

Ilhas de calor em evidência na cidade de Teresina-PI

Heat islands in evidence in the city of Teresina-PI

*Kleyson Campêlo de Araújo¹
Carlos Sait P. de Andrade²*

RESUMO: As cidades apresentam condições capazes de alterar o clima da baixa atmosfera, limite da borda climática, convencionalmente chamado de clima urbano. O estudo de sistemas complexos como o clima urbano depende da análise dos produtos gerados. Nesta pesquisa, foram escolhidas as ilhas de calor como produto do subsistema termodinâmico a ser estudado e a cidade de Teresina, capital do estado do Piauí, como espaço a ser investigado. As mensurações, divididas em seis episódios, foram feitas no mês de outubro de 2013 e evidenciaram ilhas de calor em diversos pontos da cidade. Os resultados estão associados a características da urbe teresinense e à circulação atmosférica regional.

ABSTRACT: The cities have situations capable of changing the lower atmosphere's climate - climate border limit - conventionally called urban climate. The study of complex systems such as urban climate depends on the analysis of the generated products. In this research, heat islands were chosen as a product of the thermodynamic subsystem to be studied, and the city of Teresina, capital of Piauí state, as space to be investigated. Measurements divided in six episodes conducted in October of 2013 showed heat islands in various parts of the city. The results are associated with Teresina's characteristics and its regional air circulation.

PALAVRAS-CHAVE: Espaço urbano. Ilhas de calor. Teresina-PI.

KEYWORDS: Urban climate. Heat islands. Teresina-PI.

I – INTRODUÇÃO

Lombardo (1985, p. 24) define ilha de calor como “uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas”. Entre

1 Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí, professor na rede particular de ensino. E-mail: kleysoncampelo@hotmail.com

2 Professor da Universidade Federal do Piauí. E-mail: carlossait@hotmail.com

as causas apontadas por ela para o surgimento das ilhas de calor, estão a redução da evaporação, que decorre do aumento da rugosidade, e as propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais pavimentados. Amorim (2010, p. 73) define ilhas de calor como “bolsões de ar quente decorrentes da capacidade diferenciada dos materiais encontrados na superfície de armazenar e refletir energia solar”. Sobre o padrão das construções na formação dessas ilhas, Mascaró (1996, p. 42) acrescenta que “a forma e a posição das edificações são mais importantes que a distância percorrida pelo vento sobre a cidade”.

A ilha de calor corresponde a uma anomalia climática em micro-escala (MASCARÓ, 1996). Segundo Oke (1987, p. 274), a cidade forma uma camada limite, isto é, o limite da influência da urbanização no clima da baixa atmosfera. A singularidade climática, associada à natureza da urbe, forma um “ar comprometido” capaz de diferenciar essa realidade do entorno ou zona rural, isso acontecendo em mesoescala. Adentrando o interior da camada limite, tem-se o dossel urbano, que, por sua vez, é formado por um “amálgama de microclimas”. O diretor do dossel urbano é o cânion urbano, área cercada por edifícios verticais que lembra um perfil geomorfológico em forma de garganta e que pode influenciar na concentração de poluentes no ar e na formação de ilhas de calor (MONTEIRO, 1990).

O presente trabalho tem como objetivo principal mapear ilhas de calor na cidade de Teresina, capital do estado do Piauí, localizada na região do Nordeste brasileiro, situada a 5º 06' 10" de latitude sul e 42º 46' 50" de longitude oeste (Figura 1).

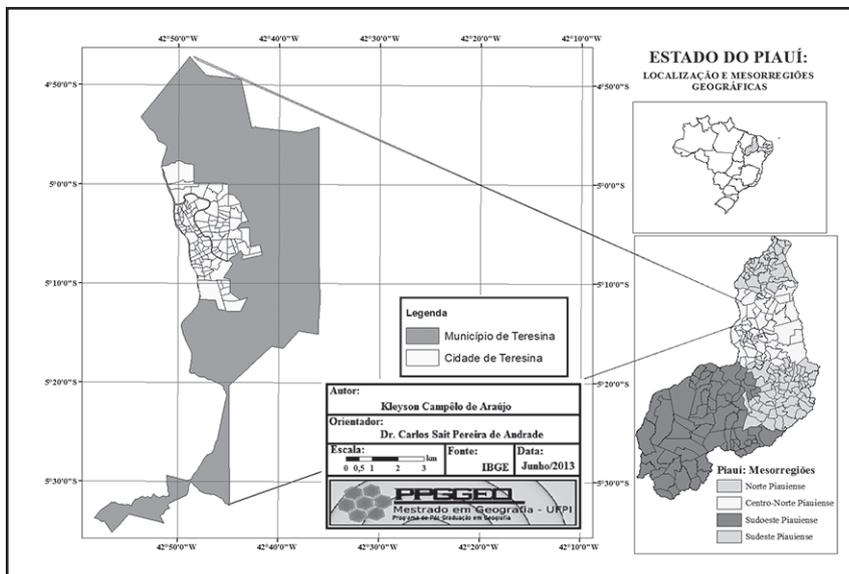
2 – REFERENCIAL TEÓRICO

O estudo do clima condicionado por uma organização espacial complexa, como a cidade, precisa de um arcabouço teórico capaz de dar conta dessa realidade. A aplicação da Teoria Geral dos Sistemas, de Ludwig Von Bertalanffy, e da Cibernética aos estudos de climatologia urbana feitos por Monteiro (1976), atende ao que aqui se propõe. Essa correlação resultou na Teoria e Clima Urbano, materializada em sua tese de doutoramento na Universidade de São Paulo. A consistência e a viabilidade de aplicação da Teoria e Clima Urbano são evidenciadas na quantidade de trabalhos apresentados, que, inclusive, transcendem os campos da ciência geográfica. A análise rítmica e a possibilidade de articular diferentes escalas de abordagem são duas razões que justificam sua importância no meio científico.

A geografia, em particular, requer a compreensão do clima derivado do homem ou das alterações impostas por ele ao meio físico, notadamente nos ambientes urbanos. Monteiro (1976, p. 96), no terceiro enunciado de sua teoria, ao descrever o fluxo de energia solar dentro do que denominou de Sistema Clima Urbano (SCU), pontua que as “ilhas de calor e a poluição atmosférica são as mais eloquentes” evidências das

transformações na baixa troposfera impostas pela urbanização. As ilhas de calor inseridas no subsistema termodinâmico correspondem aos produtos do SCU escolhidos para o estudo neste trabalho.

