



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA
MUSEU PARAENSE EMILIO GOELDI – MPEG
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
PPGCA

LUCIANA DANIELLE ANTUNES MONTEIRO

A INFLUÊNCIA DO CRESCIMENTO URBANO NA VARIAÇÃO DE
TEMPERATURA NO BAIRRO DE VAL-DE-CANS EM BELÉM-PA

BELÉM-PA
2015

LUCIANA DANIELLE ANTUNES MONTEIRO

A INFLUÊNCIA DO CRESCIMENTO URBANO NA VARIAÇÃO DE
TEMPERATURA NO BAIRRO DE VAL-DE-CANS EM BELÉM-PA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Para (UFPA), convênio com Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA-Amazônia Oriental).

Orientadora: Prof^ª. Dra. Maria Aurora Santos da Mota

Coorientador: Dr. Marcos Adami

Belém-PA
2015

LUCIANA DANIELLE ANTUNES MONTEIRO

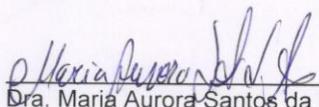
A INFLUÊNCIA DO CRESCIMENTO URBANO NA VARIAÇÃO DE
TEMPERATURA NO BAIRRO DE VAL-DE-CANS EM BELÉM-PA.

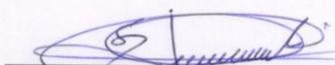
Dissertação apresentada para obtenção do grau de
Mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-
Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Pará. Área de
Física do Clima.

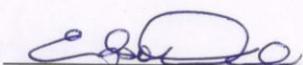
Orientadora: Dra. Maria Aurora Santos da Mota

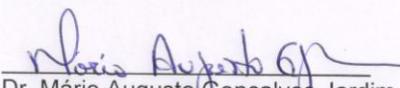
Data de aprovação: 23 / 03 / 2015

Banca Examinadora:


Orientadora
Dra. Maria Aurora Santos da Mota
Universidade Federal do Pará


Dr. Edmilson Dias de Freitas
Universidade de São Paulo


Dr. Edson José Paulino da Rocha
Universidade Federal do Pará


Dr. Mário Augusto Gonçalves Jardim
Museu Paraense Emílio Goeldi

Aos meus pais Daniel e Ana Telma Monteiro,
minha irmã Daiana Monteiro
e ao meu noivo Emílio Junior

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e a nossa Senhora de Nazaré, por terem guiado e iluminado meu caminho em cada decisão tomada.

Aos meus pais, pela estrutura de vida, amor, suporte, cuidado, compreensão e por tudo que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui.

A Prof.^a Dr.^a Maria Aurora Santos da Mota, obrigada por sua dedicada orientação, pois foi de grande importância para o meu enriquecimento profissional e pessoal.

Ao Dr. Marcos Adami (coorientador), por seus ensinamentos durante a pesquisa.

Aos professores do PPGCA por seus valiosos ensinamentos a todos os alunos.

Ao Professor Dimitri Nechet pelos dados meteorológicos.

A Aeronáutica pela disponibilização dos dados METAR e ao Ten. Cor. Plautilio, CAP. Valmir, SO BET Guedes e SO BMT Marconi, a todos do DTCEA-BE, obrigada pela ajuda durante a visita de campo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela bolsa de mestrado concedida para realização desta pesquisa.

A minha querida irmã Msc. Eng. Daiana Monteiro, por sua imensa contribuição nesta pesquisa, por seus ensinamentos, incentivo e amizade.

A Dayana Castilho, Prof. Dr. Paulo Kubota e Dr. Leonardo Sá, por compartilharem seus conhecimentos em análises de Ondeletas.

A Msc. Eng. e Meteorologista Josiane Sarmiento, por sua ajuda nesta pesquisa, companhia, diversão, conselhos e incentivos durante esses dois anos de mestrado.

As amigas desde a graduação, a Msc. Thaianne Soeiro pela ajuda nas disciplinas durante o mestrado e a Meteorologista Irene Corrêa por todo o incentivo, obrigada pela amizade de vocês.

Ao meu amigo e noivo Emílio Junior, meu companheiro de todas as horas, cujo amor me deu forças para enfrentar toda e qualquer atribulação, e ao caminhar lado a lado me permitiu seguir em frente.

Ninguém vence sozinho... OBRIGADA A TODOS!

“Tudo que a mente pode conceber e acreditar.

A mente pode realizar.”

Napoleon Hill

RESUMO

As mudanças climáticas globais, regionais e locais representam, na atualidade, uma das maiores preocupações da humanidade. Estudos apontam que essas mudanças podem ocorrer tanto a partir de causas naturais quanto antrópicas. A temperatura do ar é uma das variáveis meteorológicas, que é alterada por essas mudanças. O objetivo deste trabalho foi analisar a variação horária da temperatura do ar e ponto de orvalho na região onde está localizada o Aeroporto Internacional de Belém, ao longo de 31 anos. Para o trabalho, foram utilizados dados horários de temperatura do ar e ponto de orvalho, analisados por períodos: I (1975-1984), II (1985-1994) e III (2003-2013), o período (1995-2002) não foi disponibilizado para o estudo. As análises dos dados foram realizadas calculando as médias horárias, mensais e anuais para cada período. Nas temperaturas máximas e mínimas diárias foi utilizada a técnica de Ondeleta de Morlet para verificar o sinal em que as temperaturas apresentam maior variabilidade. Também, para identificar a porcentagem de áreas verdes e temperatura de superfície terrestre (TST) na região de Val-de-Cans foram utilizadas imagens de satélite, para os anos de 1985 e 2013. Para a análise do conforto térmico para a região de Val-de-Cans foi utilizado o Índice de Temperatura Efetiva (TE). Na análise da temperatura do ar foi identificado um aumento de $0,4^{\circ}\text{C}$ nas temperaturas máximas e $0,9^{\circ}$ nas mínimas ao longo dos períodos. A temperatura máxima e mínima diária apresentou intensidade do sinal no ciclo anual e esse sinal pode estar relacionado a fenômenos naturais de escala anual, que influenciam na variação das mesmas. Verificou-se também que ao longo de 29 anos houve redução de aproximadamente 665,73 hectares, em áreas verdes na região de Val-de-Cans. Os resultados mostraram que a região de Val-de-Cans, em 1985, apresentava temperatura da superfície mais amena. Em 2013, com o crescimento da urbanização, as áreas verdes diminuíram, aumentando, assim, as áreas aquecidas. Para a análise do conforto térmico para a região de Val-de-Cans foi utilizado o Índice de Temperatura Efetiva (TE), com o qual se verificou que no período III os valores máximos de TE indicaram estresse térmico, podendo causar impactos na qualidade de vida da população. Onde o comportamento térmico pareceu efetivamente ser influenciado pelo processo de urbanização.

Palavras-chave: Arborização. Ilha de Calor. Urbanização.

ABSTRACT

These days, global, regional and local climatic changes represent one of the biggest concerns for humanity. Studies indicate that these changes can be due to both natural and anthropogenic causes. The air temperature is one of the meteorological variables modified by it. This study aims to analyze the hourly variation of air temperature and dew point over 31 years, in the region located around the Belem International Airport. Air temperature and dew point hourly data were used and analyzed by period: I (1975-1984), II (1985-1994) and III (2003-2013). The 1995-2002 period was not made available for this study. The data analyses were carried out using hourly, monthly and yearly air temperature and dew point averages for each period. In the maximum and minimum daily temperatures, the Morlet Wavelet Technique was used to check the signal where temperatures have greater variability. In addition, satellite images for the years 1985 and 2013 were used to identify the percentage of green urban areas and Land surface temperature (LST) and the Effective Temperature Index (ET) for the thermal comfort analysis, both in the Val-de-Cans region. Over these periods, we could notice an increase of 0,4°C in the maximum temperature analysis and 0,9°C in the minimum temperature one. The daily maximum and minimum temperature presented intensity in the signal in the annual cycle which can be related to annual scale natural events that influence their own variation. We also verified that there was a reduction of about 665,7 hectares in green areas in the Val-de-Cans region, during 29 years. The results also showed a lower surface temperature in 1985 than in 2013. In 2013, we observed that as the urban areas increased, the green urban areas decreased, consequently increasing the heated areas. Through the Effective Temperature Index, we could verify the maximum values of TE in period III, in other words, thermic stress which is likely to have an impact on quality of life of human population and biodiversity. The thermal behavior seemed effectively influenced by the urbanization process.

