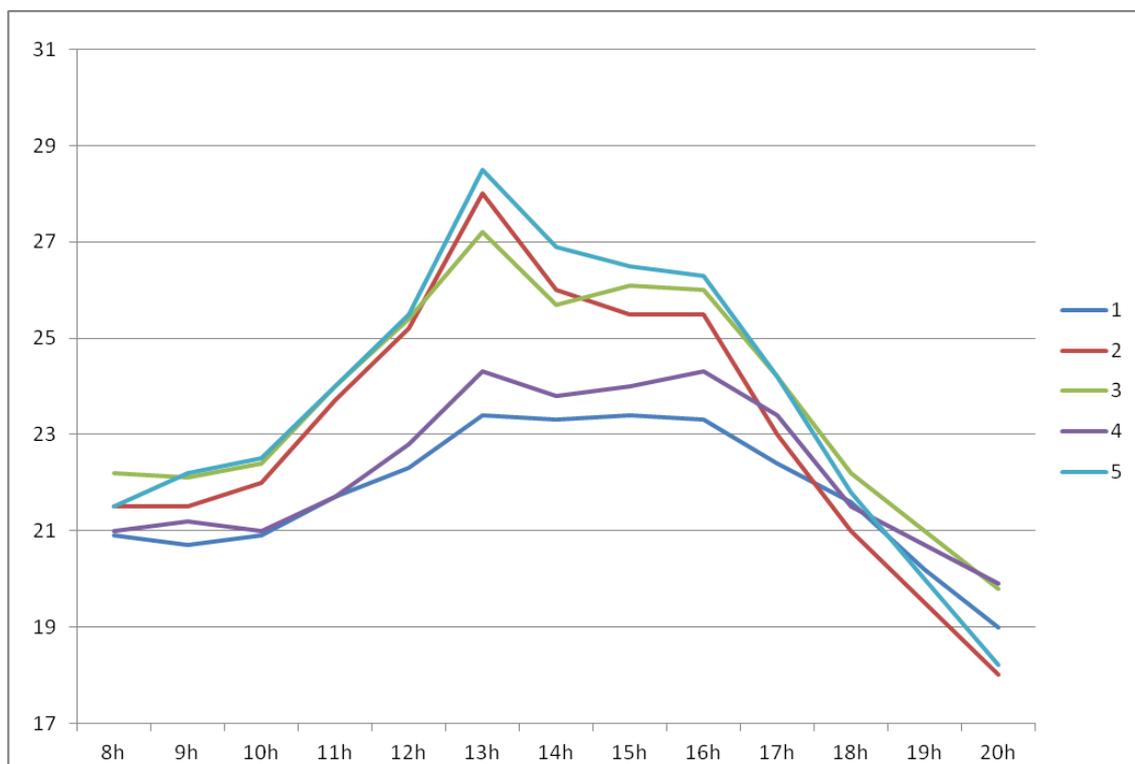
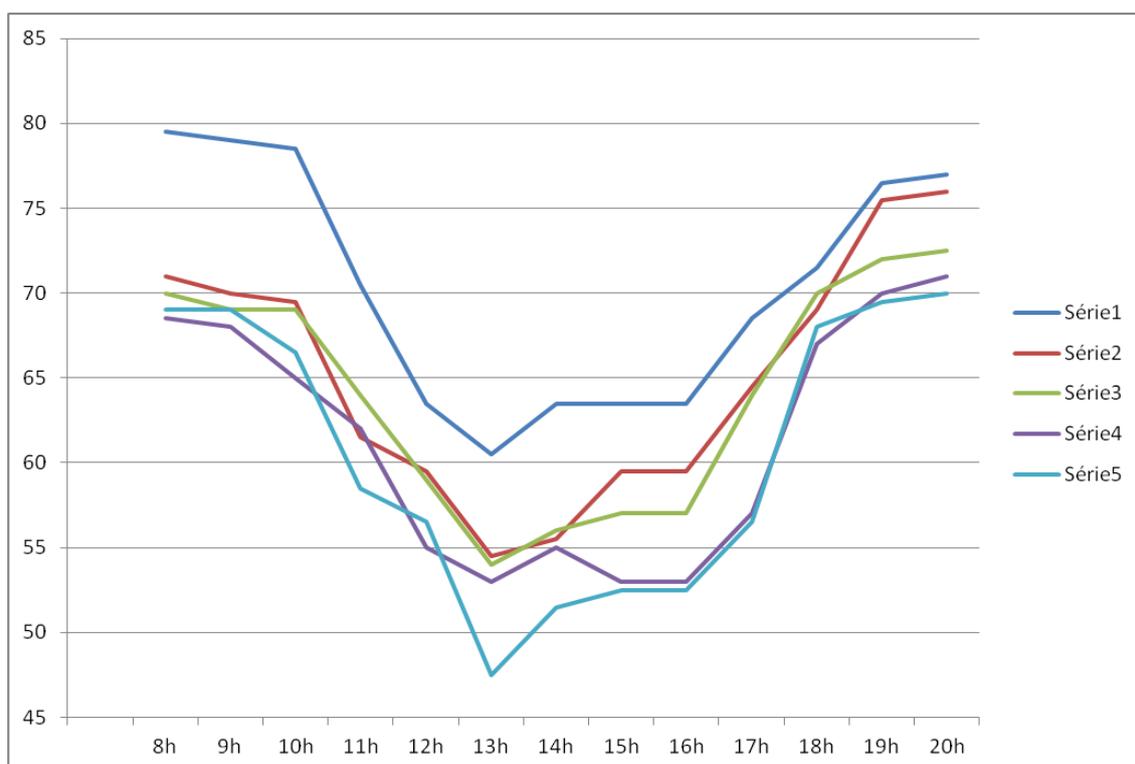