Figura 1 – Mapa da localização da Mesorregião Centro-Norte



Fonte: Araújo, 2014.

Amorim (2005a, 2005b, 2010), Lima (2011), Ugeda Jr. (2011) e Ortiz (2011) desenvolveram estudos de climatologia urbana, embasados na Teoria dos Sistemas e Teoria e Clima Urbano, que são referência para esta pesquisa.

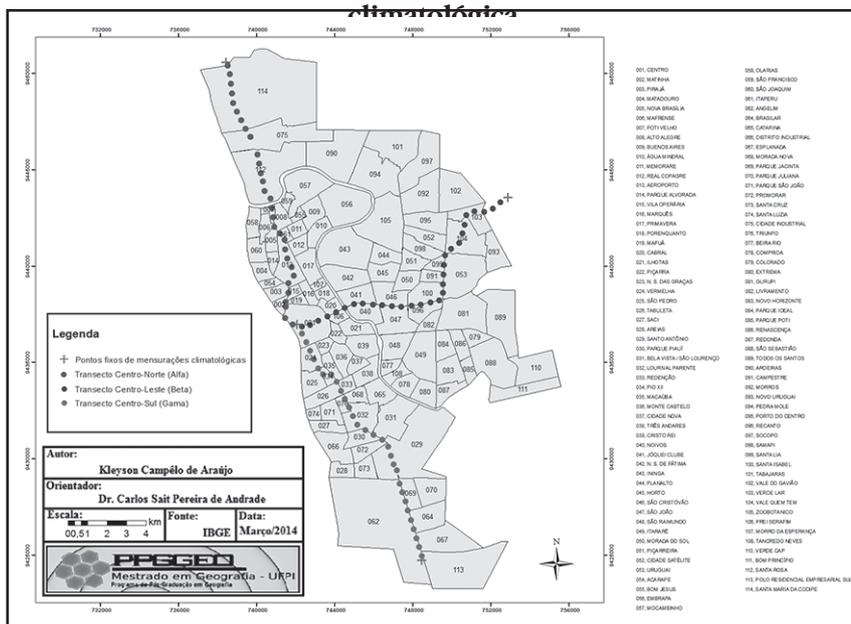
3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo do subsistema termodinâmico de uma cidade necessita de procedimento metodológico específico, pois as cidades apresentam situações arquitetônicas complexas e singulares, como dito anteriormente. O procedimento metodológico adotado no mapeamento das ilhas de calor de Teresina foi adaptado de Amorim (2005a, 2005b, 2010), Lima (2011), Ugeda Jr (2011) e Ortiz (2011), podendo ser dividido em quatro etapas: revisão bibliográfica, análise cartográfica e reconhecimento in loco sintetizam a primeira etapa. A revisão bibliográfica acerca da temática urbana encaminhou a análise cartográfica. A carta topográfica DSG do município, em escala 1:100.000, foi combinada com o mapa em escala maior, 1:25.000, de uso e ocupação

de terras da cidade, fornecido pela Secretaria Municipal de Planejamento da Prefeitura de Teresina. Em campo, foram avaliados áreas de expansão urbana horizontal e vertical, espaços de amenidades, áreas com maior e menor adensamento de construções, avenidas com e sem arborização e aspectos geoecológicos, entre outros fatores.

A distribuição espacial dos pontos de mensurações climatológicas e a escolha da sazonalidade dos episódios correspondem à segunda etapa do procedimento metodológico, em decorrência da primeira. A coleta de dados de temperatura do ar atmosférico, umidade relativa do ar e velocidades dos ventos contou com quatro pontos de medições fixos, sendo um na Igreja Nossa Senhora do Amparo no bairro Centro e três nos extremos norte, leste e sul da cidade de Teresina (Figura 2).

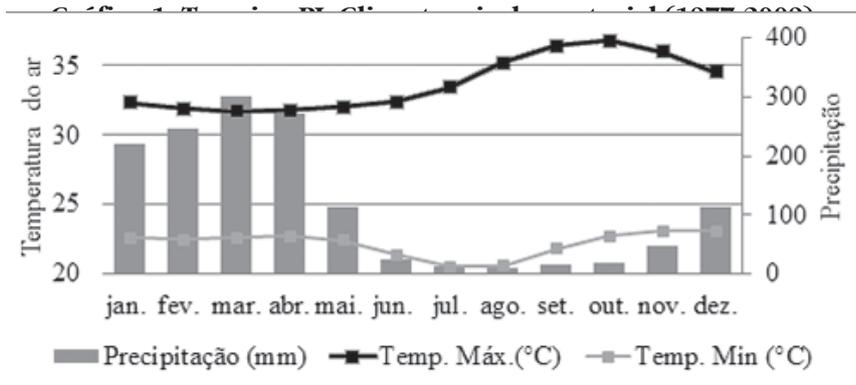
Figura 2. Mapa da distribuição dos pontos de mensurações



A pesquisa conta também com mensurações móveis. Sobre a carta de uso e ocupação das terras, foram traçados três segmentos, partindo do centro da cidade de Teresina. As direções desses transectos móveis seguiram o padrão radial nos sentidos Centro-Norte, Centro-Leste e Centro-Sul até os extremos urbanos. Três carros percorreram, simultaneamente, esses segmentos, aferindo temperaturas do ar e umidade relativa do ar, em intervalos de 500m. Noventa pontos foram distribuídos ao longo desses segmentos. Os

horários de medições móveis coincidem com os dos pontos fixos (Figura 2).

Teresina tem clima tropical-equatorial, com seis meses secos (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). A análise das normais climatológicas dos últimos 30 anos mostra que os meses de março e outubro apresentam sazonalidades paradoxais. Março é o mês com maior umidade e menor temperatura, ao passo que outubro é o mais quente e o menos chuvoso (Gráfico 1).



Fonte: Adaptado de Feitosa (2010). Elaboração Kleyson Araújo.

A estabilidade atmosférica é condição ideal para o mapeamento de ilhas de calor (AMORIM, 2005a, 2005b). Partindo desse princípio, a escolha dos seis episódios no mês de outubro, em intervalos de um e dois dias, visou a superar imprevistos quanto a mudanças no estado atmosférico. Foram constatados ainda efeitos de maior temperatura e menor umidade para o clima da cidade de Teresina. As mensurações foram feitas nos dias 17, 19, 22, 24, 26 e 29 de outubro de 2013, tendo sido seguido o horário padrão da Organização Mundial de Meteorologia e do Instituto Nacional de Meteorologia, ou seja, 9h, 15h e 21h (1200, 1800 e 0000 UTC).