Keywords: Afforestation. Heat Island. Urbanization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Mapa de localização: Belém, Aeroporto Internacional de Belém - PA e bairros do entorno.....	19
Figura 2 -	Esquema metodológico.....	29
Figura 3-	Variação média mensal da temperatura do ar para a estação do DTCEA-BE (linha vermelha) e INMET-BE (linha azul) em Belém-PA para o período de 1975 a 2013.....	30
Figura 4-	Mapa de localização da estação do DTCEA-BE e INMET-BE.....	31
Figura 5-	Variação da temperatura média mensal do ar por período para as estações do DTCEA-BE e INMET-BE. Período I (1975-1984) DTCEA-BE (linha verde) e INMET-BE (linha azul); período II (1985-1994) DTCEA-BE (linha amarela) e INMET-BE (linha cinza); período III (2003-2013) DTCEA-BE (linha vermelha) e INMET-BE (linha rosa).....	32
Figura 6-	Variação horária média da temperatura do ar (T) e temperatura do ponto de orvalho por período: I (1975-1984), II (1985-1994) e III (2003-2013).....	33
Figura 7-	Variação de temperatura do ar (T) e temperatura do ponto de orvalho (Td) média anual por períodos. a) I (1975-1984); b) II (1985-1994) e c) III (2003-2013).....	35
Figura 8-	Análise do sinal para a Temperatura máxima do ar (Tx) no período I (1975-1984). a) Espectro de potência de Ondeleta (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.....	37
Figura 9-	Análise do sinal para a Temperatura mínima do ar (Tn) no período I (1975-1984). a) Espectro de potência de Ondeleta (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.....	38
Figura 10-	Anomalias para (a) índice El Niño Oceânico - ONI, (b) dipolo do atlântico e (c) precipitação para o período I (1975-1984).....	39
Figura 11-	Análise do sinal para a Temperatura máxima do ar (Tx) no período II (1985-1994). a) Espectro de potência de Ondeleta (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.....	40

Figura 12-	Análise do sinal para a Temperatura mínima do ar (Tn) no período II (1985-1994). a) Espectro de potência de Ondeleta (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.....	40
Figura 13-	Anomalias para (a) índice El Niño Oceânico - INO, (b) dipolo do atlântico e (c) precipitação para o período II (1985-1994).....	41
Figura 14-	Análise do sinal para a Temperatura máxima do ar (Tx) no período III (2003-2013). a) Espectro de potência de Ondeleta (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.....	42
Figura 15-	Análise do sinal para a Temperatura mínima do ar (Tn) no período III (2003-2013). a) Espectro de potência de Ondeleta (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.....	42
Figura 16-	Anomalias para (a) índice El Niño Oceânico - INO, (b) dipolo do atlântico e (c) precipitação para o período III (2003-2013).....	43
Figura 17-	Mapa de classificação de uso e cobertura do solo para a cidade de Belém. a) 1985; b)2013.....	44
Figura 18-	Mapa percentual de áreas verdes para a região de Val-de-Cans. a)1985; b)2013.....	45
Figura 19-	Construções na região de Val-de-Cans.....	47
Figura 20-	Vista aérea da região de Val-de-Cans. a) 2004; b) 2014.....	48
Figura 21-	Mapa de temperatura de superfície para a região de Val-de-Cans. a) 1985; b) 2013.....	50
Figura 22-	Varição máxima, mínima e média mensal de temperatura efetiva (TE) por período: I (1975-1984), II (1985-1994) e III (2003-2013).....	52
Figura 23-	Diagrama de dispersão e reta de regressão linear entre a TE e a porcentagem de urbanização para a região de Val-de-Cans.....	53
Figura 24-	Diagrama de dispersão e reta de regressão linear entre a TE e a porcentagem de vegetação para região de Val-de-Cans.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Varição de Temperatura da Superfície do Mar (TSM).....	22
Tabela 2-	Sensores Termais do Landsat.....	26
Tabela 3-	Componentes e valores da fórmula de conversão para radiância extraídos do metadados da imagem do Landsat-8, banda 10.....	26
Tabela 4-	Componentes e valores da constante de calibração extraídos do metadados da imagem Landsat-8, banda10.....	26
Tabela 5-	Faixa de desconforto térmico, modelo de Thom e Bosen(1959) relacionado com o Índice de Temperatura Efetiva (TE).....	29
Tabela 6-	Varição da população por bairros da região de Val-de-Cans com base nos censos 2000 e 2010.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
DTCEA-BE	Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Belém
EMS	Estação Meteorológica de Superfície
ENOS	El Niño – Oscilação Sul
EPO	Espectro de Potência de Ondelela
EPG	Espectro de Potência Global
ICV	Índice de Cobertura Vegetal
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
OLI	Operational Land Imager
ONI	Índice El Niño Oceânico
PEGV	Parque Ecológico do Município de Belém Gunnar Vingren
PEUT	Parque Estadual do Utinga
REDEMET	Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica
T	Temperatura do ar
T	Temperatura do ponto de orvalho
T _x	Temperatura máxima
T _n	Temperatura mínima
TE	Temperatura efetiva
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TST	Temperatura de superfície terrestre
UC	Unidade de Conservação
USGS	United States Geological Survey
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1	Área de estudo	19
2.2	Material	20
2.3	Métodos	21
2.3.1	Método de Ondeleta de Morlet.....	22
2.3.2	Temperatura de superfície e cobertura de áreas verdes.....	24
2.3.2.1	Aquisição das imagens e pré-processamento.....	25
2.3.2.2	Processamento das imagens de temperatura.....	26
2.3.2.3	Mapeamento da cobertura vegetal.....	27
2.3.3	Conforto térmico.....	28
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.1	Variação da temperatura do ar para as estações meteorológica do DTCEA-BE e INMET-BE	30
3.2	Análise de áreas verdes e da temperatura de superfície (TST) na região de Val-de-Cans	43
3.3	Análise do conforto térmico e sua relação com áreas verdes e urbanas	51
4	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A existência e a qualidade de vida na terra são determinadas por fatores genéticos, disponibilidades de recursos e características do ambiente físico. Entre elas destacam-se a temperatura do ar que exerce um importante papel de regulador para a sobrevivência, o crescimento, a reprodução e a distribuição dos organismos na natureza (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2014). Entretanto, pequenas variações podem comprometer os processos de trocas de calor e afetar sistemas oceânicos e atmosféricos, que somados a outros fatores levam a ocorrência de fenômenos atmosféricos dentro de um largo espectro de escalas, tanto espacial quanto temporal (VIANELLO; ALVES, 1991).

Períodos prolongados de extremos de temperatura podem ter consequências significativas, ocasionando perda de biodiversidade, impactos no ciclo hidrológico, derretimentos das calotas polares, alteração no balanço de carbono, entre outros, com sérios transtornos para o meio ambiente e sociedade (MARENGO et al., 2007; MARENGO; VALVERDE, 2008; VICTORIA et al., 1998).

Por conta disso, as variações de temperatura passaram a ser de grande importância no contexto das mudanças climáticas e do aquecimento global, discutido nas reuniões da Cúpula Geral das Nações Unidas no Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas (IPCC, 2013). Em que a atenuação dos efeitos das mudanças climáticas globais e a adaptação a estas são os maiores desafios da atualidade (MAGRIN et al., 2014).