Gráfico 2 - Variação da umidade relativa do ar (U.R%) de cada ponto em função do horário.



Mesmo com a confirmação do padrão geral, o objetivo do estudo era identificar e quantificar as diferenças microclimáticas dependentes da vegetação e dos diferentes tipos de cobertura do solo. De fato foi identificada a dinâmica esperada, sendo o padrão claramente notável. Vemos que, apesar da distância de algumas dezenas de metros entre cada um dos pontos, o entorno de cada um deles é determinante para causar diferenças na temperatura e umidade locais. Já que os pontos 1 e 5 apresentavam as condições microclimáticas mais díspares dentre as analisadas, eles podem ser usados de exemplo de como ocorrem as variações de uma maneira geral. Outro aspecto interessante é que o ponto 3, localizado em uma área intermediária entre os pontos mais extremos, apresentou valores aproximadamente intermediários, indicando uma influência das áreas verdes também no seu entorno imediato.

As médias de temperatura totais registradas no ponto 1 e 5 foram de $\sim 21,7^{\circ}\text{C}$ e $23,7^{\circ}\text{C}$, respectivamente, com uma diferença de $\sim 2^{\circ}\text{C}$ entre os dois. Este valor está de acordo com o encontrado pelo estudo de Ca et al. (1998), e pode ser considerado expressivo, se levarmos em conta uma escala de análise microclimática igual ou menor a 100 metros. Em todo caso, é importante notar que, se tratando de um microclima, os aspectos mais relevantes com relação à sensação e conforto térmico são a umidade relativa do ar, velocidade do vento, e a quantidade de variação térmica durante determinados períodos do dia, e não necessariamente a diferença total das médias registradas.

Do início das medições até as 13 h a variação de temperatura no ponto 1 foi de $2,5^{\circ}\text{C}$, enquanto no ponto 5, durante o mesmo intervalo de tempo, a variação foi de 7°C . Ou seja; a variação de temperatura no ponto 5, durante o período em questão, foi 2,8 vezes maior que a registrada no ponto 1. Com relação ao valor máximo registrado no bulbo seco durante todo o dia, este ocorreu às 13h no ponto 5, chegando a $28,5^{\circ}\text{C}$; o que significa uma diferença de $5,1^{\circ}\text{C}$ em relação ao ponto 1, que marcava $23,4^{\circ}\text{C}$ no mesmo horário.

A queda total de temperatura no ponto 1, entre 13h e 20h, foi de $4,4^{\circ}\text{C}$, enquanto no ponto 5, durante o mesmo período, a queda foi de $10,3^{\circ}\text{C}$. Isto significa que o ponto 5 apresentou uma variação de temperatura aproximadamente 2,3 vezes maior que a do ponto 1. Assim, é possível perceber que o ponto 5 apresentou uma maior amplitude térmica que o ponto 1, tanto durante a manhã (aumento de temperatura), quanto durante a tarde/noite (queda de temperatura).

