



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Zonas Climáticas Urbanas em Cidade de Pequeno Porte

João Paulo Assis Gobo¹, Bruno Henrique Bibiano², Emerson Galvani³

¹Dr. em Geografia Física, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, Avenida Prof. Lineu Prestes, 338. Cidade Universitária. CEP: 05508-000 - Caixa Postal: 72042 - São Paulo. jpgobo@usp.br (autor correspondente). ²Bacharel em Geografia, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, Avenida Prof. Lineu Prestes, 338. Cidade Universitária. CEP: 05508-000 - Caixa Postal: 72042 - São Paulo. bruno.bibiano@usp.br. ³Dr. em Agronomia, Professor Doutor da Universidade de São Paulo. Avenida Prof. Lineu Prestes, 338. Cidade Universitária. CEP: 05508-000 - Caixa Postal: 72042 - São Paulo. egalvani@usp.br.

Artigo recebido em 14/06/2019 e aceito em 23/10/2019

RESUMO

Esta pesquisa está baseada na análise de dados primários coletados no município de Espírito Santo do Pinhal - SP, com a finalidade de identificar diferentes Urban Climate Zones (UCZ) e suas relações com o vapor d'água atmosférico. Para isso, utilizou-se seis mini estações meteorológicas instaladas a um metro do solo que coletaram a temperatura e umidade relativa do ar em diferentes setores da cidade e em um setor rural durante três dias antes e três dias depois de cada efeméride do ano de 2012. Por meio de equações obteve-se a umidade absoluta desses setores. Foi possível identificar que os contrastes térmicos e higrométricos estão diretamente relacionados aos atributos climáticos, a morfologia das construções, e os fatores naturais, como a vegetação, e não necessariamente tem maior intensidade no setor mais urbanizado. A maior diferença térmica encontrada foi de 6,8° C numa madrugada de inverno entre a zona rural e um bairro nobre. Todavia, identificou-se fortes evidências de que os micro climas estão subordinados aos sistemas atmosféricos de escala regional, e podem se tornar de difícil identificação em condições atmosféricas muito instáveis.

Palavras-chave: Espírito Santo do Pinhal, Umidade absoluta, Clima Urbano, Campo Térmico.

Urban Climate Zones and Small City

ABSTRACT

This research is based on the analysis of primary data collected in the city of Espírito Santo do Pinhal - SP to identify different Urban Climate Zones (UCZ) and their relationships with atmospheric water vapor. For this purpose, six mini meteorological stations were installed, one meter from the ground that collected the temperature and relative humidity of the air in different sectors of the city and in a rural sector for three days before and three days after each ephemeris of the year 2012. The absolute humidity of these sectors was obtained by means of equations. It was possible to identify that thermal and hygrometric contrasts are directly related to climatic attributes, the morphology of buildings, and natural factors, such as vegetation, and not necessarily more intense in the more urbanized sector. The greatest thermal difference was found to be 6.8°C in the winter dawn between the countryside and a noble neighborhood. However, strong evidence has been found that micro climates are subordinate to regional-scale atmospheric systems, and may become difficult to identify under very unstable atmospheric conditions.

Keywords: Urban heat island, Espírito Santo do Pinhal, Absolute humidity, Urban Climate, Thermal Field.

Introdução

O crescimento demográfico exponencial não planejado da maioria das áreas urbanas tem demonstrado influência direta nos padrões microclimáticos e topoclimáticos em cidades pequenas, médias e de grande porte (Lombardo, 1985; Monteiro, 1990; Alcoforado; Andrade, 2006; Amorim; Sant' Anna Neto; Dubreuil, 2009; Cardoso et al., 2017; Amorim, 2018). Além disso, a impermeabilização do solo, as alterações da estrutura vertical do local com a construção de

edifícios alteram as propriedades térmicas, hidrológicas e de circulação atmosférica da superfície e baixa troposfera, favorecendo principalmente o aumento das temperaturas e redução da umidade do ar (Porangaba; Teixeira; Amorim, 2017). Essas alterações climáticas urbanas favorecem, atuando em conjunto, a formação das ilhas de calor (Lombardo, 1985; Amorim; Dubreuil, 2017).

Trabalhos realizados em cidades médias e grandes, como por exemplo, Alcoforado e Andrade

(2006), Amorim, Sant' Anna Neto e Dubreuil (2009) e Cardoso et al. (2017), identificaram um gradiente térmico positivo em direção ao centro da cidade, além de algumas periferias densamente ocupadas. Estes padrões também foram observados em estudos relacionados ao conforto térmico intra-urbano, realizados por Gobo et al, (2017), Gobo, Galvani e Wollmann (2018a) e Gobo, Galvani e Wollmann (2018b) na cidade de Santa Maria, no Rio Grande do Sul.

A maioria dos estudos climáticos urbanos adota a análise da temperatura do ar associada a umidade relativa, para efeito de investigação dos padrões do campo térmico das cidades (Amorim, 2002; Viana; Amorim, 2008; Amorim; Sant' Anna Neto; Dubreuil, 2009; Cardoso; Amorim, 2014; Alves; Mariano, 2015). No entanto, alguns trabalhos optam pela análise da umidade específica do ar (Silva et al., 2002) e/ou da umidade absoluta (Masiero; Souza, 2013).

Assim como os atributos climáticos analisados, a escala de análise é um fator de relevante importância na abordagem de estudo do clima urbano (Oke, 2006; Gobo; Galvani; Wollmann, 2018a), sendo observado um crescente número de trabalhos direcionados aos estudos do clima urbano em cidade de pequeno porte (Hutcheon et al., 1967; Kopec, 1970; Barbosa; Vecchi, 2009; Dorigon; Amorim, 2013; Cardoso et al., 2017; Feitosa et al., 2011; Barros; Lombardo, 2012; Ugeda Junior, 2013; Ortiz; Amorim, 2013; Araújo et al., 2016; Amorim, 2018).

Dessa forma, o presente estudo buscou identificar, através da análise da relação da temperatura e umidade absoluta do ar com meio urbano e o tempo atmosférico, ambientes distintos dentro de Urban Climate Zones (UCZ). A escolha da Umidade Absoluta nesta pesquisa deve-se por esta não apresentar dependência da temperatura do ar, como a umidade relativa, bem como expressa o conteúdo de vapor d'água total de um determinado local em gramas de água por metro cúbico de ar (g/m³).

Material e procedimentos

O município de Espírito Santo do Pinhal localiza-se no interior do estado de São Paulo (Figura 1), com uma altitude de aproximadamente 880m, clima tropical de altitude (Alvares et al., 2013), característico por períodos chuvosos no verão, no qual a pluviosidade máxima observada é no mês de Janeiro (em torno de 260,0 mm), e secos

no inverno, no qual a pluviosidade mínima observada é no mês de Julho (em torno de 27,0 mm) com a temperatura média do mês mais quente superior a 22,0 °C¹. O uso do solo do município se caracteriza por baixa urbanização, principalmente por ser uma cidade pequena e conter uma população de 41.919 habitantes numa área de 389 km², sendo que 37.254 destas pessoas vivem na zona urbana e 4.665 na zona rural (IBGE, 2010).