Uma das consequências das mudanças climáticas é a intensidade ou frequência de eventos extremos, como chuvas intensas, enchentes, secas prolongadas, ondas de calor e de frio, furacões e tornados, que ameaçam diferentes partes do globo terrestre (GUTIÉRREZ et al., 2014). Observações mostram que o planeta nos anos de 1998, 2007, 2010 e 2013 apresentou elevadas temperaturas médias do ar, confirmando a tendência de aquecimento da troposfera do globo (OMM, 2014).

O aumento foi de aproximadamente 0,5 °C, no período de 1961 a 1990, com os valores mais altos, no decênio de 1980 a 1990, desde que começaram os registros climáticos instrumentais (IPCC, 2007). Porém em algumas regiões, como por exemplo na Alemanha Ocidental, as temperaturas aumentaram até 0,6°C ao longo do século XX (HUNDECHA; BARDOSSY, 2005).

Estudos apontam que a ocorrência de eventos extremos pode estar associada a fatores naturais, como os fenômenos meteorológicos de grande escala El Niño/La Niña, que são

resultantes do mecanismo oceano-atmosfera como aquecimento (El Niño) ou resfriamento (La Niña) das águas no Oceano Pacífico Tropical (CHU et al., 2009; DRUMOND; AMBRIZZI, 2005; KAYANO; ANDREOLI, 2006) ou fatores antrópicos associados às atividades humanas, como aumento da emissão de gases de efeito estufa, queimadas, desmatamento, crescimento urbano e formação de ilhas de calor (MARENGO, 2002; NOBRE; SAMPAIO; VELASQUEZ, 2007; STONE et al., 2013).

No Brasil foi observado que em anos de El Niño, a região Sul sofre com intensa precipitação e aumento da temperatura média, nas regiões Norte e Nordeste há o predomínio de seca, já nas regiões Sudeste e Centro-Oeste há um aumento das temperaturas médias, porém não há um padrão nas mudanças de chuvas (FERREIRA; MELLO, 2005). No fenômeno La Nina, os efeitos sentidos no Brasil são chuvas intensas na região Norte e Nordeste aumentando a vazão dos rios e secas prolongadas na região Sul. Nas regiões Centro-Oeste e Sudeste os efeitos são pouco previsíveis e podem variar de ocorrência para ocorrência (CPTEC, 2014). Portanto, as anomalias climáticas associadas aos fenômenos El Niño/La Niña podem provocar sérios prejuízos econômicos e ambientais para toda a sociedade.

Na região Amazônica, dois eventos de secas intensas nos anos de 2005 e 2010 causaram sérios impactos meteorológicos, hidrológicos e sociais na região. Segundo Marengo et al. (2011) ambos os eventos podem estar associados a elevadas temperaturas de superfície do Oceano Atlântico ao norte do Equador, com registros de temperatura do ar maior que a média, em ambos os anos. O clima nessa região é modulado diretamente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), responsável pelas precipitações no período chuvoso. A sua marcha anual alcança posição mais ao norte (8° N) durante o inverno austral, e a sua posição mais ao sul (5° S) no verão austral provocando precipitações intensas (CITEAU et al., 1985; UVO; NOBRE, 1989). A quantidade de precipitação pode ser alterada pelo ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico, que provocam mudanças nas circulações de Walker e Hadley, de modo que, no El Niño/La Niña, inibe ou intensifica a convecção úmida, e conseqüentemente, contribuem na variabilidade do regime pluviométrico e na temperatura (DE SOUZA et al., 2000).

A temperatura do ar na Amazônia apresenta pequena variação ao longo do ano, com amplitude térmica sazonal da ordem de aproximadamente 1 a 2°C, exceto na Amazônia meridional, Rondônia e Mato Grosso que sofrem a ação de sistemas frontais (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998). No entanto, oscilações climáticas na Amazônia foram registradas em diversos documentos, ocorridas durante as glaciações, associadas à variabilidade natural (NOBRE; SAMPAIO; VELASQUEZ, 2007). Essas variações se

intensificaram e estudos sugerem que o desmatamento gerado por mudanças de uso da terra pode estar influenciando na ocorrência de altas temperaturas pelas fortes contribuições de Gases do Efeito Estufa, tornando a região mais vulnerável a fenômenos de seca e ao desconforto térmico (MARENGO et al., 2011).

No Brasil, a partir da década de 1970 com a proposta do Sistema Clima Urbano, composto por três subsistemas: termodinâmico, físico-químico e hidrometeorológico, recebe maior destaque como forma de estudar o clima de um dado local e sua urbanização. As condições termodinâmicas da cidade caracterizam as ilhas de calor, ilhas de frescor, conforto e desconforto térmico da população. O sistema físico-químico é voltado à análise da qualidade do ar, em que nas grandes cidades o aumento da frota automobilística, a industrialização e a atividade urbana são fontes para a poluição do ar. No sistema hidrometeorológico são relacionados os estudos das precipitações urbanas e seus impactos (MONTEIRO, 1976).

Entre esses, o sistema de urbanização é considerado o mais relevante, por conter em sua natureza elementos que fazem com que a temperatura de uma área sofra aumento (SOLECKIA et al., 2005). Além do modo de vida da população, valores adotados e sistemas de consumo que induzem ao aumento da fragmentação da paisagem, o uso intensivo de energia e a pressão sobre os ecossistemas. Mesmo porque segundo o censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 84,4% da população brasileira vive em áreas urbanas (IBGE, 2010).

Quando a expansão urbana de uma cidade avança sobre áreas onde ainda há cobertura vegetal em grande proporção, uma das primeiras ações é a retirada desta cobertura vegetal (por supressão ou desmatamento), para que esta dê lugar à construção que servirá a diversos fins. Com isso deixa de existir um elemento atenuador da temperatura ambiente, causando um desequilíbrio no microclima local (GOMES; AMORIM, 2003; NASCIMENTO, 1995).

Souza (2004) afirma que as cidades mal planejadas sofrem graves problemas com o fenômeno denominado ilha de calor, que ocorre em locais com excessiva quantidade de construções e baixa concentração de áreas verdes onde a temperatura é mais elevada que áreas vizinhas não urbanizadas. Santos et al. (2011) estudando o campus da Universidade Federal da Paraíba em João Pessoa, ratificaram a importância da vegetação na atenuação do conforto térmico e no planejamento da ordenação urbana, para auxiliar a melhoria da qualidade ambiental e preservação dos recursos naturais.

Na Amazônia, grandes centros como a cidade de Manaus tem passado por problemas de desconforto térmico e altas temperaturas nos últimos anos. Estudo utilizando imagem de

satélites de 1990 a 2011, mostraram que a mudança ocorrida na área urbana em decorrência do uso e ocupação do solo contribuiu para a alteração do microclima da cidade (CARVALHO; SOARES; SILVA, 2013). Souza e Alvalá (2012), estudando o efeito da expansão urbana na cidade de Manaus e a evolução do seu microclima, detectaram que nas últimas décadas houve um acréscimo superior a 2,0°C na temperatura naquela cidade devido o processo de urbanização e aumento da população.

O município de Belém também vem apresentando problemáticas de expansão urbana. Em 1991 o município possuía aproximadamente 1 milhão de habitantes, enquanto que em 2014 estima-se uma população de 1.432.844 habitantes. Apresentando um aumento populacional de 8,7%, o que significa um expressivo crescimento demográfico, sendo considerada a maior aglomeração urbana em toda a região amazônica nos últimos 20 anos (IBGE 2010, 2014).

A cidade de Belém vem perdendo de forma acelerada o seu verde urbano. A perda apresenta características singulares, quando comparada a outras cidades brasileiras que igualmente sofrem diante do processo de especulação urbana e ocupação desordenada do solo. De acordo com Paranaguá et al. (2007) o desmatamento na região continental de Belém é muito maior do que na região insular, sendo estes iguais a 87,5% e 32,6%, respectivamente, resultado do crescimento urbano acelerado, sem planejamento e controle normativo do uso do solo.