A compilação dos dados climatológicos mensurados em campo e a produção de trinta e seis cartas de isotermas e isoígras resumem a terceira etapa do procedimento metodológico. Foram usados o programa Microsoft Office Excel Enterprise 2007 para compilar os dados e o software ArcGIS 10.1, de domínio da empresa ISRI, para construção das cartas de isotermas e isoígras. Foram visualizadas as variações da temperatura do ar atmosférico nos diferentes pontos das cidades, identificando amplitudes térmicas urbano-rurais e ilhas de calor. Com o intuito de inserir a realidade pesquisada no contexto dos sistemas atmosféricos regionais, foram utilizadas cartas sinóticas disponibilizadas no site da Marinha do Brasil e imagens coloridas dos satélites Goes-12 e Goes-13. A quarta etapa consistiu na análise dos resultados. A característica

climática predominante foi utilizada como tema introdutório de cada episódio.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 OS VENTOS E A DISSIPAÇÃO DO CALOR NA CIDADE DE TERESINA

As imagens coloridas do satélite Goes-13 no episódio do dia 17 de outubro de 2013 revelam, pela manhã, um céu sem presença de nuvens sobre a porção Centro-Norte do estado do Piauí. Essa situação se prolonga pelo

Tabela 1. Dados de temperatura do ar atmosférico (TAA), umidade relativa do ar (URA) e velocidades do vento (VV) dos Pontos Fixos – outubro de 2013

Dia	Hora	CENTRO			NORTE			LESTE			SUL		
		TAA (°C)	URA (%)	VV (M/S)	TAA (°C)	URA (%)	VV (M/S)	TAA (°C)	URA (%)	VV (M/S)	TAA (°C)	URA (%)	VV (M/S)
17/10	9h	34,5	45	0,0	33,2	51	0,0	32,4	56	0,9	32,8	50	0,7
	15h	40,0	32	0,2	37,7	39	0,0	37,7	48	1,4	36,2	37	1,0
	21h	33,5	30	0,0	30,7	45	0,0	31,5	52	0,4	32,7	42	0,3
19/10	9h	32,7	52	0,6	32,5	52	0,0	31,1	58	0,6	32,0	45	1,0
	15h	38,9	32	1,1	39,0	38	0,0	36,3	45	0,0	36,5	35	0,0
	21h	31,3	55	0,9	31,1	55	1,5	31,5	59	0,5	30,8	53	0,6
22/10	9h	34,6	46	0,7	32,7	56	0,8	33,1	44	0,6	33,5	41	1,1
	15h	39,7	33	0,1	37,9	29	0,2	39,3	39	0,8	37,7	24	0,1
	21h	34,5	42	0,0	30,1	45	0,0	32,1	45	0,2	32,6	39	0,0
24/10	9h	32,4	44	0,0	32,2	59	0,1	31,0	56	1,9	33,7	52	0,8
	15h	39,9	27	0,6	38,6	33	1,0	35,0	50	1,0	36,9	30	0,2
	21h	33,2	40	0,2	31,1	40	0,8	32,5	45	0,8	32,5	40	0,0
26/10	9h	33,5	47	0,0	32,9	57	0,8	32,3	60	1,0	34,6	45	0,2
	15h	39,6	32	1,0	38,7	37	0,3	34,8	49	1,0	38,0	31	0,8
	21h	32,6	44	0,0	32,4	47	0,1	31,0	55	1,0	30,9	50	0,0
29/10	9h	33,0	53	0,8	32,2	58	0,8	31,0	46	0,8	32,0	38	0,8
	15h	38,3	32	0,4	37,4	38	0,9	32,5	46	0,8	35,9	32	1,0
	21h	31,7	45	1,0	33,9	42	1,0	32,8	52	0,0	31,8	42	0,1

Fonte: Araújo (2014)

período vespertino. À noite, porém, o céu fica parcialmente nublado devido à descida da Linha de Instabilidade do Norte-Nordeste (LI N-NE).

As mensurações feitas pela manhã nos pontos fixos Centro - Igreja Nossa Senhora do Amparo – INSA - Norte, Leste e Sul registraram, respectivamente, 34,5°C, 33,2°C, 32,4°C e 32,8°C (Tabela 1). A ausência de ventos no Centro e extremo norte da cidade de Teresina, somada à menor umidade relativa do ar, foi responsável pelas maiores temperaturas do ar nesses pontos. Por outro lado, a menor temperatura no segmento Centro-Leste se deve à maior umidade relativa do ar, que desacelera o aquecimento do ar sobre a superfície.

Os transectos móveis feitos às 9h mapearam duas células de calor no segmento Centro-Sul. A primeira, no entorno do Balão da Tabuleta - Cruzamento das Avenidas Miguel Rosa e Getúlio Vargas - com temperatura máxima de 34,8°C, isto é, 1,9°C acima da menor temperatura do ar medida pelos transectos e 3,7°C maior que a da Estação Meteorológica Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). A segunda célula de calor, com temperatura do ar máxima de também 34,8°C e com os mesmos parâmetros da primeira, foi mapeada na BR-316, na altura dos bairros Santo Antonio e Parque Jacinta.

Uma ilha de calor e duas de amenidades térmicas caracterizaram o trajeto Centro-Norte. A Avenida Maranhão, nas imediações do Shopping da Cidade, mostrou-se mais quente, 2°C de magnitude máxima. A Avenida Santos Dumont, dada sua arborização com copas fechadas, que dificultam a penetração da radiação solar nas primeiras horas da manhã, configurou-se como espaço de amenidade durante a manhã, com a menor temperatura mensurada nesse segmento, 33,2°C, 1,8°C mais frio que o ponto de maior temperatura entre os transectos. O Bairro Santa Rosa, no segundo perfil urbano do segmento Centro-Norte, com temperatura de 33,8°C, corresponde a outra ilha de amenidade.

Os extremos urbano-rurais apresentaram-se, em geral, mais frios durante as mensurações da tarde. A menor umidade relativa do ar no segmento Centro-Norte provocou o arrefecimento do ar sobre a superfície. Já no Centro-Leste e Centro-Sul, os ventos de 1,4m/s e 1,0m/s foram determinantes na perda do calor para a alta atmosfera. Às 15h, o centro da cidade estava 3,8°C mais quente que o ponto fixo sul e 2,3°C que os localizado nos extremos Norte e Leste da cidade (Tabela 1).