Foram utilizados quatro Dataloggers Digital modelo HT-500 para a medição de temperatura e umidade relativa do ar. Este equipamento possui uma escala de 0 a 100% para UR com precisão de +/- 3% e de -40°C a 70°C para a temperatura com precisão de +/- 1,0°C. Além disso, foram utilizados quatro mini abrigos meteorológicos.

As posições geográficas dos diferentes setores foram obtidas por meio de GPS e as altitudes por meio de altímetro barométrico, porém este último fator não foi considerado nas análises, devido à pequena diferença entre os setores. Todos os equipamentos foram fornecidos pelo Laboratório de Biogeografia e Climatologia do Departamento de Geografia da FFLCH – USP.

Os abrigos utilizados foram desenvolvidos por Armani e Galvani (2006) com o intuito de reduzir os custos na compra de abrigos, estes foram inspirados no modelo 41003 10 - *Plate Gill Radiation Shield* (Campbel Inc.), que foi tomado como referência. E segundo estes mesmos autores o desempenho dos abrigos desenvolvidos é satisfatório, pois apresenta similaridade estatística nos dados quando comparados com os dados coletados pelo abrigo de referência.

Também foi feita a identificação da circulação atmosférica regional, a partir da análise de cartas sinóticas de superfície e de imagens de satélite GOES 12 para os períodos observados na área de estudo.

Foram escolhidos quatro pontos, de diferentes usos do solo, distribuídos pelo município para a instalação das mini estações meteorológicas, sendo classificados genericamente como setores: Bairro Carvalho Pinto (classe baixa), Bairro Jardim Universitário (classe alta), Bairro Centro (centro comercial), e Zona Rural.

Além da já descrita caracterização regional, faz-se necessária uma caracterização minuciosa do local estudado, uma vez que uma boa descrição dos arredores dos medidores possibilita relacioná-los com sua área de entorno (Oke, 2006).

¹ Fonte: CEPAGRI – Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/climas-dos-municipios-paulistas.html>
Gobo, J.P.A, Bibiano, B.H., Galvani, E.

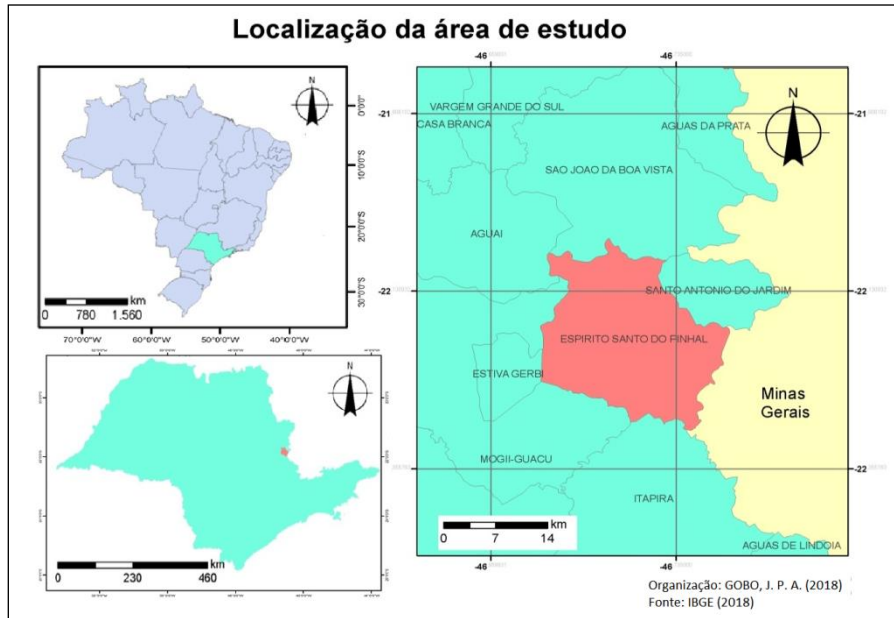


Figura 1. Mapa de localização do município de Espírito Santo do Pinhal - SP.

Assim, segundo Oke (2004, p.9):

“As características básicas mais importantes são a estrutura urbana (dimensões dos edifícios e os espaços entre eles, as larguras das ruas eo espaçamento das ruas), a cobertura urbana (construída, pavimentada, vegetada, solo nu, água), o tecido urbano (construção e materiais naturais) e o metabolismo urbano (calor, água e poluentes devidos à atividade humana).”

A partir dessa análise, a caracterização dos locais das estações climáticas urbanas deve levar em conta esses atributos descritos, utilizá-los na seleção de locais potenciais e incorporá-los em metadados que descrevam com precisão a configuração da estação.

O autor então propõe a formação de classes urbanas, com base no esquema de Ellefsen (1990), que descreve a estrutura urbana conforme a rugosidade do terreno, o fluxo de ar, acesso à radiação e rastreamento, por meio de um esquema de Zonas Climáticas Urbanas (Oke, 2004).

Logo, apresenta-se a seguir as informações dos setores estudados, os quais foram denominados Urban Climate Zone (UCZ), classificação sugerida por Oke (2004; 2006) que separa as diferentes ocupações do solo urbano em zonas climáticas

urbanas (Urban Climate Zones), áreas estas delimitadas conforme sua habilidade de impactar o clima local, ou seja, as áreas urbanas que têm características semelhantes são agrupadas formando uma UCZ.

No caso do presente estudo, as UCZs coincidem, quase que totalmente, com as delimitações dos bairros.

A UCZ1 (Figura 2) está localizada na periferia da malha urbana, corresponde ao bairro Carvalho Pinto que é predominantemente residencial e de classe baixa. As casas deste local são em sua maioria pequenas, bem agrupadas e com o telhado de cerâmica. A vegetação é muito escassa e quando ocorre são em pequenos arbustos. É inexistente a presença de edifícios e os sobrados também são raros. A UCL deste local tem uma altura média de 4,0 m, baseado principalmente na altura dos telhados. A mini estação meteorológica ficou instalada no quintal de uma residência bem representativa de todo o bairro e recebia radiação solar direta em praticamente todo o dia, com exceção dos períodos muito próximos da alvorada e do ocaso. Esta ficou na cota altimétrica de 840m e na coordenada UTM X 7.543.449m S e Y 319.218m E (Zona 23K).



Figura 2. Caracterização da UCZ 1.
Fonte: Gobo (2012).

A UCZ2 (Figura 3) também na periferia da malha urbana corresponde ao Jardim Universitário que é um dos bairros de mais alto padrão do município. As construções são residenciais, grandes e bem espaçadas, a presença de jardins e vegetação arbórea nas casas e calçadas é consideravelmente maior do que a UCZ1. Os telhados são de cerâmica e a presença de piscinas nos quintais é frequente. Não existem edifícios neste local. Contudo, a presença de sobrados é

frequente, além de algumas árvores de grande porte, o que confere a este local uma UCL média de 6,0 m. A mini estação ficou alocada em uma residência bem representativa de todo o bairro e provavelmente não recebia radiação solar direta nos períodos próximos da alvorada e a partir das 16h devido ao sombreamento proporcionado pela residência. Esta ficou na cota altimétrica de 840m e na coordenada UTM x 7.543.685m S e y 319.853m E (Zona 23K).