A variação espacial da temperatura em Belém tem sido avaliada em alguns trabalhos, onde medições em dias específicos, no período seco e chuvoso, mostraram que em alguns bairros da cidade a temperatura foi menor em áreas mais arborizadas e com menor densidade de construções do que em lugares com pouca ou nenhuma arborização e com grandes adensamentos de construções (COSTA, 2013; NASCIMENTO, 1995¹; SILVA JÚNIOR et al., 2012).

Na região no entorno do Aeroporto Internacional de Val-de-Cans, tem recebido efeitos da expansão da cidade de Belém devido a proximidade com o centro. Como alternativa ao crescimento populacional, diversas construções habitacionais, de lazer como Shopping Center e de infraestrutura, como avenidas alternativas de tráfego estão sendo construídas nos últimos anos e estar afetando a paisagem local com reflexos nas condições climáticas.

¹ Nascimento 1995, em CLIMA E MORFOLOGIA URBANA EM BELÉM, realizou uma análise da morfologia urbana na primeira Léngua patrimonial de Belém. Verificou através de instrumentos de medição de temperatura, espalhados por diversos pontos da cidade, como esta influencia a geração de ilhas de calor.

Os estudos de clima urbano visando identificar associações entre os padrões climáticos e mudanças na paisagem têm sido possíveis graças ao desenvolvimento de metodologias estatísticas, sensores e sistemas que permitem a identificação de ilhas de calor e métricas da paisagem por meio de análises de longas séries temporais.

Considerando as questões sobre mudanças climáticas apresentadas anteriormente e o processo constante de expansão urbana pelo qual passa a cidade Belém-PA e diante de mecanismos oceano-atmosfera apresentam-se os seguintes questionamentos: Está ocorrendo o aumento da temperatura horária do ar na região do Aeroporto Internacional da cidade de Belém? Se estiver ocorrendo esse aumento, quais as possíveis causas? Através dos questionamentos apresentados levantaram-se as hipóteses:

- Os fatores atmosféricos como El Niño e La Niña influenciam na variação (aumento ou diminuição) da temperatura do ar;
- O fator antrópico, como a expansão urbana, influencia na variação da temperatura do ar.

Portanto, o objetivo principal desta pesquisa: analisar a variação horária da temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho, na região onde está localizada o Aeroporto Internacional de Belém, ao longo de 31 anos.

Como objetivos específicos, buscou-se:

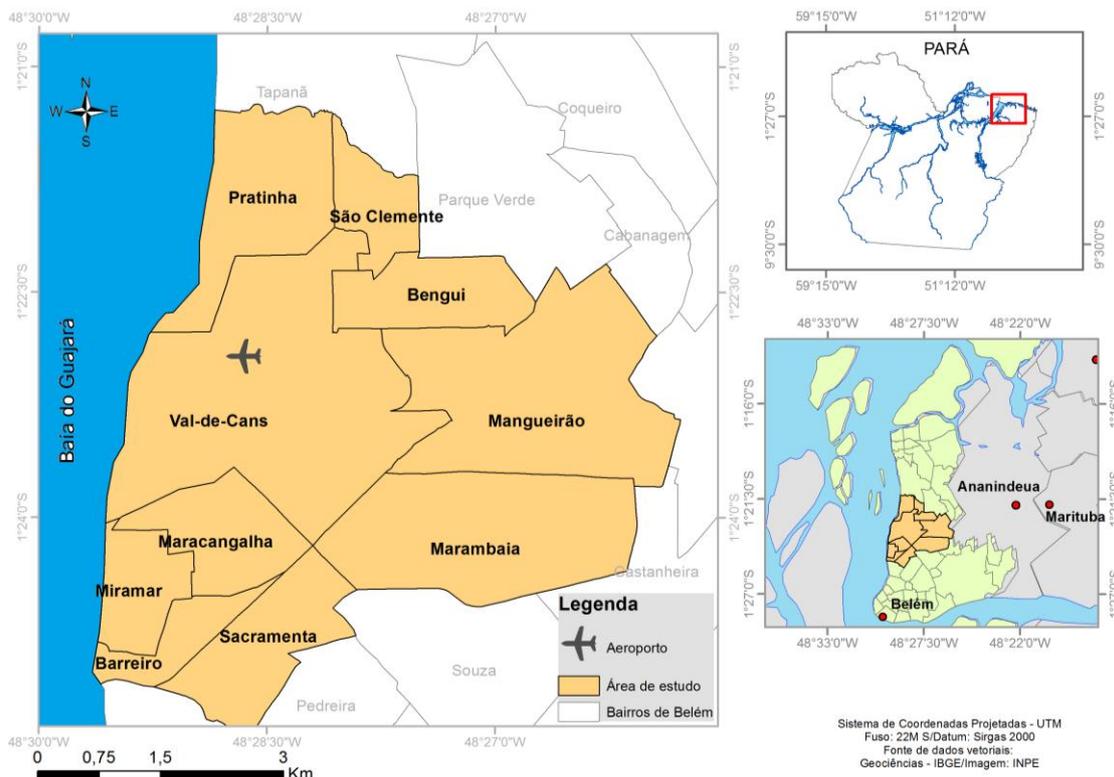
- Analisar a variação horária, mensal e anual da temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho na estação do Aeroporto Internacional de Belém e sua relação com os fenômenos naturais (El Niño e La Niña);
- Identificar a influência do crescimento urbano na variação da temperatura ocorrida na região do Aeroporto Internacional de Belém;
- Verificar o conforto térmico na região do Aeroporto Internacional de Belém;
- Avaliação da cobertura vegetal e sua influencia na variação de temperatura do ar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A cidade de Belém, capital do estado do Pará (Figura 1), está localizada às margens da Baía do Guajará (latitude $01^{\circ} 26' 06''$ S, Longitude $48^{\circ}26'16''$ W e altitude média de 16m), situada a uma distância de aproximadamente 100 km do Oceano Atlântico, é banhada pelo Rio Guamá ao sul, Baía do Guajará e rio Pará a oeste. De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima é do tipo tropical Am (quente e úmido), com temperatura média de $26,0^{\circ}\text{C}$, umidade relativa do ar variando entre 80 a 90% e precipitação média anual de 2.783,8 variando entre 2.054,7 a 3.753,9 mm. A cidade tem como característica dois períodos distintos de quantidade de precipitação, o chuvoso que se estende de Dezembro a Maio e o menos chuvoso de Junho a Novembro (BASTOS et al., 2002; FIGUEROA; NOBRE, 1990).

Figura 1 - Mapa de localização: Belém, Aeroporto Internacional de Belém-PA e bairros do entorno



Fonte: Do autor.

Belém compreende uma área de $1.059,406\text{ km}^2$ e uma população estimada de 1.432.844 habitantes (IBGE, 2014). Somente na área continental possui 49 bairros, destes, a pesquisa foi realizada na região de Val de Cans, que incluem os bairros: Val-de-Cans, Pratinha, Barreiro, Marambaia, Maracangalha, Mangueirão, Miramar, Sacramento, São Clemente e Bengui (Figura 1). Até meados de 1938, o local onde está localizado o Aeroporto

Internacional de Belém era uma fazenda denominada de Val-de-Cans, e posteriormente foi instalada a Estação Meteorológica de Superfície (EMS) aprovada pelo departamento de controle do espaço Aéreo (INFRAERO, 2015; BRASIL, 2011).