Há duas ilhas de calor ao longo do trajeto Centro-Sul. A célula de calor formada na BR-316 pela manhã configura-se como ilha de calor na altura no Bairro Parque Jacinta, com magnitude máxima de 4,2°C (Figura 3). A temperatura de 42,2°C nesse ponto foi a maior entre todos os transectos. Um fato novo é que a discussão reside numa ilha de calor, 3,7°C sobre a mínima, na Avenida Rui Barbosa, ainda no Centro da cidade. Trata-se de um espaço marcado pelo adensamento de construções de até

dois pavimentos. Há ainda o fluxo de veículos automotores, que, em dias semanais úteis como deste episódio, tende a se intensificar.

No segmento Centro-Norte, Avenida Maranhão, no mesmo ponto da manhã, ainda se configura como ilha de calor, desta feita, com magnitude máxima de $3,8^{\circ}\text{C}$. As temperaturas do ar foram se reduzindo à medida que se distanciava do centro da cidade. Uma ilha de amenidade térmica foi formada sobre o Bairro Poti Velho, nas proximidades da Ponte Dr. Mariano Castelo Branco. A umidade relativa do ar era menor do que no entorno, o que resultou no arrefecimento do ar pontual. A temperatura do ar nesse ponto era $0,4^{\circ}\text{C}$ menor do que no entorno (Figura 3).

A ausência de ventos na zona central da cidade nas mensurações das 21h resultou na formação de uma célula de calor no sentido Centro-Sul. Essa célula é confirmada como tendência de atuação da LI N-NE, combinada com a falta de circulação de ar na área central da cidade (Figura 4). O Bairro Santo Antônio e o Parque Jacinta, ao longo da BR-316, ainda se apresentaram mais quentes no período noturno. No extremo urbano rural sul, os ventos mensurados foram de $0,3\text{m/s}$ (Tabela 1). Ventos fracos não conseguiram dissipar essa ilha de calor de $3,5^{\circ}\text{C}$ acima da mínima. O ar sobre o final do transecto Centro-Sul tinha grande concentração de

Figura 3. Mapa da distribuição espacial da temperatura do ar em Teresina – 17/10/2013 – 15h

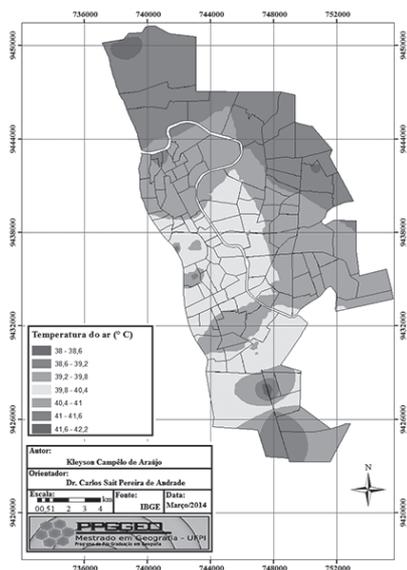
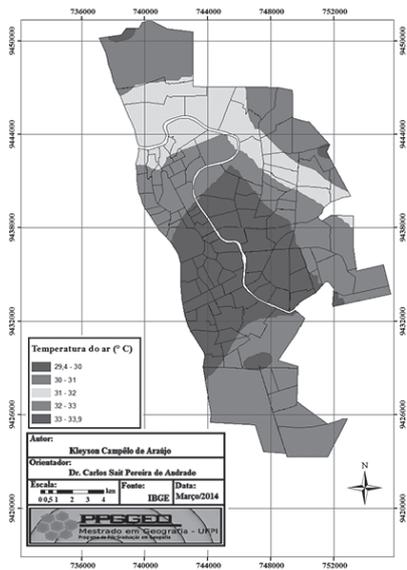


Figura 4. Mapa da distribuição espacial da temperatura do ar em Teresina – 17/10/2013 – 21h



poluentes, resultantes das indústrias do Polo Empresarial Residencial Sul, pois o dia 17 de outubro de 2013 foi um dia semanal útil.

4.2 CAMPO HIGROMÉTRICO, CONFIGURAÇÃO ESPACIAL URBANA E AR COMPROMETIDO.

Houve formação de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) sobre a cidade de Teresina no período matutino do dia 19 de outubro de 2013, segundo as imagens coloridas do satélite Goes-13. A dissipação do CCM ocorreu no período entre as mensurações da manhã e tarde. Às 15 horas, o céu parcialmente coberto evidenciava essa dissipação. Nas últimas mensurações do dia, a LI N-NE concorria com os resquícios de nuvens do CCM na baixa atmosfera teresinense.

Assim como no episódio anterior, às nove horas, o ponto fixo INSA apresentava maiores temperaturas do ar do que os pontos fixos nos extremos Norte, Leste e Sul da cidade: de 32,7°C contra, respectivamente, 32,5°C, 31,1°C e 32° C (Tabela 1). A menor temperatura no ponto fixo no sentido Leste se deve à maior umidade relativa do ar, que retardou o aquecimento ar superficial, ventos 0,6m/s e rajadas de 2,0m/s. Em contrapartida, os limites urbanos Norte e Sul se aqueceram mais rapidamente em virtude da menor umidade e dos ventos fracos. Um fato interessante é que a ausência de ventos no Norte resultou num aquecimento mais rápido do ar superficial quando comparado com o Sul, que contava com ventos de 1,0m/s.

Os transectos móveis da manhã mapearam algumas peculiaridades. No segmento Centro-Leste, os Bairros Ilhotas, Por Enquanto, Jóquei Clube, Nossa Senhora de Fátima, Cabral e Frei Serafim estiveram mais frios do que o entorno, com temperaturas semelhantes ao extremo urbano leste. Nas primeiras horas da manhã, a radiação solar não atinge os cânions urbanos. Os edifícios fornecem sombras e, conseqüentemente, há conforto térmico. Ao meio dia, no zênite, o sol atinge o fundo desses vales, gerando absorção de radiação solar e liberação de calor. Neste momento, os edifícios bloqueiam os ventos e dificultam a transmissão do calor para a alta atmosfera. Isso se justifica porque, nas mensurações da tarde e noite, esses bairros já apresentaram maiores temperaturas do que o limite leste da cidade.