Figura 3. Caracterização da UCZ 2.
Fonte: Gobo (2012).

A UCZ3 (Figura 4) representada pelo centro comercial da cidade (Bairro Centro), está localizada no setor ocidental da malha urbana e totalmente “cercado” por esta. É neste setor que concentra a maior parte do comércio do município, no entanto, as construções residenciais são mais frequentes do que as comerciais. A presença de vegetação arbórea é pequena no bairro em geral, mas existe um pequeno fragmento florestal próximo da estação meteorológica. Os telhados metálicos e de fibrocimento são raros, com

predominância dos de cerâmica. O espaçamento entre as construções geralmente é pequeno, é inexistente a presença de terrenos “baldios” e os únicos sete edifícios existentes no município estão neste setor, porém longes do ponto de coleta de dados. É frequente a presença de sobrados. A UCL deste local é bem variável, desde 4,0 metros próximo das casas residenciais, até 10,0 a 12,0 metros próximo dos edifícios e área com maior comércio.



Figura 4. Caracterização da UCZ 3.
Fonte: Gobo (2012)

Por fim, na Zona Rural (Figura 5) com os trabalhos de campo e o auxílio de imagens de satélite (Google Earth) foi possível identificar os seguintes usos predominantes: pastos, cafeicultura, silvicultura e fragmentos florestais. A estação ficou alocada num gramado alto de um sítio no vale do rio acima citado e provavelmente recebia radiação solar direta em todo o fotoperíodo, com exceção

dos horários muito próximos da alvorada e do ocaso, devido aos sombreamentos causados pela vegetação e/ou morros. A estação ficou na cota altimétrica de 725m e nas coordenadas UTM x 7.537.476m S e y 323.252m E (Zona 23K). A distância entre a estação e o centro da cidade em linha reta é de 8 km.



Figura 5: Caracterização da Zona Rural.
Fonte: Gobo (2012).

As mini estações ficaram instaladas a uma altura de 1 m do solo, de modo que os valores registrados fossem representativos das características aéreas (das respectivas UCLs) e não das do solo, registrando a temperatura e umidade relativa do ar, instantâneas, de meia em meia hora durante os três dias antes até os três dias depois de cada efeméride de 2012, sendo eles 18 - 23 de março, 17 - 23 de junho, 19 - 25 de setembro e 18 - 24 de dezembro de 2012. Para cada efeméride foram realizados dois trabalhos de campo, um para a instalação dos equipamentos e outro para a retirada, totalizando em oito trabalhos de campo. Monteiro (1990) sugere que as medições devem ser realizadas nas quatro estações do ano, os dias apontados acima foram selecionados, pois

teoricamente representam o “ápice” das respectivas estações. Assim, para a análise dos dados, foram elaborados gráficos no software Excel com a média horária de cada setor durante os diferentes períodos, a fim de identificar o comportamento térmico médio de cada um deles.

Seguindo as orientações de Oke (2006), as estações ficaram localizadas em locais cercados pela ocupação típica dos setores e todas na mesma altura da estação localizada na área rural. Além disso, ficaram orientadas para o norte, de modo a facilitar a foto-documentação, com câmera fotográfica digital, e as consequentes análises das imagens.

Para a obtenção da umidade absoluta aplicou-se uma sequência de equações utilizando-se os dados já coletados, sendo elas:

$$e_s = 0,611 \times 10^{\frac{(7,5 \times Tar)}{(237,3 + Tar)}} \quad (1)$$

$$e_a = \frac{UR \times e_s}{100} \quad (2)$$

$$UA = 2168 \times \frac{e_a}{(273 + Tar)} \quad (3)$$

Onde:

e_s = pressão parcial exercida pelo vapor d'água em condição de saturação (kPa);

Tar = temperatura do ar (°C);

e_a = pressão parcial exercida pelo vapor d'água em condição real (kPa);

UR = umidade relativa (%);

UA = umidade absoluta (g/m³)

A análise desses dados foi abordada de maneira diferente das de temperatura. Assim, foi calculada a UA média de cada ambiente (setor) por período e elaborados gráficos de colunas, também no Software Excel, a fim de identificar a menor ou maior disponibilidade de vapor d'água na atmosfera de cada um deles.

A metodologia de análise dos dados está baseada em uma abordagem qualitativa dos fenômenos do clima, na tentativa de identificar e caracterizar os fatos ocorridos. As análises quantitativas aparecem com menor frequência e sempre como suporte as primeiras, assim como em Mendonça (1995).

As trocas de fluxos de energia e as características higrótérmicas numa superfície urbana ocorrem no interior de um volume que envolve essa superfície (UCL) (Oke, 2006; Machado, 2009). A fim de quantificar o volume de água presente na UCZ1 e UCZ2, para uma comparação relativa, foi selecionada uma área superficial igual para os dois setores (200x300m), de modo que coubesse dentro deles, e multiplicou-as pelas suas respectivas alturas de UCL. A ideia é projetar um paralelepípedo de mesma área de base, dentro dos dois setores, porém cada um com a altura de sua respectiva UCL e assim identificar a quantidade de água que cada ambiente (UCZ) dispõe numa mesma área basal. Obtidos os volumes de ar dentro das UCZ1 e UCZ2 e com a UA já calculada, pode-se calcular o volume de água (em litros) presente em cada uma delas a fim de demonstrar na prática a diferença entre eles. A

seguir apresenta-se a sequência de equações utilizadas.

$$V_{Ar} = l \times l \times h \quad (4)$$

$$V_{Água} = (UA \times V_{Ar})/1000 \quad (5)$$

Onde:

V_{Ar} = Volume de ar dentro do paralelepípedo (m³);

l = Lado do paralelepípedo (m);

h = Altura da UCL (m);

$V_{Água}$ = Volume de água dentro do paralelepípedo (L);

UA = Umidade Absoluta (g/m³).