2.2 Material

Foram utilizados dados horários de temperatura do ar (°C) e temperatura do ponto de orvalho (°C), no período de 1975 a 1994 e 2003 a 2013, com total de 543.504 dados. São dados observados na estação meteorológica de superfície do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo em Belém (DTCEA-BE), localizada no Aeroporto Internacional de Belém, na latitude 01°26'08" S e longitude 48°28'58" W (Figura 1). Essa estação meteorológica é a única na cidade de Belém, que permanece na mesma localização desde a sua instalação, e as observações são horárias, permitindo análise detalhada de variáveis meteorológicas como temperatura do ar, precipitação pluviométrica, pressão atmosférica, entre outros.

As planilhas de dados de temperatura do ar e do bulbo úmido, do período de 1975 a 1994, foram disponibilizadas no formato analógico e digitalizadas para meio eletrônico. Para o período de 2003 a 2013, os dados de temperatura do ar e ponto de orvalho, foram obtidos no sítio da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET), pelo código METAR. O preenchimento de falhas foi realizado pelo método da média aritmética simples para o mesmo horário, conforme Fernandez (2007). Para o período de 1995 a 2002 os dados não foram disponibilizados para este estudo.

Os dados de precipitação são da estação de Belém (n° 82191, 1° 43' S e 48° 43' W) no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período de 1975-2013.

A densidade populacional da cidade de Belém do ano de 2000 e 2010 foi obtida através de dados censitários, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE).

Para avaliação espaço-temporal das mudanças de uso e cobertura do solo e análise de temperatura de superfície foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT TM-5 e LANDSAT 8, para os anos de 1985 e 2013 respectivamente. As imagens multiespectrais foram disponibilizadas gratuitamente pela NASA via U.S. Geological Survey (USGS).

O mapeamento da área de estudo foi realizado a partir da base cartográfica com dados vetoriais (shapefile) obtidos do sítio do IBGE/Geociências. Também se utilizou o receptor GPS Garmim Montana 600 series 2012/2013 para registro de coordenadas em campo das principais estações meteorológicas de superfície em funcionamento em Belém-PA.

Foi utilizado o Índice El Niño Oceânico (ONI) e dipolo do Atlântico, disponíveis e descritos no portal da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2014).

2.3 Métodos

No período de 1975 a 1994, os dados disponíveis são das temperaturas do bulbo seco e bulbo úmido, enquanto que no período de 2003 a 2013 são das temperaturas do bulbo seco e ponto de orvalho. Para obter uma série única (bulbo seco e ponto de orvalho), a temperatura do bulbo úmido foi transformada em temperatura do ponto de orvalho. O cálculo da T_d foi realizado por meio da equação de Tetens (1930 apud. WALLACE; HOBBS, 2006), para o período de 1975 a 1994, dada por:

$$T_d = \frac{237,3(\log e - \log 6,11)}{7,5 - (\log e - \log 6,11)} \quad (1)$$

Onde,

e = pressão de vapor, dada pela equação:

$$e = e_w - 0,799(T - T_w) \quad (2)$$

T = temperatura do bulbo seco em °C.

T_w = temperatura do bulbo úmido em °C.

e_w = pressão de vapor do bulbo úmido em hpa, obtida pela equação:

$$e_w = 6,11 * 10^{\frac{(7,5 * T_w)}{(237,3 + T_w)}} \quad (3)$$

Posteriormente, foi realizada a análise exploratória da série de dados calculando-se a média horária, mensal e anual de temperatura do ar e do ponto de orvalho, nos períodos definidos como I (1975-1984), II (1985-1994) e III (2003-2013).

A temperatura do ponto de orvalho (T_d) é definida como a temperatura à qual o ar deve ser arrefecida, a uma pressão constante, para se tornar saturada em relação a uma superfície plana (WALLACE; HOBBS, 2006). Os dados de temperatura do ponto de orvalho foram usados também para calcular a razão de mistura que é expressa em gramas de vapor d'água por quilograma de ar seco, calculada pela seguinte equação.

$$r = 0.622 * \frac{e}{P - e} \quad (4)$$

Sendo e pressão de vapor e P pressão atmosférica.

Foi utilizada também a temperatura da superfície do mar para verificar anos de El Niño e La Nina. As medições de TSM são agrupadas de 3 em 3 meses e são consideradas

anômalas as temperaturas que excedam 0,5° acima ou a baixo do habitual. Para ser considerado um período anômalo é também necessário que as temperaturas mantenham-se atípicas por pelo menos cinco períodos consecutivos (Tabela 1).

Tabela 1 - Variação de Temperatura da Superfície do Mar (TSM).

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1975	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-1	-1,1	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7
1976	-1,5	-1,1	-0,7	-0,5	-0,3	-0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8
1977	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8
1978	0,7	0,5	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	-0,1
1979	-0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0	0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6
1980	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	0	0	-0,1
1981	-0,4	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1
1982	-0,1	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	1	1,5	1,9	2,1	2,2
1983	2,2	1,9	1,5	1,2	0,9	0,6	0,2	-0,2	-0,5	-0,8	-0,9	-0,8
1984	-0,5	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1
1985	-1	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4
1986	-0,5	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1	0	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2
1987	1,2	1,3	1,2	1,1	1	1,2	1,4	1,6	1,6	1,5	1,3	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,2	-0,8	-1,2	-1,3	-1,2	-1,3	-1,6	-1,9	-1,9
1989	-1,7	-1,5	-1,1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	1,2	1,4
1992	1,6	1,5	1,4	1,2	1	0,7	0,3	0	-0,2	-0,3	-0,2	0
1993	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	1	1,2
2003	1,1	0,8	0,4	0	-0,2	-0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
2004	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0	-0,2	-0,5	-0,8
2006	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	1
2007	0,7	0,3	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,8	-1,1	-1,2	-1,4
2008	-1,5	-1,5	-1,2	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,5	-0,7
2009	-0,8	-0,7	-0,5	-0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	1,4	1,6
2010	1,6	1,3	1	0,6	0,1	-0,4	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5
2011	-1,4	-1,2	-0,9	-0,6	-0,3	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1
2012	-0,9	-0,6	-0,5	-0,3	-0,2	0	0,1	0,4	0,5	0,6	0,2	-0,3
2013	-0,6	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4

Fonte: Climate Prediction Center, (2014)

Os números representados pela cor vermelha indicam que as temperaturas estavam acima do considerado habitual, ou seja, estavam mais quentes, indicando possível período de influência de El Niño. Os números em azul indicam que as temperaturas estavam abaixo da normalidade, sugerindo possível período de influência de La Niña. Os números em cor preta representam temperaturas dentro do considerado habitual.

2.3.1 Método de Ondeleta de Morlet

Entre as técnicas de análise de séries temporais de variáveis meteorológicas, a transformada de Ondeletas (Wavelet) tem sido aplicada para estudos de temperatura do ar com o objetivo de analisar sinais e compreender dados por meio de funções matemáticas (VILANI; SANCHES, 2013). Essa técnica foi desenvolvida por Jean Morlet na década de 80, utiliza a ideia

de aproximação usando a superposição de funções, capaz de decompor e descrever outras funções em diferentes escalas de frequência, tempo e intensidade de energia (BOLZAN, 2006).

Nas últimas décadas, as transformadas de Ondeletas têm sido extensivamente adotadas na ciência atmosférica. São divididas em transformadas contínuas (Continuous wavelet transform – CWT) e discretas (Discrete wavelet transform - DWT) (DOMINGUES; ODIM; COSTA, 2005). São úteis por permitir investigações de tendência climática e periodicidades presentes nas séries (BLAIN; LULU, 2011). Trabalhos recentes como os Vilani e Sanches (2013) e Blain e Lulu (2011) utilizaram análise de Fourier e Ondeletas aplicada à temperatura do ar em área urbana e rural, e obtiveram resultados importantes analisando picos dominantes em série temporais obtidas por estações meteorológicas.