No caso da umidade relativa do ar (U.R%), nota-se que desde o início das medições os pontos 1 e 5 registraram valores consideravelmente diferentes, tendo em vista que se encontravam à uma distância relativamente pequena um do outro. Em nenhum momento a umidade relativa do ar no ponto 1 foi menor ou igual ao ponto 5, sendo que o período com o registro mais próximo entre estes foi às 18h, onde havia uma diferença de 3,5 pontos percentuais. Apesar de se encontrarem deslocadas no eixo da ordenada, ambas as curvas apresentam um padrão semelhante, com uma

maior capacidade de retenção da umidade no ponto 1, independente do horário, não só em relação ao ponto 5, mas a todos os outros.

A média da umidade relativa do ar registrada no ponto 1 foi de ~ 70,4%, enquanto no ponto 5 foi de ~ 60,6%, o que significa uma diferença de ~ 9,8 pontos percentuais. A queda dos valores da UR% no ponto 1, entre 8h e 13h, foram de 19 pontos percentuais; contrastando com os 21,5 registrados no ponto 5 durante o mesmo período. Já o aumento dos valores da UR% no ponto 1, entre 13h e 20h, foram de 16,5 pontos percentuais; diferentemente do ponto 5, que no mesmo período registrou uma variação de 22,5 pontos percentuais. Tal disparidade pode ser explicada pela grande diferença nas densidades arbóreas locais entre os dois pontos, o que é um fator conhecidamente responsável pela maior capacidade de manutenção da umidade em microclimas urbanos. Em outras palavras, a maior densidade arbórea está diretamente relacionada a uma maior capacidade de regulação dos níveis de umidade.

A intensidade do vento se manteve baixa durante a maior parte do dia, sendo também ausente em alguns períodos da tarde e principalmente no início da noite; o que pode ser explicado pelos eventos de calmaria, em função do período do ano. Também foi constatado que a direção do vento, independentemente do ponto, se manteve sempre do vetor leste (E, NE ou SE) para o oeste (W, SW ou NW) como esperado, tendo em vista a atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que predomina na atmosfera ao longo do outono e inverno. O fenômeno acaba por gerar ventos dos quadrantes NE/E/SE, durante a sua circulação em baixos níveis.

Apesar disso, não pôde ser identificado qualquer padrão de associação considerável entre o vento, a temperatura, e a umidade relativa do ar, com exceção dos registros feitos às 13h, onde a queda abrupta da umidade no ponto 5 pode ter sido reforçada pela maior velocidade e constância do vento, em relação aos outros pontos. Em todo caso, a impossibilidade de coletar dados específicos sobre estes fatores impede que conclusões mais aprofundadas sejam feitas.

4. CONCLUSÕES

Analisando os dados obtidos em campo, e comparando-os com os descritos na literatura, é possível confirmar a ideia geral de que a presença da vegetação, principalmente arbórea, está diretamente associada com temperaturas mais amenas, e maiores valores de umidade do ar. Um ambiente com maior densidade arbórea/vegetativa é capaz de gerar condições microclimáticas mais estáveis de temperatura e umidade em relação ao seu entorno, não só pela geração de áreas de sombreamento, mas pela sua capacidade de evapotranspiração e retenção da água no solo e nas suas estruturas internas, emitindo uma menor quantidade de radiação infravermelha em relação ao solo exposto, concreto ou asfalto.

De acordo com os resultados obtidos, a maior densidade arbórea e vegetativa foi capaz de estabelecer condições de temperaturas médias até 2°C mais baixas que o seu entorno. Porém, se levarmos em conta o período mais quente do dia, é possível amenizar as temperaturas em até 5°C, o que significa uma diferença de aproximadamente 17,9% entre espaços adjacentes. Aparentemente, no verão é possível alcançar uma mitigação ainda maior das temperaturas médias e máximas registradas (SHINZATO, 2009), tendo em vista que, neste período, há uma incidência solar mais intensa na superfície do solo. Por outro lado, no verão há também maior quantidade de nuvens, e o aquecimento nos níveis mais baixos da atmosfera se deve em grande parte ao efeito estufa. Assim, pode-se dizer que a radiação solar incidente é mais atuante nos períodos mais secos, o que torna mais evidente o papel da vegetação na criação de “ilhas de frescor” nos grandes centros urbanos.