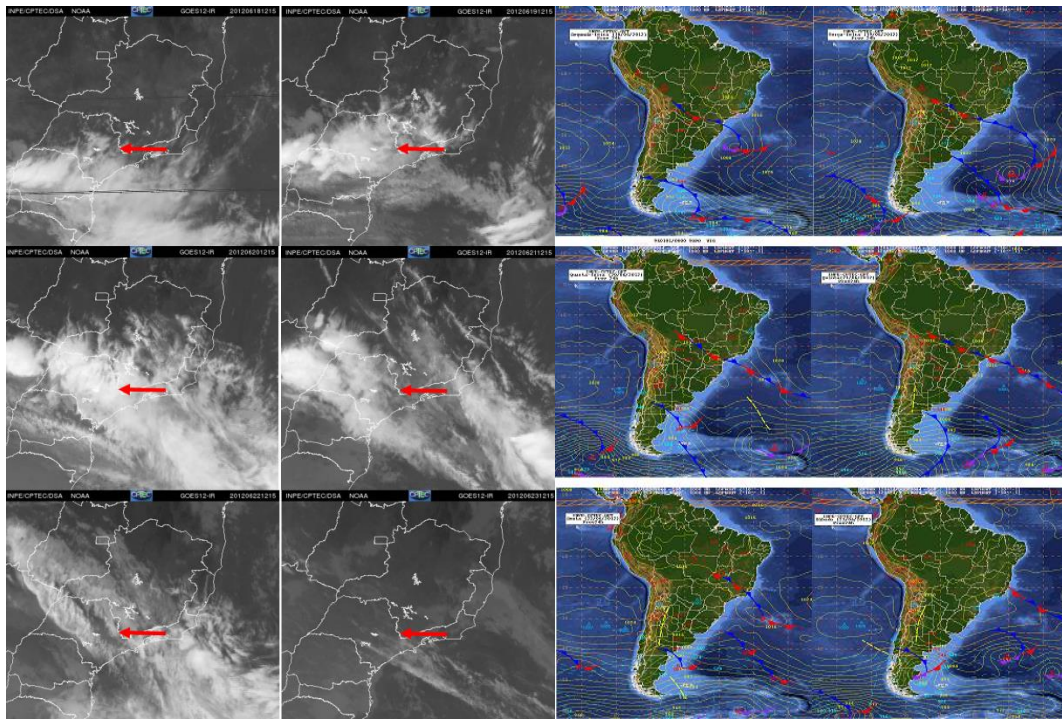
A segunda equação foi dividida por 1000 para que o valor resultasse em litros (L). A UCL foi estimada (conforme expressa no item 'Caracterização da Área de Estudo') através de trabalhos de campo de maneira visual e através de comparações com objetos de altura conhecida. As equações acima citadas foram aplicadas para todos os períodos e seus resultados serão expressos posteriormente em uma tabela.

Resultados e discussão

Para uma melhor análise e compreensão dos resultados obtidos, faz-se necessária a identificação da circulação atmosférica regional em cada período de coleta de dados, pois as escalas atmosféricas micro e local estão diretamente relacionadas à escala regional (Gobo; Galvani; Wollmann, 2018). Assim, a seguir discorre-se brevemente sobre os sistemas atuantes na região durante os períodos de coleta.

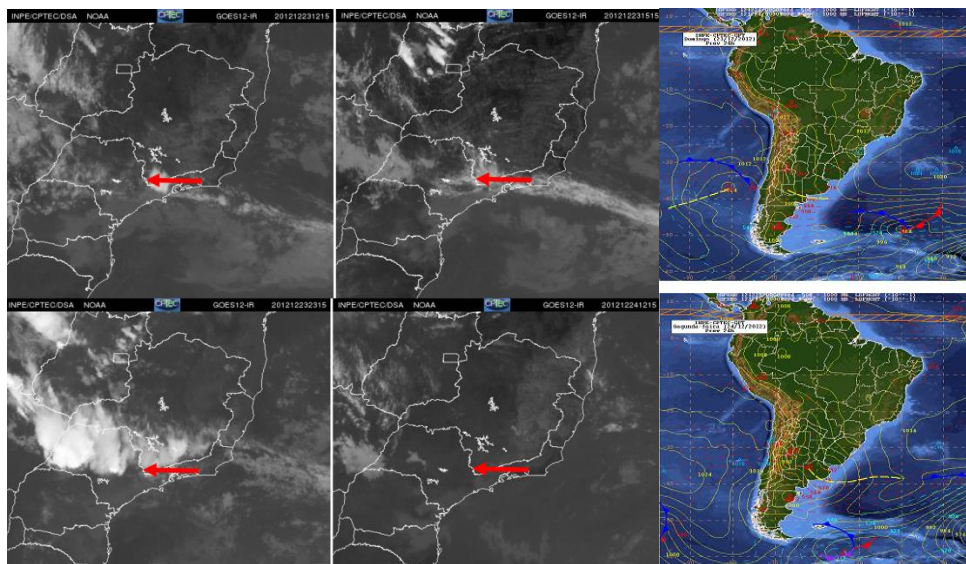
A primeira coleta de dados ocorreu no mês de março, conforme mencionado anteriormente. E durante as medições a região sudeste apresentava-se com uma estiagem (CPTEC, 2012), e predominava a atuação da Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul, a qual favorece elevadas temperaturas e reduzida umidade do ar principalmente durante as horas de brilho solar.

No mês de junho, durante a segunda coleta de dados, também predominava a Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul, porém, no dia 19 chegou uma frente fria que abrangeu praticamente todo o Estado de São Paulo e se manteve estacionária até o dia 22. Posteriormente apresenta-se uma sequência de imagens do satélite Goes 12 na faixa espectral do infravermelho e das castas sinóticas de superfície da região Sudeste (Figura 6 e Figura 7), contendo a passagem da respectiva frente.



← - localização aproximada das estações meteorológicas.

Figura 6. Passagem da frente fria nos dias 18 - 23/06/2012 às 12h15min (UTC 00). Fonte: INPE, 2012.



← - localização aproximada das estações meteorológicas.

Figura 7: Evolução da camada de nuvens do dia 23/12/2012 às 12h15min, 15h15min, 23h15min e do dia 24/12/2012 às 12h15min (UTC 00). Fonte: INPE, 2012.

Quando uma frente fria, mais precisamente a faixa de nuvens gerada por ela, se estabelece em um determinado local, as amplitudes térmicas e higrométricas são reduzidas, no qual as temperaturas têm predomínio de valores relativamente mais baixos e a umidade relativa de valores mais altos, além disso, a radiação solar global é reduzida (Galvani; Azevedo, 2003). Ainda segundo estes autores, em condições pré-frontais, há o predomínio de tempo estável e temperaturas relativamente mais altas, e em pós-frontais há o

predomínio de temperaturas mais baixas, porém com alta transmissividade atmosférica.

Durante o mês de setembro, segundo o CPTEC (2012), ocorreu a passagem de três frentes frias em apenas sete dias, coincidindo com o período da terceira coleta. Assim, o tempo meteorológico predominante foi a alternância de condições pré e pós-frontal.

No mês de dezembro durante a última tomada de dados, foi comum a ocorrência de chuvas convectivas de meio à final de tarde, sendo que frequentemente o dia amanhecia com poucas

nuvens, em torno do meio dia a nebulosidade aumentava significativamente, reduzia no fim da tarde e o dia seguinte amanhecia de novo com poucas nuvens.

Para as análises das dinâmicas térmicas e higrométricas das UCZs optou-se por uma análise integrada que se refere a todos os gráficos gerados, pois estes apresentam comportamento muito similar nas quatro estações do ano, o que se diferencia são os valores absolutos e as amplitudes entre eles. Assim, a seguir apresenta-se as discussões referentes às temperaturas seguidas dos respectivos gráficos (Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11) e posteriormente faz-se o mesmo para as umidades relativas (Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15).

Entre as três UCZs, verifica-se que no período diurno elas apresentam-se com temperaturas similares, com exceção da UCZ1 que sempre mostra temperaturas mais elevadas..