Foi aplicada na variável Temperatura do ar a técnica da Transformada em Ondeletas, mediante a utilização de um programa de análise em Ondeleta proposto por Torrence e Compo (1998). A Técnica é uma ferramenta estatística que realiza a decomposição em escalas de frequências de uma série temporal de um dado específico possibilitando as análises das escalas e intensidade de energia das frequências que compõem a série temporal.

Para realizar a análise de Ondeletas nas séries temporais foi realizado um pré-processamento que consiste em duas etapas. A primeira etapa, as séries foram normalizadas pelos respectivos desvios-padrões. Em segundo, a tendência linear das séries normalizadas foi retirada através de uma média móvel. A análise de Ondeleta foi feita nas séries pré-processadas (i.e., normalizadas e sem tendência). Não foi realizado nenhum procedimento de filtragem de oscilações e/ou ciclos.

O intervalo de tempo entre cada dado é tomado como sendo 1, pois se tem um dado por dia. A Ondeleta mãe é a de Morlet sendo que a relação período versus escala foi tomada como $\omega_0 = 6$ (Tabelas 1 e 2 de TORRENCE; COMPO, 1998). A menor escala onde será aplicada a Ondeleta é o dobro do intervalo de tempo e o nível de significância usado foi de 0,05 (95% de significância). O coeficiente que auto correlaciona a série foi tomado como $\alpha = (C_{x,y(\text{comlag1})} + C_{x,y(\text{comlag2})})^{0.5} / 2$, onde $C_{x,y(\text{comlag1})}$ é a auto correlação da série com lag 1 e $C_{x,y(\text{comlag2})}$ é a auto correlação da série com lag 2. A escolha destas características foi em função do recomendado no artigo de Torrence e Compo (1998).

A Ondeleta de Morlet, escolhida como ondeleta-mãe, é uma função periódica (no tempo) cuja amplitude é modulada por uma Gaussiana (no tempo), dada pela equação:

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} e^{i\omega t} e^{-\frac{1}{2}t^2} \quad (5)$$

Em que:

ψ é o valor da Ondeleita para um parâmetro não-adimensional;

ω é a frequência em que se adota $\omega=6$ para satisfazer a condição de admissibilidade, conforme Torrence e Compo (1998);

t refere-se ao período ou escala temporal de análise (adimensional).

Devido à transformada de Ondeleita não ser completamente localizada no tempo, o resultado final possui efeitos de bordas e, por isso, usa-se o cone de influência (COI) em que os efeitos de borda podem ser desprezados. Dessa maneira foi utilizada as temperaturas máximas (T_x) e mínimas (T_n), por períodos: I (1975-1984), II (1985-1994) e III (2003-2013), afim de obter informações mais detalhadas da temperatura em função do (tempo, escala e intensidade de energia), podendo estar associados ou não com os anos de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña e/ou dipolo do atlântico. O número de dados utilizados de temperatura do ar foi de 22634.

2.3.2 Temperatura de superfície e cobertura de áreas verdes

Além dessas técnicas, o sensoriamento remoto também tem avançado em estudo de clima urbano integrado ao sistema de informações geográficas (SIG). Os estudos ambientais ganharam um grande destaque a partir da década de 70, quando foi instituído o programa ERTS, posteriormente chamado de LANDSAT em 1975 com satélites orbitais compostos por sensores ópticos (WENG; LU; SCHUBRING, 2004).

A utilização de imagens de satélite, no início do programa LANDSAT, era somente com vistas a obter informações para monitoramento ambiental, para estudo de vegetação e desmatamento, mas com o tempo, novas aplicações foram descobertas, inclusive para estudos climáticos (CHEN et al., 2006). Isso foi possível graças aos avanços no setor de tecnologia da informação, desenvolvimento de máquinas com maior capacidade de processamento de dados e profundo interesse da comunidade científica sobre a variabilidade climática do planeta.

Atualmente, as imagens multiespectrais LANDSAT são as mais utilizadas pelas possibilidades de aplicações e acessibilidade de forma gratuita. Os novos dados de reflectância da superfície são disponibilizados, por meio de sensores ópticos imageadores

(Operational Land Imager-OLI e Thermal Infrared Sensor-TIRS) e tem permitido estudos de efeitos das mudanças no padrão da vegetação sobre o clima, por alteração do albedo, evapotranspiração e emissão de carbono na atmosfera (MASEK et al., 2006).

Por meio de transformações de números digitais em radiância é possível estimar a temperatura de superfície (TST), em graus Celsius. As imagens na faixa do Infravermelho termal (TIRS) são obtidas com pixel de 100 metros, sendo processada e disponibilizada em 30 metros como a maioria das bandas multiespectrais (USGS, 2014).

Nesse contexto, diversos estudos têm sido conduzidos para analisar os padrões de uso e ocupação do solo e ilhas de calor por meio da estimativa de TST. Variações na temperatura da superfície podem ser influenciadas pela alteração do balanço de energia associados à quantidade de cobertura vegetal (AGAM et al., 2007).

2.3.2.1 Aquisição das imagens e pré-processamento

Para a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo foi consultado o banco de dados de imagens Landsat 5, sensor TM (Thematic mapper) e Landsat 8, sensor OLI/TIRS (Operational Land Imager/ Thermal Infrared Sensor), disponíveis gratuitamente em <http://earthexplorer.usgs.gov/>. No catálogo de imagens foram selecionadas as cenas disponíveis para a órbita 223 no ponto 61, para a área de estudo em 31/08/1985 para o horário 12:52 (UTC) e 27/07/2013 no horário 13:24 (UTC).

A imagem de temperatura de superfície de 1985 foi obtida separadamente por meio de produtos pré-processados LANDSAT 4-5, disponíveis na base de dados de reflectância de superfície “Landsat Surface Reflectance Climate Data Record” do USGS, NASA. Já para imagem de 2013, oriunda do satélite Landsat 8 foi necessário realizar alguns procedimentos de redimensionamento radiométrico e correção atmosférica, principalmente na banda 10, correspondente a faixa do infravermelho termal (10.6 - 11.19 μm - micrômetro), utilizada para calcular a temperatura de superfície, conforme procedimentos recomendados pelo USGS. Apesar do sensor termal do Landsat 8 ser mais preciso que o do Landsat 5 (Tabela 2), as medidas realizadas pelo sensor termal do landsat 5 são bem calibradas (SCHOTT et al., 2012). A tabela 2 representa as características dos sensores termais do Landsat (BARSI, 2014).

Tabela 2- Sensores Termiais do Landsat

Instrument	Band (#)	Center Wavelength (μm)	Bandwidth (μm)	Spatial Resolution (m)	Active Detectors (#)	NE Δ T(K@280K)
TM	6	11.4	2.0	120	4	0.17-0.30
TIRS	10	10.9	0.6	100	1920 (3X640)	0.05

Fonte: Barsi (2014)

2.3.2.2 Processamento das imagens de temperatura

Na imagem de 2013 aplicou-se a conversão do topo da atmosfera (TOA) para radiância seguido do uso dos parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, depois para temperatura Kelvin, de acordo com as equações 6 e 7 e Tabelas 3 e 4, fornecidas pelo USGS (2014).

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (6)$$

Tabela 3 - Componentes e valores da fórmula de conversão para radiância extraídos do metadados da imagem do Landsat-8, banda 10

$L\lambda$	Radiância Espectral do sensor de abertura em (Watts/(m ² *sr* μ m))
M_L	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10=3.3420E-04
A_L	Fator de redimensionamento aditivo da banda 10=0.10000
Q_{cal}	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN=Imagem banda 10

Fonte: USGS, 2014.