No segmento Centro-Sul, na BR-316, foram identificadas duas ilhas de calor. Na transição dos Bairros Promorar, Bela Vista e Santo Antônio, a temperatura registrada foi de 34,6°C, 2,6°C sobre a mínima dos transectos. Seguindo em direção ao limite sul, outra ilha de calor de magnitude máxima de 2,4°C foi formada nas imediações do Bairro Parque Jacinta. Entre os dias pesquisados, destaca-se como um evento novo a menor umidade relativa do ar na porção Centro-Sul da cidade, que favoreceu o aquecimento do ar sobre a superfície. Todavia, esse aquecimento não ocorreu de igual

forma, daí as ilhas de stress térmico. Dois fatores contribuíram pra isso para esta situação:

1 - Nessa altura da BR-316, há um adensamento de construções que atendem ao setor terciário, com galpões com coberturas metálicas. O metalon utilizado tem difusividade térmica elevada; e

2 - A BR-316 é o único acesso a diversos bairros da zona sul teresinense, sendo o fluxo intenso de veículos de passeio e caminhões comum nesse ponto, mesmo durante os fins de semana.

A umidade relativa do ar apresentou uma pequena variação durante as medições das quinze horas, entre 26% e 35%. Desse modo, o arrefecimento do ar se deu de forma desigual, em que a configuração do espaço urbano foi determinante. No segmento Centro-Norte, o Bairro Poti Velho mostrou as maiores temperaturas do ar, por razões expostas anteriormente. Nesse bairro, a temperatura máxima registrada foi 39,9°C, 2,8°C acima da mínima dos transectos. No segmento Centro-Sul, foram mapeadas uma célula de calor e uma ilha de calor. Localizada em torno do balão da Tabuleta, a célula de calor marcou a maior temperatura entre os transectos, ou seja, 40,2°C, 3,1°C de variação máxima. A ilha de calor nas imediações do Bairro Parque Jacinta ainda estava presente nas mensurações da tarde, desta feita, com 2,9°C sobre a mínima.

Embora a estação meteorológica Embrapa não tenha registrado chuva entre as mensurações das 15h e 21h, por volta das 19h houve chuvas de curta duração nos finais dos transectos Centro-Norte e Centro-Sul. Isso é consubstanciado pela maior umidade relativa do ar nesses extremos, entre 56% e 63%, nas últimas mensurações do dia. Em decorrência, as menores temperaturas do ar foram medidas nesses pontos. Os ventos de 1,5m/s justificam as menores temperaturas no limite norte quando comparado ao leste.

4.3 A VERTICALIZAÇÃO E O CALOR ANTROPOGÊNICO PRODUZEM ILHAS DE CALOR

O episódio do dia 22 de outubro de 2013 foi favorável ao mapeamento das ilhas de calor na cidade de Teresina. Céu limpo e estabilidade atmosférica caracterizaram todas as mensurações do dia. Essa condição é confirmada pelas imagens coloridas do satélite Goes-13. Às 9h, o centro da cidade já estava mais quente que os extremos da malha urbana. O ponto de mensuração na INSA registrou 34,6°C ao passo que os pontos dos limites Norte, Leste e Sul, nessa ordem, registraram 32,7°C, 33,1°C e 33,5°C (Tabela 1). O campo hidrométrico apresentou pequena variação, 40% a 48%.

Os transectos móveis feitos pela manhã revelaram ilhas de calor e células frias, sobretudo nos segmentos Centro-Norte e Centro Sul. No segmento Centro-Norte, a Avenida Santos Dumont apresentou menores temperaturas quando comparadas com o seu entorno. O mesmo ocorreu no Bairro Santa Rosa, com predomínio de vegetação herbácea e ausência

de construções. Há uma ilha de calor de fraca magnitude no Bairro Poti Velho, com 1,4°C sobre a mínima. No transecto Centro-Sul, o Balão da Tabuleta e a BR-316 na altura do Bairro Parque Jacinta se mostraram mais quentes. Nesses pontos, as temperaturas aferidas foram de 36,7°C e 36°C, respectivamente, sendo 2,9°C e 2,2°C de amplitude térmica, tendo como referência a menor medida entre os transectos.

À tarde, o balão da Tabuleta ainda se configurava como ilha de calor, com 1,7°C de magnitude máxima. O extremo sul estava mais quente quando comparado ao norte e leste da cidade. Por se tratar de um dia de semana útil, as indústrias do Polo Residencial Empresarial Sul estavam em funcionamento, e a baixa atmosfera estava com maior concentração de gases, favorecendo a retenção do calor, como, por exemplo, CO₂. Além disso, ventos fracos de 0,1m/s dificultaram a dispersão do calor na porção meridional da urbe. Por outro lado, ventos de 0,8m/s, com rajadas de 1,8m/s, justificam as condições amenas no oriente teresinense.

As Avenidas Maranhão, nas imediações do Shopping da Cidade, e Centenário, no segmento Centro-Norte, mostraram tendência à formação de ilhas de stress térmico. A maior temperatura do ar entre os transectos móveis foi registrada sob a Estação de Passageiros Engenheiro Alberto Tavares Silva, na Avenida Maranhão, 42,3°C, ou seja, 3,8°C sobre a mínima. Na Avenida Centenário, sobre os Bairros Aeroporto, Itaperu e Nova Brasília, estruturou-se uma pequena célula de calor de fraca magnitude.

Os ventos foram praticamente inexistentes nas últimas mensurações do dia (Tabela 1). Como consequência, a transmissão do calor para as camadas mais altas da atmosfera foi retardada, assim o trajeto Centro-Sul ainda revelava maiores temperaturas. Um fato que merece destaque é a maior temperatura aferida sobre os Bairros Ilhotas e Frei Serafim, 35,2°C. A magnitude máxima de 6,5°C, com amplitude de 5,9°C, se comparada ao registro na estação meteorológica Embrapa, mostra o papel da geometria urbana na produção de ilhas de calor (Figura 5). Esses bairros têm grande adensamento de condomínios verticalizados, como destacado anteriormente, o que dificulta a circulação de ar e a dispersão do calor (Figura 6). Soma-se a isso o calor antropogênico resultante da utilização de aparelhos de ar condicionados na configuração de um espaço de stress térmico. O campo higrométrico continuou com pequena amplitude, entre 39% e 49%.