No período noturno verifica-se que a UCZ2 apresenta, quase sempre, temperaturas superiores do que as outras. Normalmente espera-se que a UCZ com maior grau de urbanização apresente as temperaturas mais elevadas, não foi o que ocorreu durante a noite. Infere-se que este fato está relacionado à somatória de condicionantes ambientais que tendem a manter as temperaturas, ou seja, a UCZ2 provavelmente tem a maior evapotranspiração entre as três, pois conforme suas

características descritas anteriormente, ela apresenta maior superfície úmida e melhor circulação dos ventos locais, os quais favorecem a evapotranspiração e conseqüentemente maior quantidade de vapor na atmosfera, o qual tem a característica de estabilizar as temperaturas (Conti, 1998). Outro fato que reforça a maior presença de umidade neste setor é que quase sempre esta UCZ apresenta as menores temperaturas diurnas entre as três, ou seja, relação com o efeito estabilizador da umidade. Além disso, Machado (2009) salienta que setores arborizados costumam apresentar amplitudes térmicas reduzidas. Da mesma maneira que a malha urbana pode influenciar nas características atmosféricas de fragmentos florestais, o oposto também é verdadeiro. Pois a UCZ3 apresentou as menores temperaturas noturnas entre as três. Este fato foi associado à influência de um pequeno fragmento florestal próximo a ela, que provavelmente apresenta menores temperaturas.

Os períodos de outono e inverno, representados nas figuras 8 e 9, respectivamente, foram os que apresentaram as maiores diferenças térmicas entre os ambientes, sendo o de inverno o maior deles. Isso ocorreu devido às condições de tempo favoráveis, ou seja, atmosfera estável, baixa umidade e alta radiação solar.

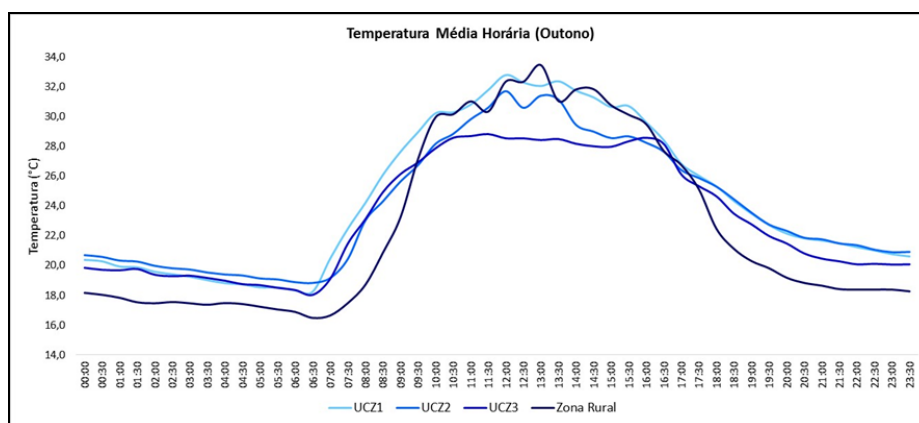


Figura 8. Temperatura média horária do ar dos pontos de medição (Outono).

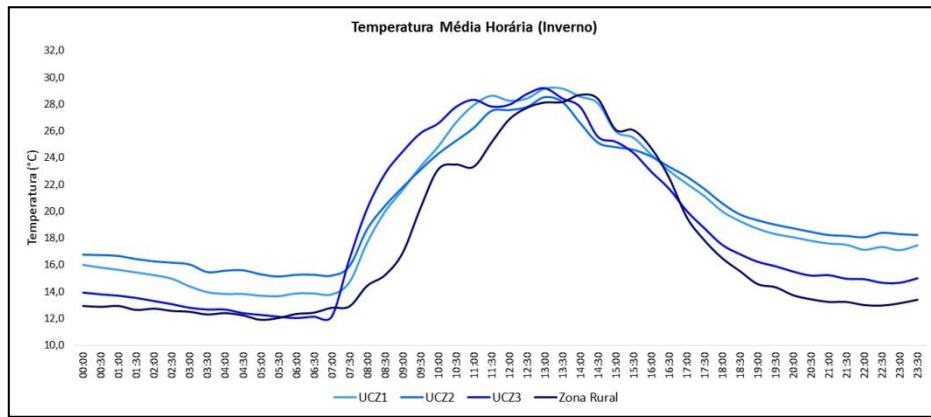


Figura 9. Temperatura média horária do ar dos pontos de medição (Inverno).

Na primavera e verão, representados pelas figuras 10 e 11, respectivamente, as diferenças térmicas entre os setores foram menores devido às condições de tempo desfavoráveis, ou seja, instabilidade atmosférica e intensa nebulosidade. As três frentes frias que passaram durante o período referente à primavera fizeram com que as diferenças entre os setores, apesar de existentes, fossem muito baixas, sendo as menores de todos os períodos. No verão, o que diminuiu as diferenças foram as recorrentes chuvas convectivas. Além

disso, nota-se que os picos de temperatura dos setores ocorreram em torno das 10h30min e 11h30min, fato que foi associado ao aumento da nebulosidade a partir das 12h, reduzindo a incidência de raios solares. Outra ocorrência verificada, também no período referente ao verão, foi que ocorreu um decréscimo na temperatura, seguida por um acréscimo, entre as 15h e 16h aproximadamente, essa ocorrência foi associada às precipitações convectivas de fim de tarde.

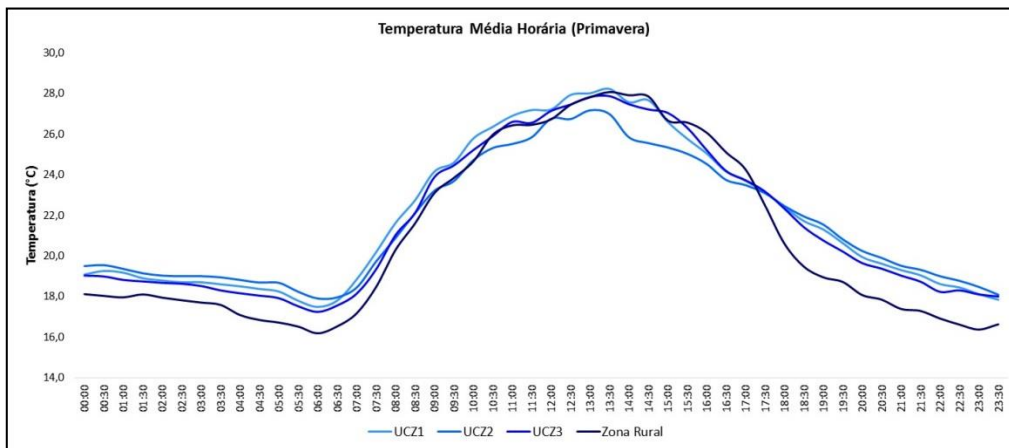


Figura 10. Temperatura média horária do ar dos pontos de medição (Primavera).