Após a transformação dos valores em radiância aplicou-se a equação 7 para transformar os valores obtidos na primeira em temperatura de valor em Kelvin:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (7)$$

Tabela 4 - Componentes e valores da constante de calibração extraídos do metadados da imagem Landsat-8, banda10

T	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
K2	Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)
K1	Constante de calibração 1 = 774.89 (K)
$L\lambda$	Radiância espectral em (Watts/(m ² sr μ m))

Fonte: USGS (2014)

Após este procedimento, os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273,15), gerando o raster de temperatura de superfície em graus Celsius (°C). Com a temperatura de superfície no formato matricial (raster) fez-se o recorte da área de estudo e estabeleceram-se classes de temperatura de superfície com intervalo de 1,5°C para facilitar a visualização da variação entre classes nos anos estudados.

2.3.2.3 Mapeamento da cobertura vegetal

Para a geração do mapa de uso e cobertura utilizou-se duas imagens, uma para o ano de 1985 com o satélite Landsat 5 e outra para 2013 com o LANDSAT 8, ambas pré-processadas, compactou-se as bandas espectrais de 1 a 6 para facilitar o processamento de classificação digital e definiu-se os principais usos do solo, dividindo-os em áreas com e sem cobertura vegetal. As classes estabelecidas foram:

- Área urbana: área com edificações continua composta, por prédios, casas, ruas, telhados, asfalto, entre outros, destinada a funções de habitação, trabalho, recreação e circulação, segundo a Lei Nº 5.172, de 25 de outubro de 1966, disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15172.htm, que define Zona Urbana.
- Áreas verdes: remanescentes de vegetação primária ou secundária, nativa ou introduzida, árvores, arbustivas ou herbáceas, localizadas nas praças, parques, florestas em unidades de conservação ou em áreas de uso comum no centro urbano e/ou nas zonas periféricas, com expansão urbana.

Para definição dessas áreas adotou-se o método de classificação supervisionada, portanto, foram necessárias coletas de assinaturas espectrais das respectivas classes de uso do solo e analisados os histogramas para verificar o comportamento dos alvos para cada banda espectral e tentar obtê-las mais homogêneas possíveis.

Obtidas as amostras, testaram-se diferentes tipos de classificadores e escolheu-se o algoritmo de Distância Mínima Euclidiana, um tipo de classificação supervisionada pixel a pixel, onde o classificador calcula o valor espectral do pixel candidato pela média daqueles que apresentam menor distância. Segundo Menezes e Almeida (2012) a vantagem do método é que todos os pixels encontrarão uma média à qual estarão espectralmente mais próximos, e assim, não existirão pixels não classificados. O método se utiliza da medida de distância Euclidiana, onde cada pixel será incorporado a um agrupamento através da análise da medida de similaridade, que é dada por:

$$D(x,n) = \sqrt{(x_i - m_i)^2} \quad (8)$$

Onde:

x_i =pixel candidato;

m_i =média das classes;

n =número de bandas;

Após a classificação utilizou-se do link geográfico para sobrepor a imagem classificada e a composição colorida R (Banda 4), G (banda 5) e B(banda 3), onde por interpretação visual escolheu-se a melhor classificação. Posteriormente, as áreas totais de cada feição foram quantificadas em hectare e calculou-se o percentual de áreas verdes por bairro.

2.3.5 Conforto térmico

Para o estudo do conforto térmico, nesta pesquisa, foi aplicado o Índice de Temperatura Efetiva (TE) de Thom e Bosen (1959) e realizado gráfico de dispersão e regressão linear para verificar a relação entre a temperatura efetiva e a porcentagem de urbanização e vegetação.

O Índice de Temperatura Efetiva (TE) é um método, considerado bastante eficiente para regiões de clima quente, é de simples aplicação, pois permite a definição de zonas de conforto térmico utilizando dados de temperatura do bulbo seco e do ponto de orvalho, equação 9.

$$TE = 0,4 * (Ts + Td) + 4,8 \quad (9)$$

Onde:

T_s é a temperatura do bulbo seco;

T_d é a temperatura do ponto de orvalho;

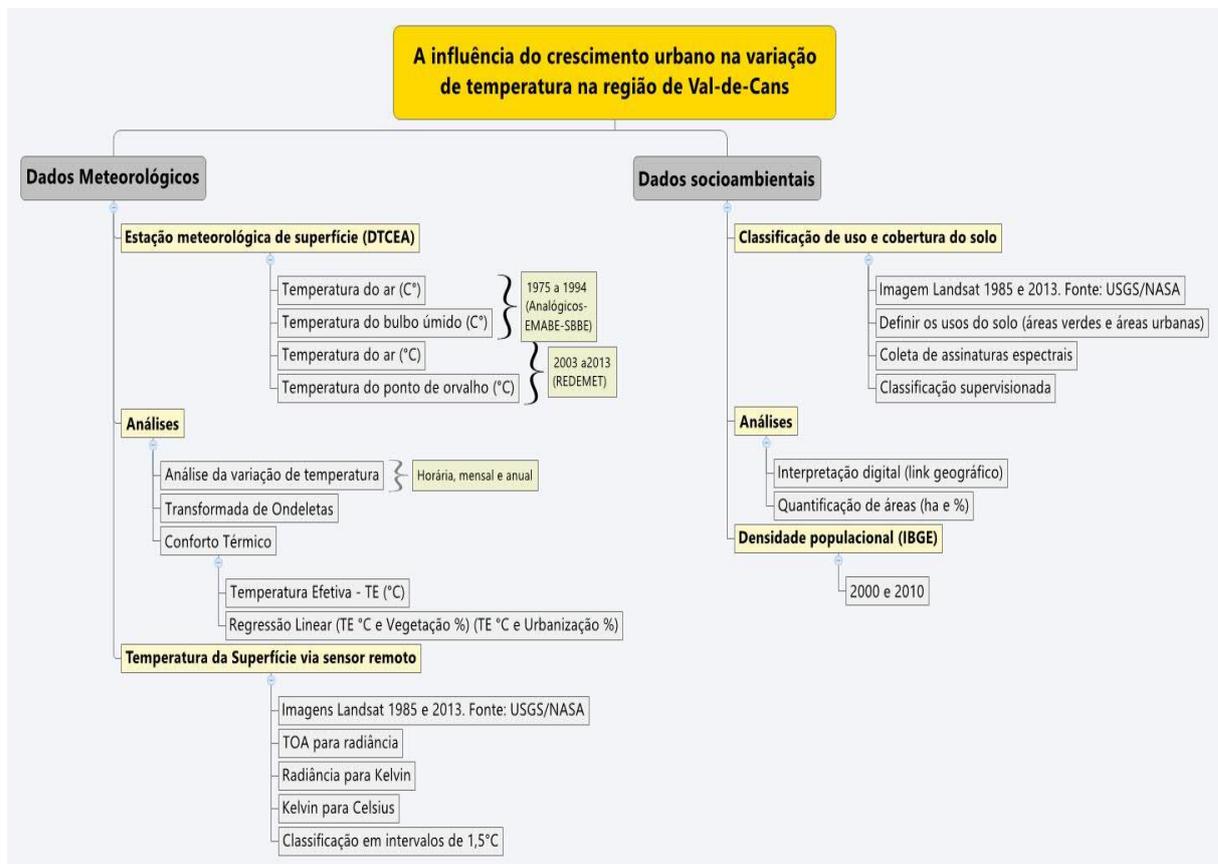
A temperatura efetiva (TE) foi calculada destacando o valor máximo e mínimo mensal de temperatura do bulbo seco e ponto de orvalho para cada ano. Após a obtenção da mesma, estas foram analisadas por períodos: I (1975-1984), II (1985-1994) e III (2003-2013) e relacionadas com as faixas de desconforto térmico correspondente, proposta por Thom e Bosen (1959), ilustrada na Tabela 5. Portanto em resumo na Figura 2 é apresentado um esquema metodológico utilizado nesta pesquisa.