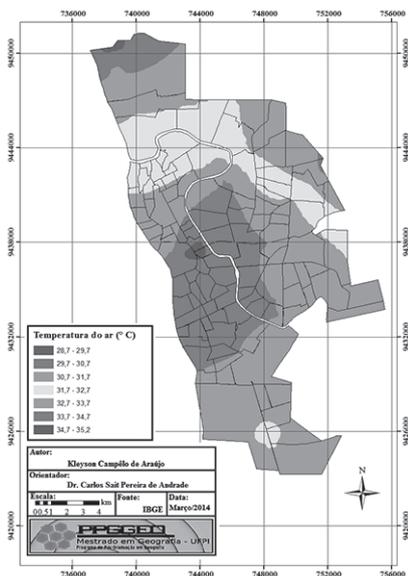
4.4 CIRCULAÇÃO DE AR E DINÂMICA DO CAMPO TÉRMICO TERESINENSE

As imagens coloridas do satélite Goes-13 retratam a cidade de Teresina com céu parcialmente coberto por nuvens durante as mensurações da manhã e noite do dia 26 de outubro de 2013. À tarde, o céu estava sem cobertura de nuvens. O campo higrométrico teve baixa amplitude durante as mensurações climatológicas, com exceção do período matutino. A umidade

relativa do ar entre 44% e 49% e ventos de 1,9m/s no limite urbano leste proporcionaram menores temperaturas pela manhã. Já no extremo sul, a maior umidade impediu a formação de ilhas de calor na BR-316, nas margens dos Bairros Santo Antonio e Parque Jacinta. Os ventos de 0,8m/s e rajadas de 1,5m/s também retardaram o aquecimento do ar na porção meridional da urbe, quando comparados aos episódios até aqui analisados (Tabela 1).

Os transectos móveis das nove horas mapearam uma ilha de calor ao longo do segmento Centro-Sul. A temperatura de 36,2°C no balão da Tabuleta foi a maior entre os transectos. A amplitude máxima dessa ilha de calor foi de 5,1°C. Sob estabilidade atmosférica e em dias úteis, marcados por grande congestionamento de veículos automotores, há ten-

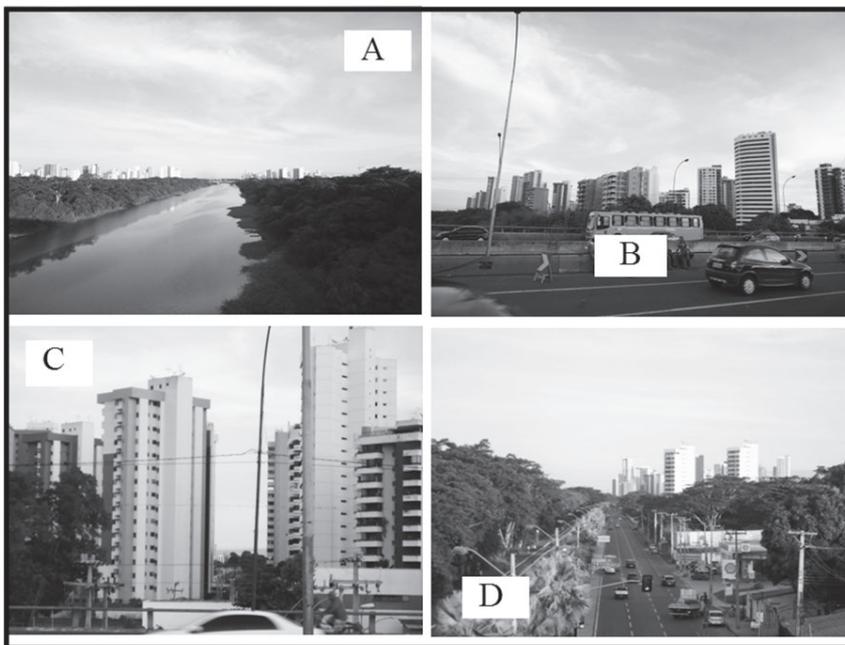
Figura 5. Mapa da distribuição espacial da temperatura do ar em Teresina – 22/10/2013 – 21h.



dência à formação de ilhas de calor de maior magnitude nesse ponto. No segmento Centro-Norte, foram formadas duas ilhas de calor nos Bairros Poti Velho e Cidade Industrial. Esses pontos marcaram igualmente 35,5°C, ou seja, 4,4°C sobre a mínima. No trajeto Centro-Leste, os Bairros Frei Serafim e Cabral estiveram 1,1°C mais quentes que o entorno. Seguindo tendência do episódio do dia 22 de outubro de 2013, ilhas de calor originadas na noite anterior, comuns a esses bairros com grande adensamento de edifícios, encontraram dificuldade em se dissipar devido à ausência de ventos na manhã seguinte. Às 9h, os ventos aferidos foram de 0,0m/s no Centro teresinense.

As mensurações climatológicas vespertinas demarcaram uma célula de calor no trajeto Centro-Sul, sobre a BR-316, nas proximidades dos Bairros Promorar, Parque Piauí, Bela Vista e Santo Antônio. Se pela manhã os ventos e a maior umidade do ar impossibilitaram o surgimento de ilhas de calor local, à tarde, a menor umidade e ventos fracos de 0,2 m/s permitiram a formação da célula em questão. O centro da célula de calor marcou a maior temperatura dos transectos móveis, 44,1°C. Esse valor foi 6,1°C maior em comparação com a mínima. No percurso Centro-Leste, em decorrência dos ventos de 1,0m/s e rajadas de 1,9m/s, foram registradas as menores temperaturas, 38°C a 39,6°C. Cabe ressaltar que o extremo leste tem altitudes mais elevadas

Figura 6. Mosaico de fotografias da verticalização às margens do Rio Poti.



A: Verticalização às margens do Poti. Visão a montante. Na margem direita, Bairros de Fátima e Jóquei Clube. B: Bairro Frei Serafim. C: Formação de cânion urbano no bairro Frei Serafim. D: Bairros Por Enquanto e Ilhotas.
Fonte: Araújo (2014).

quando comparadas ao restante da cidade, entre 136m e 159m. Combinada com a maior intensidade na circulação de ar, a altitude tem evidenciado sua importância no arrefecimento do ar na porção oriental da urbe. Por fim, no segmento Centro-Leste, os Bairros Cabral e Frei Serafim ainda estavam mais quentes que o entorno, cerca de 1°C.

Às 21h, os ventos fracos e a baixa amplitude no campo higrométrico fizeram emergir uma célula de calor nos Bairros Frei Serafim, Cabral, Jóquei Clube, Nossa Senhora de Fátima e Noivos. É a verticalização notadamente como produtora de stress térmico. A maior temperatura do ar na célula foi de 35,1°C, entre os bairros Cabral e Frei Serafim. Esse valor corresponde a 3,1° sobre a mínima. Concernente aos ventos, a maior velocidade foi medida no extremo norte da cidade, 0,8m/s e rajadas de 1,3m/s. Esse limite urbano rural foi o mais ameno.