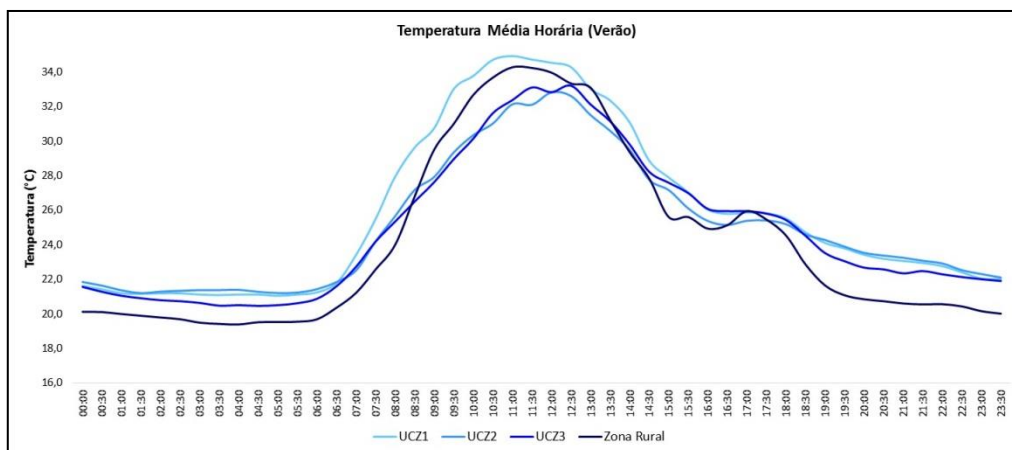


Figura 11. Temperatura média horária do ar dos pontos de medição (Verão).

A seguir apresenta-se a tabela 1, na qual constam as maiores diferenças térmicas encontradas em cada período de coleta, além de mostrar em qual setor ocorreu e seus valores, o horário, a data e a estação do ano. Através desta é possível verificar que os valores

absolutos são similares às médias previamente apresentadas, ou seja, os maiores contrastes ocorrem entre a UCZ2 e a Zona Rural e apresentam-se maiores no inverno, seguido pelo outono, assim como mostra os gráficos das médias.

Tabela 1. Valores das diferenças térmicas encontradas por estação do ano.

| Estação do Ano | Setor | Valor | Setor | Valor | Data | Horário | Diferença |
|----------------|-------|---------|-------|---------|--------|----------|-----------|
| Outono | UCZ2 | 21,1° C | Rural | 16,4° C | 18/mar | 21h00min | 4,7° C |
| Inverno | UCZ2 | 20,1° C | Rural | 13,3° C | 19/jun | 04h30min | 6,8° C |
| Primavera | UCZ2 | 15,6° C | Rural | 11,3° C | 21/set | 23h00min | 4,3° C |
| Verão | UCZ2 | 24,3° C | Rural | 20,5° C | 22/dez | 22h00min | 3,8° C |

Além disso, a temperatura média também foi incluída para facilitar as análises, já que a UA é diretamente proporcional a temperatura. Devido à utilização de médias, a diferença entre os setores apresenta-se pequena, entretanto é considerada suficiente para obter resultados e inferir hipóteses. Os dias referentes à ocorrência da frente fria estacionária também foram retirados na construção destes gráficos.

O que se verifica de imediato, é que as UAs das UCZs são menores do que todas as outras, mesmo suas temperaturas sendo maiores, o que indica uma restrição hídrica para evapotranspiração, o que ocorre com menor intensidade nos outros setores devido à maior presença de vegetação. Assim, enquanto antes pensava-se na existência de uma “ilha seca” devido

à menor UR das UCZs, agora com o cálculo das UAs se confirma a ocorrência de uma ilha seca na malha urbana da área de estudo.

Em todos os períodos, com exceção do de inverno, verifica-se que a UCZ3 apresenta temperatura reduzida e UA elevada quando comparada com as outras UCZs, esta ocorrência esta, muito provavelmente, associada à advecção do ar do interior do fragmento próximo a UCZ3 em direção a este.

De maneira geral, é possível notar que as temperaturas e principalmente as UAs são elevadas no verão e reduzidas no inverno, fato associado à maior declinação solar e redução das chuvas no período de inverno e o oposto no verão. O outono e primavera como estações de “transição” apresentam valores intermediários.

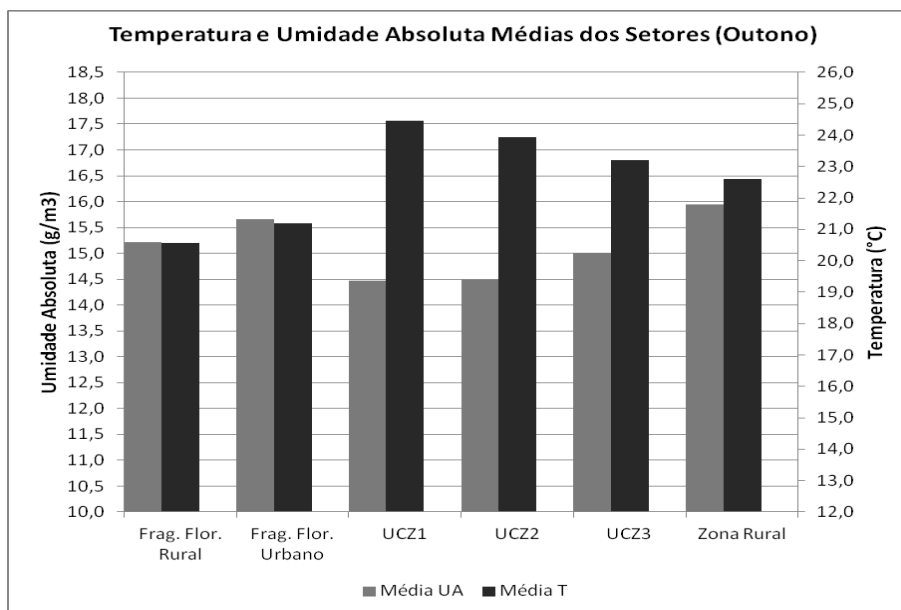


Figura 12. Temperatura e umidade absoluta médias dos setores no período de outono.

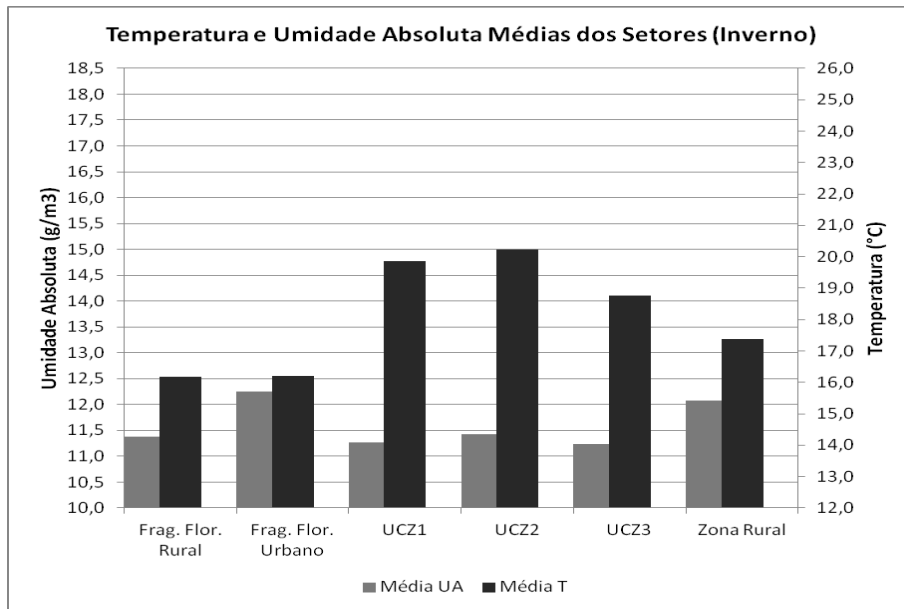


Figura 13. Temperatura e umidade absoluta médias dos setores no período de inverno.