A maior densidade arbórea e vegetativa foi também capaz de manter a umidade relativa do ar em média até 9,8 pontos percentuais acima do seu entorno. Mesmo no período em que foram registrados os níveis mais baixos (13h), a umidade do ar se manteve superior em 13 pontos percentuais, o que significa um valor até 21,5% maior.

A diminuição do conforto térmico, causado pelo aumento das temperaturas e diminuição da umidade relativa do ar, é um dos efeitos mais notáveis das ilhas de calor, o que afeta diretamente a qualidade de vida nas grandes cidades. Sabe-se que a presença da vegetação, principalmente a arbórea, é capaz de amenizar tais efeitos; por isso, além de confirmar a ideia inicial, o presente estudo visou quantificar os benefícios climáticos, não só de se implantar áreas verdes no meio urbano, mas de manter as já existentes. Os resultados também corroboram a ideia de que os benefícios não se limitam apenas à porção interna das áreas verdes, mas também podem alcançar seu entorno próximo, em até algumas dezenas de metros. Tais dados indicam que o potencial mitigador das áreas arborizadas pode ser maior que o imaginado, variando com o tamanho da área e o tipo de fitofisionomia.

O aumento considerável da urbanização torna cada vez mais necessária a realização de estudos que contribuam com o planejamento urbano, de maneira a melhorar não só a qualidade funcional e logística das cidades, mas, também, a qualidade de vida dos seus cidadãos, sendo a vegetação um dos principais fatores deste processo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. M. **Relação entre o uso e ocupação do solo e variáveis climáticas: Estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Piauí, 2012.

ANDRADE, H. **O Clima Urbano – Natureza, escalas de análise e aplicabilidade.** Finisterra, XL, 80, 2005, pp. 67- 91.

ANDRADE, A. R.; MENDONÇA, F. A. - **Clima urbano-regional: relevo e uso do solo na definição do clima urbano de Irati e Guarapuava/Paraná – Brasil**. II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 15ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

CA, V. T; ASAEDA, T.; ABU, E. M. **Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park**. Energy and Buildings, vol. 29 (1998), pp. 83–92.

CRITCHFIELD, H. J. – **General Climatology**. New Jersey. Prentice-Hall Inc. 1974.

CORNELL GARDENING RESOURCES. **Microclimates**. Cornell University, 2010. Disponível no site <<http://www.gardening.cornell.edu/weather/microcli.html>> Acesso em: 1 dez 2012.

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. **Microclimate**. Encyclopædia Britannica. 2012. Disponível no site <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/380278/microclimate>> Acesso em: 1 dez 2012.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Instruments and observing methods**. Report No. 81. World Meteorological Organization 2006. Disponível em <<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>> Acesso em 08 jun 2013.

ORLANSKI, I. **A rational subdivision of scales for atmospheric processes**. Bulletin of the American Meteorological Society, 1975, vol. 56 (5): 527–530.

SHINZATO, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. 2009. 173 p. Dissertação de mestrado (Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SOUZA, A. L. F. ; MASSAMBANI, O. **Ilha de calor urbana na região metropolitana de São Paulo**. São Paulo, SP. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. 1992.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. **Complete Urban Surface Temperatures**. Journal of Applied Meteorology, September 1997, vol. 36, pp. 1117 – 1132.

VOOGT, J. A. **Urban Heat Islands: Hotter Cities**. November 2004. Disponível no site <<http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>> Acesso em 1 dez 2012.

WHITFORD, V.; ENNOS, A. R.; HANDLEY, J. F. **City form and natural process: indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK**. Landscape and Urban Planning, 2001, Vol.57(2), pp.91-103

YU, C.; HIEN, W. N. **Thermal benefits of city parks**. Energy and Buildings, 2006, vol. 38, pp. 105–120.

ZEIGER, E. **The Effect of Air Pollution on Plants**. Plant Physiology, Fifth Edition Online, Essay 26.1, September 2006. Disponível no site <<http://5e.plantphys.net/article.php?ch=id=262>> Acesso em 1 dez 2012.