4.5 ILHAS DE CALOR EM EVIDÊNCIA NO SEGMENTO CENTRO-

SUL DA CIDADE DE TERESINA.

A cidade teresinense esteve sob estabilidade atmosférica nas mensurações climatológicas feitas pela manhã e tarde no dia 26 de outubro de 2013, segundo imagens coloridas do satélite Goes-13. Entretanto, às 21h, a Linha de Instabilidade do Norte-Nordeste estava sobre a cidade, impossibilitando o mapeamento de ilhas de calor, confirmando tendência à formação de uma célula de calor sobre a urbe. O sentido Centro-Sul da célula justifica-se pela ausência de ventos. No período noturno, o ponto fixo meridional aferiu ventos de 0,0m/s. Em caminho contrário, o ponto fixo oriental mediu as menores temperaturas em virtude de ventos de 1,0m/s e rajadas de 2,0m/s (Tabela 1).

Às nove horas, a temperatura do ar no limite urbano austral já era superior às registradas no Centro da cidade. Esse ponto mediu 34,6°C, ao passo que a INSA e os extremos Leste e Norte mediram, respectivamente, 33,5°C, 32,9°C e 32,3°C. A menor umidade do ar e os ventos fracos de 0,2m/s favoreceram o aquecimento do ar superficial na porção sul da urbe. Os transectos móveis nesse horário mapearam duas ilhas de calor no segmento Centro-Sul. No Balão da Tabuleta, a magnitude máxima da ilha foi de 2,9°C, e na BR-316, Bairro Parque Jacinta, 2,8°C. No segmento Centro-Norte, uma ilha de calor se configurou na Avenida Centenário, entre os Bairros Aeroporto e Real Copagre, com temperaturas pontuais de 34°C e 1,8°C sobre a mínima, medidas nos transectos móveis. O trajeto Centro-Leste revelou duas ilhas de calor no final do percurso, Bairros Vale Quem Tem e Verde Lar, nessa ordem, 1,4°C e 1,5°C mais quentes que o ponto de menor temperatura.

A umidade relativa do ar apresentou pequena amplitude durante as mensurações climatológicas da tarde, 9%. Com condições dessa natureza, a geometria urbana passa a exercer papel mais relevante no campo térmico da cidade. Notadamente, o transecto Centro-Sul foi aquele que se destacou no mapeamento de stress térmico, no total de quatro ilhas: (1) Avenida Rui Barbosa, ainda no Bairro Centro, com variação máxima de 1,6°C; (2) Balão da Tabuleta, com 3,1°C; (3) BR-316, Bairro Santo Antonio, com 2,7°C; e (4) BR-316, Bairro Parque Jacinta, com variação de 2,7°C. No percurso Centro-Norte, uma ilha de calor se formou na Avenida Santos Dumont e uma pequena célula de calor na Avenida Centenário, Bairro Aeroporto. Em ambas, a magnitude máxima foi de 1,9°C. Os ventos de 1,0m/s com rajadas de 2,0m/s na porção oriental da cidade ocasionaram as menores temperaturas nesse extremo urbano, entre 38,7°C e 39,1°C.

Às 21h, a presença da LI N-NE determinou a formação de uma grande célula de calor no sentido Centro-Sul teresinense, como mencionado anteriormente. Os ventos de 1,0m/s com rajadas de 2,2m/s mantiveram a limite urbano leste mais frio. Além disso, a menor umidade relativa do ar acelerou a perda de calor para a atmosfera.

4.6 ESPAÇOS COM TENDÊNCIA À FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR

As imagens coloridas do satélite Goes-13 retratam a atmosfera teresinense sem nuvens durante as mensurações climatológicas das 9h e 15h do dia 29 de outubro de 2013. Assim como no episódio anterior, à noite, o céu ficou parcialmente coberto, o que impossibilitou o mapeamento de ilhas de calor. Dessa feita, houve devido a um Complexo Convectivo de Mesoescala.

Dessa feita, houve o quê? Está faltando o objeto direto. Favor conferir.

Os pontos fixos INSA, Norte, Leste e Sul aferiram às nove horas 33°C, 32,2°C, 31°C e 32°C, respectivamente. A menor temperatura no extremo urbano oriental é devida à maior umidade relativa do ar, que retardou o aquecimento do ar sobre a superfície, e a ventos de 0,8m/s, com rajadas de 2,0m/s (Tabela 1). Interessante notar que os limites da cidade no sentido setentrional e meridional, dada a menor umidade, apresentaram comportamento contrário em relação ao extremo leste. Os transectos móveis feitos nesse horário mapearam uma ilha de calor de magnitude máxima de 3,8°C em torno do Balão da Tabuleta, no segmento Centro-Sul.

No segmento Centro-Norte, ainda às 9h, foram retratadas duas ilhotas de calor ao longo da Avenida Maranhão, com amplitude máxima de 2,4°C. O Bairro Poti Velho se mostrou mais quente, 1,1°C em relação ao entorno. Concernente ao Transecto Centro-Leste, a Avenida Frei Serafim estava mais fria. Essa avenida conta com boa arborização. Todavia, devido ao intenso fluxo de veículos automotores, não foi criado espaço de amenidade, exceto neste episódio. A maior umidade, relativa do ar incomum no sentido do percurso Centro-Leste, tendo os episódios discutidos até agora como referência, e ventos de 0,8m/s com rajadas de 1,5m/s, mensurados no Centro nesse horário, justificou a formação de uma pequena célula fria sobre a avenida. O Bairro Vale Quem Tem novamente formou uma ilha de calor, com 2,5°C sobre a mínima.

As mensurações vespertinas voltaram a destacar a verticalização nos Bairros Cabral e Frei Serafim como produtora de ilhas de calor (Figura 6). Desta feita, a variação máxima registrada foi de 4,2°C. Esse ponto teve a maior temperatura do ar, entre os transectos, ou seja, 41,6°C. No trajeto Centro-Norte, dissipou-se a ilha de calor que havia se formado pela manhã no Bairro Poti velho. O Bairro Santa Rosa estava mais frio durante as medições matutinas. O ar quente sobre um local da superfície, comum a ilhas de calor, origina célula de baixa pressão, atraindo ventos e dissipando o calor. Explica-se a menor temperatura nesse local, em relação aos pontos em volta, durante a tarde. No segmento Centro-Sul, o Balão da Tabuleta ainda estava mais quente. Uma célula de calor foi formada, na qual a maior temperatura foi de 41,4°C.