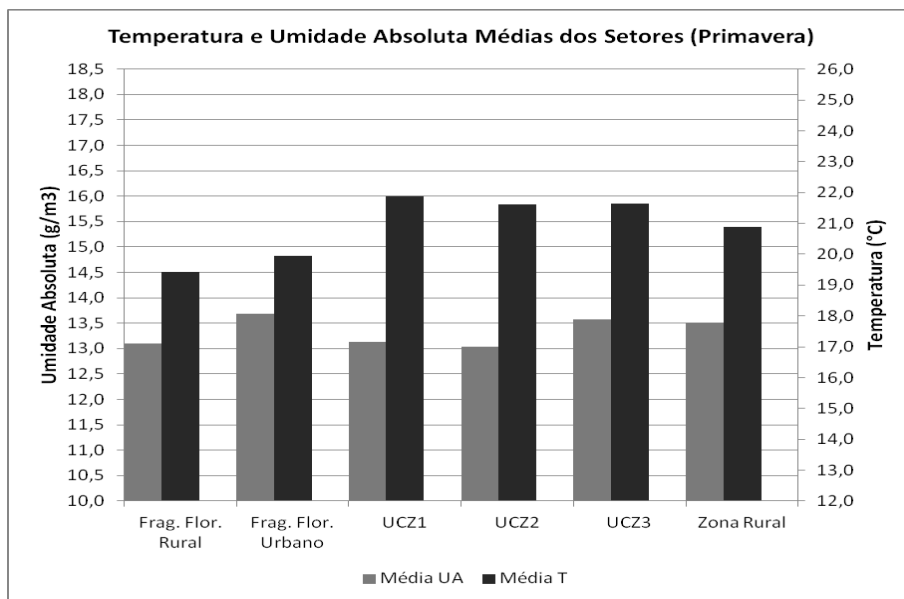


Figura 14. Temperatura e umidade absoluta médias dos setores no período de primavera.

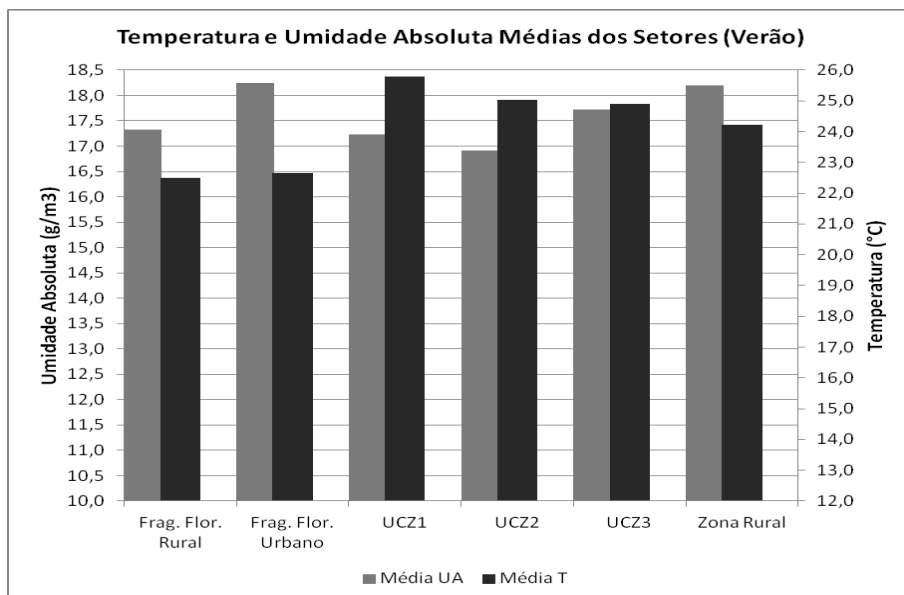


Figura 15: Temperatura e umidade absoluta médias dos setores no período de verão.

Devido à ocorrência atípica verificada ao longo desse trabalho, na qual as temperaturas mais elevadas ocorrem no bairro menos adensado e com maior concentração de vegetação (UCZ2) e a fim de comprovar a hipótese proposta anteriormente, na qual o vapor d'água seria um fator extra na manutenção de temperaturas noturnas elevadas, discorre-se a seguir algumas proposições e ideias sobre esse tema.

Durante o período referente ao outono, mesmo a temperatura média da UCZ1 sendo maior do que a da UCZ2, a UA da primeira não consegue atingir um valor superior ao da segunda, o que indica a provável restrição de água no sistema. Já

no período de inverno, a umidade absoluta da UCZ2 responde ao seu aumento de temperatura, em relação à UCZ1. No verão e primavera, quando a disponibilidade de água para atmosfera não advém apenas da capacidade do ambiente (UCZ) em armazenar e liberar água, ou seja, advém principalmente das chuvas frequentes, a UA da UCZ1 consegue ultrapassar a da UCZ2.

Todavia, esses valores expressam a quantidade de água em um metro cúbico de ar, e tão importante quanto isso, é a umidade presente na UCL como um todo. Com relação aos volumes de água calculados para a UCZ1 e UCZ2 elaborou-se a seguinte tabela (Tabela 2).

Tabela 2. Volume de água obtido através de paralelepípedo projetado dentro das UCZ1 e UCZ2.

| Volume de água | UCZ1 | UCZ2 | Diferença | UCZ2>UCZ1 (%) |
|----------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Outono | 3480 Litros | 5220 Litros | 1740 Litros | 33,4 |
| Inverno | 2712 Litros | 4104 Litros | 1392 Litros | 34,0 |
| Primavera | 3144 Litros | 4680 Litros | 1536 Litros | 32,9 |
| Verão | 4128 Litros | 6084 Litros | 1956 Litros | 32,2 |

Lembrando que a ideia não é calcular o volume de água num mesmo volume de atmosfera (ar), mas sim a capacidade de armazenamento de vapor d'água das duas UCZs numa mesma área basal. Assim, verifica-se que a quantidade de água presente na UCZ2 é superior àquela da UCZ1. O vapor d'água, sendo parte dos aerossóis atmosféricos, desenvolve importante papel na reemissão de ondas longas (Machado, 2009). Essa energia térmica está diretamente relacionada a manutenção de temperaturas elevadas durante o período noturno, ou seja, durante o dia o sol evapora a água da superfície e durante a noite quando o vapor d'água se condensa libera energia (calor) para o ambiente, além disso, as gotículas de água servem como emissoras de ondas longas (energia térmica) que ocasionalmente são liberadas pelas superfícies. Como esse processo é mais intenso na UCZ2, devido à maior disponibilidade de água no ambiente, a taxa de resfriamento noturno acaba sendo menor, ocasionando consequentemente temperaturas elevadas.

Com os resultados da tabela acima, nota-se também que a maior diferença de vapor atmosférico ocorre no período de inverno seguido pelo outono, primavera e por último o verão.

Considerações finais

A técnica de análise do clima urbano a partir do método da UCZ mostrou-se eficiente e adequado para o presente estudo, como observado nos resultados encontrados, onde verificou-se uma maior vulnerabilidade térmica no bairro menos

adensado e com maior concentração de vegetação (UCZ2), no qual foram observadas as temperaturas mais elevadas.

Porém, a UCZ1, apesar de não apresentar os valores de temperatura mais elevados, é o bairro de mais baixo padrão e, por isto, o mais vulnerável economicamente, o que instiga novos estudos para averiguar o impacto do micro clima urbano desta UCZ na população local, a partir de uma análise do conforto e da sensação térmica dos moradores.

Verificou-se que cada uso e ocupação do solo têm uma habilidade de alteração higrótérmica local e que a intensidade dessa alteração está diretamente relacionada com as condições de tempo meteorológico, ou seja, quanto mais estável for a atmosfera e maior a incidência de raios solares na superfície, maior será a diferença entre eles.

A maior diferença de temperatura encontrada foi de 6,8° C entre a Zona Rural e a UCZ2 durante uma madrugada de inverno. Já as diferenças entre as umidades relativas se manifestam diuturnamente e a maior diferença encontrada foi de 33%, também numa madrugada de inverno entre os dois setores acima citados.

Observou-se que o fragmento florestal rural apresentou-se quase sempre com temperatura mais reduzida e com maior umidade relativa durante o período noturno.

Notou-se que a UA contribuiu para as variações entre os diferentes setores, sendo que as temperaturas mais elevadas não ocorreram no setor mais urbanizado, mas sim num setor que somava características rurais (UA) e antrópicas

(urbanização) de retenção de calor noturno. Apesar de a maior quantidade de árvores presentes na UCZ2 ter provavelmente contribuído na manutenção do calor noturno, quando essa quantidade é significativa (ao ponto de formar um dossel, por exemplo), provavelmente reduz a temperatura noturna, como indica ter ocorrido na UCZ3.

A pesar de os métodos e técnicas aqui apresentados terem sido satisfatórios para a conclusão desta pesquisa, ainda são necessários novos estudos relacionados ao uso da técnica de UCZs em cidades de pequeno porte buscando uma melhor compreensão dos padrões climáticos urbanos e, principalmente, relacionando estes aos aspectos referentes ao conforto térmico humano e a vulnerabilidade sócio ambiental destas populações.

Referências

- Alves, W.S., Mariano, Z.F., 2015. A distribuição espacial da temperatura e umidade relativa do ar máxima e mínima absoluta: um estudo de caso em Iporá/GO. *Revista Formação* 2, 192-221.
- Alcoforado, M. J., Andrade H., 2006. Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): Main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology* 84, 151-159.
- Amorim, M.C.C.T., Dubreuil, V., Quenol, H., Sant'anna Neto, J.L., 2009. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). *Confins (Paris)* 7, 1-16.
- Amorim, M.C.C.T., 2013. O clima urbano a partir do sensoriamento remoto e de registros da temperatura do ar. In: XIV Encuentro de Geógrafos da América Latina: reencuentro de saberes territoriales latinoamericanos. *Anais. Lima/Peru: UGI. XIV*, pp. 1-18.
- Amorim, M.C.C.T., Dubreuil, V., 2017. Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. *Climate* 5, 91-104.
- Amorim, M.C.C.T., 2018. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 9, 10-16.
- Araujo, E.D.S., Silva, J.B., Machado, C.C.C., 2016. Identificação de Ilhas de Calor na Cidade de Campina Grande-PB utilizando Sensoriamento Remoto. *Rev. Bras. Geogr. Física* 9, 614-626.
- Barbosa, R.V.R.; Vecchia, F.A.S., 2009. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat 7 Etm+: estudo de caso em São Carlos (SP). *Rev. Minerva* 6, 273-278
- Barros, H.R., Lombardo, M.A., 2012. A Relação entre ilhas de calor urbana, ocupação do solo e morfologia urbana na cidade do Recife. *Rev. Geonorte. Ed. Espec. 2*, 65-76.
- Barry R.G., Chorley R.J., 2013. *Atmosfera tempo e clima*. ed.9, Bookman, Porto Alegre.
- Cardoso, R., Dorigon, L., Teixeira, D., Amorim, Amorim, M.C.C.T., 2017. Assessment of Urban Heat Islands in Small- and Mid-Sized Cities in Brazil. *Climate* 5, 14-1-13.
- Dorigon, L.P., Amorim, M.C.C.T., 2013. Estrutura térmica da superfície de Paranaíba/PR através do Landsat 7. *Cad. Prud. Geogr. 2*, 110-129.
- Ellefsen, R., 1990. Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities. *Energy & Buildings* 16, 1025-1049.
- Feitosa, S.M.R., Gomes, J.M.A., Moita Neto, J.M., Andrade, C.S.P., 2011. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina – Piauí. *Rev. Soc. Bras. Arborização Urbana* 6, 58-75.
- Hutcheon, R.J., Johnson, R.H., Lowry, W.P., Black, C.H., Hadley, D., 1967. Observations of the urban heat island in a small city. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 48, 7-9.
- Gobo, J.P.A., Alves, R.R., Silveira, T.S., Onça, D.S., Monteiro, L.M., Wollmann, C.A., Galvani, E., 2017. A influência do vento regional na sensação térmica de pedestres em espaços urbanos abertos: estudo de caso do vento norte em Santa Maria-RS. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise* 40, 110-129.
- Gobo, J.P.A., Galvani, E., Wollmann, C.A., 2018a. Influência do clima regional sobre o clima local a partir do diagnóstico de abrangência espacial e extrapolação escalar. *Revista Brasileira de Climatologia* 22, 210-228.
- Gobo, J.P.A., Galvani, E., Wollmann, C.A., 2018b. Subjective human perception of open urban spaces in the Brazilian subtropical climate. *Climate* 6, 1-12.
- Kopec, R., 1970. Further observations of the urban heat island in a small city. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 51, 602-606.
- Masiero, E.; Souza, L.C.L., 2013. Variação de umidade absoluta e temperatura do ar intraurbano nos arredores de um corpo d'água. *Ambient. Constr.* 13, n.4, 25-39.
- Oke, T.R., 2004. Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at Urban Site, Instruments and Observing Program. IOM Report, 81.
- Oke, T.R., 2006. Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology* 84, 179-190.

Ortiz, G. F.; Amorim, M.C.C.T., 2013. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), temperatura da superfície e do ar na cidade de Tarumã/SP. In: XIV Encuentro de Geógrafos de América Latina: reencuentro de saberes territoriales latinoamericanos. Anais... Lima/Peru: UGI. XIV, p.1–20.

Porangaba, G.F.O., Teixeira, D.C.F., Amorim, M.C.C.T., 2017. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. Revista Brasileira de Climatologia 21, 225-247.

Ugeda Junior, J.C., 2013. Correlação entre a temperatura da superfície e temperatura do ar na cidade de Jales-SP. in: Amorim, M.C.C.T., Sant'anna Neto, J.L., Monteiro, A., (Org.), Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: ed. Outras Expressões 1, 291–316.