As mensurações climatológicas feitas pela tarde e noite têm em

comum a baixa amplitude no campo higrométrico. Às 21h, diferentemente das 15h, o céu coberto impossibilitou o mapeamento de ilhas de calor e manteve a célula de calor no sentido Centro-Sul da urbe. Cabe ressaltar que a célula se expandiu também para o leste teresinense, pois os bairros verticalizados localizados à margem do rio Poti estavam mais quentes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados expressos nas cartas de isotermas e isoígras mostra quatro tendências do campo termodinâmico da cidade de Teresina.

(1) O mapeamento de ilhas de calor no período noturno é inviável quando a atmosfera teresinense está sob a atuação da Linha de Instabilidade de Norte-Nordeste (LI-NE) brasileiro. Em todos os dias pesquisados com instabilidade atmosférica e ventos francos, formou-se uma célula de calor, sobretudo no sentido centro-sul da cidade.

(2) Chuvas de curta duração e ventos desempenham papel importante ao criar espaços de amenidades. Os extremos urbanos que tiveram chuvas de curta duração entre uma mensuração e outra do dia apresentaram menores temperaturas. Os ventos teresinenses são fracos, raramente ultrapassam os 2,0m/s. Mesmo em pequena intensidade, comprovou-se que os pontos de mensurações climatológicas com presença de ventos e rajadas eram mais amenos.

(3) O campo higrométrico condiciona o termodinâmico no aquecimento e arrefecimento do ar superficial. Nas aferições climatológicas realizadas, o centro-norte teresinense mostrou-se com menor umidade relativa do ar, em praticamente todos os episódios. Isso provocou o aquecimento mais rápido do sobre a superfície, entre a primeira e última medida feita pelos transectos móveis. O contrário é verdadeiro. Os extremos urbanos com maior umidade relativa do ar se mostraram mais frios, pois o solo mais úmido dificulta a condução do calor, retardando o aquecimento do ar sobre a superfície.

Quanto ao arquipélago de ilhas mapeadas, alguns espaços tiveram destaque. No segmento Centro-Norte, os Bairros Poti Velho e Aeroporto, no primeiro perfil urbano desse trajeto, mostraram propensão a originar ilhas de calor. A Avenida Santo Dumont, na sazonalidade de outubro de 2013, teve na sua arborização com árvores de copas fechadas, importante elemento do subsistema termodinâmico. Nas mensurações móveis matutinas, as copas fechadas impediam que a energia solar atingisse o solo, mas, à tarde, elas dificultavam a transmissão do calor para as camadas mais altas da atmosfera. Por essa razão, nas primeiras horas da manhã e nas mensurações vespertinas de stress térmico, as copas formavam um espaço de amenidade.

No segmento Centro-Leste, os bairros com adensamentos de edifícios, às margens do Rio Poti, produziram ilhas de calor. No episódio

do dia 22 de outubro de 2013, os Bairros Cabral e Frei Serafim estavam 6,5°C acima da mínima – maior magnitude entre todos os episódios. No final do transecto, os Bairros Verde Lar e Vale Quem Tem formaram ilhas de calor nas primeiras horas da manhã, mesmo quando o extremo leste estava com maior umidade.

O segmento Centro-Sul, durante os episódios analisados, foi o que apresentou maior propensão à formação de ilhas de calor. O Balão da Tabuleta e a BR-316, nas imediações dos Bairros Santo Antonio e Parque Jacinta, mostraram ilhas de calor na maioria das mensurações feitas, em função do intenso fluxo de veículos automotores e das construções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, Kleyson Campêlo. *Espaço Urbano e Climatologia: ilhas de calor em evidência na cidade de Teresina-PI*. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2014
- ARAÚJO, Kleyson Campêlo. *04 fotografias color. digitais*, Teresina, 2014.
- AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e formas de ilhas de calor urbana em Presidente Prudente/SP: episódios de inverno. Santa Catarina: *Revista Geosul*, v. 20, n. 39, p. 65-82, jan./jun.2005a.
- _____. Ilhas de Calor em Birigui/SP. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, nº 1, dezembro de 2005b.
- AMORIM, M. C. C. T.; MINAKI, C. Clima urbano em Guararapes/SP: episódios de verão e de inverno. *Geografia*, Rio Claro, v. 32, nº 2, p. 295-318, maio./ago. 2007.
- _____. Climatologia e gestão do espaço urbano. Ceará: *Revista Mercator* –Número especial, dezembro de 2010, p. 71-90.
- FEITOSA, Sônia M^a R. *Alterações climáticas em Teresina-PI decorrentes da urbanização e supressão de áreas verdes*. Teresina: Universidade Federal do Piauí, Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), 2010.
- LIMA, G N. *Características do clima de Nova Andradina*. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Dissertação de Mestrado, 2011.
- LOMBARDO, M. A. *Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: HUCITEC, 1985.
- MASCARÓ, Lucia. *Ambiência Urbana* (1996). Porto Alegre: Sagra – D.C Luzzatto, 1996.
- MENDES, Josué C. Geologia do Brasil. Rio de Janeiro: ICN, 1971 in ARAÚJO, J. L. L (Coord.). *Atlas escolar do Piauí: geo-histórico e cultural*. João Pessoa: Editora Grafset, 2006.
- MENDONÇA, F.; DANNI – OLIVEIRA, I. M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.
- MONTEIRO, C. A. F. *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: Instituto de

- Geografia da USP. Série Teses e Monografias, nº 25, 1976.
- MONTEIRO, C. A F.; SEZERINO, M. L. O campo térmico na cidade de Florianópolis: primeiros experimentos. *GEOSUL - Revista do Departamento de Geociência*. Nº 9, Ano V, Primeiro semestre de 1990. p. 20-60.
- ORTIZ, F. F. *O clima urbano de Cândido Mota: análise do perfil térmico e higrométrico em episódio de verão*. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Dissertação de Mestrado, 2011.
- OKE. T. R. *Boundary Layer Climates*. 2ª ed. Londres: Methuen & Co. Ltd, 1987.
- UGEDA JR. J. C. *Clima Urbano e Planejamento na Cidade de Jales-SP*. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Tese de Doutorado, 2011.

Recebido em: 08/08/2015

Aceito em: 10/09/2015