Tabela 5 - Faixa de desconforto térmico, modelo de Thom e Bosen (1959) relacionado com o Índice de Temperatura Efetiva (TE)

TE (°C)	FAIXA DE CONFORTO
> 29	Estresse Térmico
27,0°C - 29,0°C	Muito Desconfortável
24,0°C - 26,9°C	Desconfortável
20,0°C - 23,9°C	Confortável
16,0°C - 19,9°C	Ligeiramente Desconfortável
< 15,9°C	Estresse Térmico

Fonte: Thom e Bosen (1959)

Figura 2 - Esquema metodológico



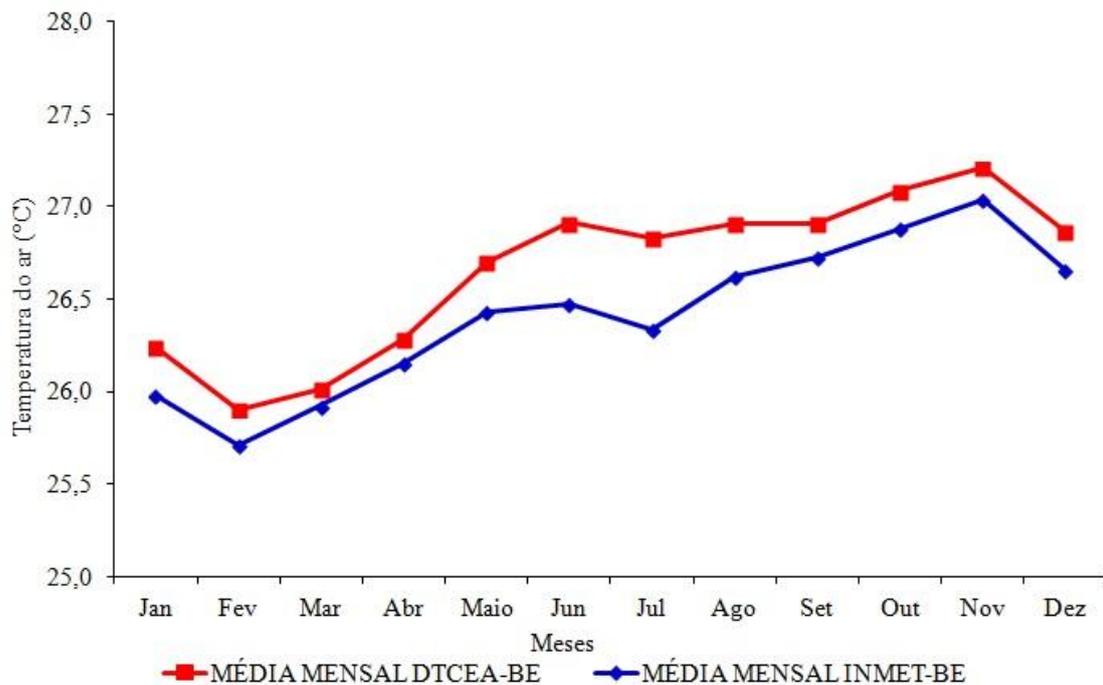
Fonte: Do autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variação da temperatura do ar para as estações meteorológicas do DTCEA-BE e INMET-BE

A variação da temperatura média mensal do ar no período estudado (1975-2013) para as estações do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo em Belém (DTCEA-BE) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET-BE) é apresentada na Figura 3. Observa-se que as estações apresentam o mesmo padrão de temperatura do ar, com maiores temperaturas do ar no período menos chuvoso, em novembro e menores no mais chuvoso em fevereiro. Porém as mesmas são mais elevadas na estação do DTCEA-BE que do INMET-BE, com máximas diferenças ocorrendo nos meses de junho (0,4 °C) e julho (0,5 °C).

Figura 3 - Variação média mensal da temperatura do ar para a estação do DTCEA-BE (linha vermelha) e INMET-BE (linha azul) em Belém-PA para o período de 1975 a 2013

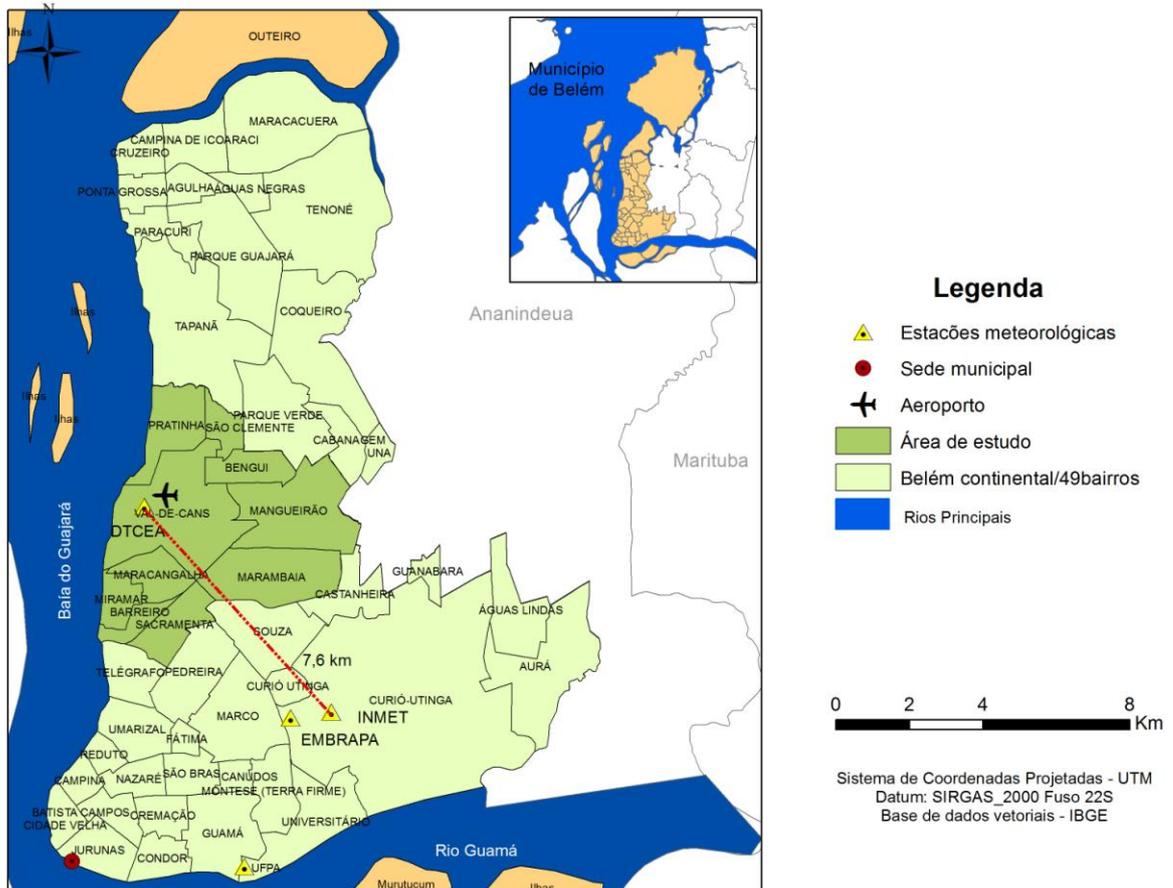


Fonte: Do autor.

As diferenças entre as temperaturas do ar apresentadas podem ser explicadas pela localização de cada estação, pois a estação meteorológica do INMET-BE encontra-se no bairro Curió-Utinga, um bairro com grandes áreas verdes, além de estar próximo ao Parque Estadual do Utinga (PEUT), que é uma Área de Proteção Ambiental (APA). O PEUT é um dos maiores parques ambientais em região metropolitana do Brasil. Nele são encontrados os mananciais de abastecimento de água (lagos Bolonha e Água Preta) da cidade de Belém-PA. Enquanto que a estação do DTCEA-BE fica aproximadamente 7,6 quilômetros de distância

em linha reta da estação do INMET-BE (Figura 4), na área de abrangência do aeroporto, na região de Val-de-Cans.

Figura 4- Localização das estações DTCEA-BE e INMET-BE



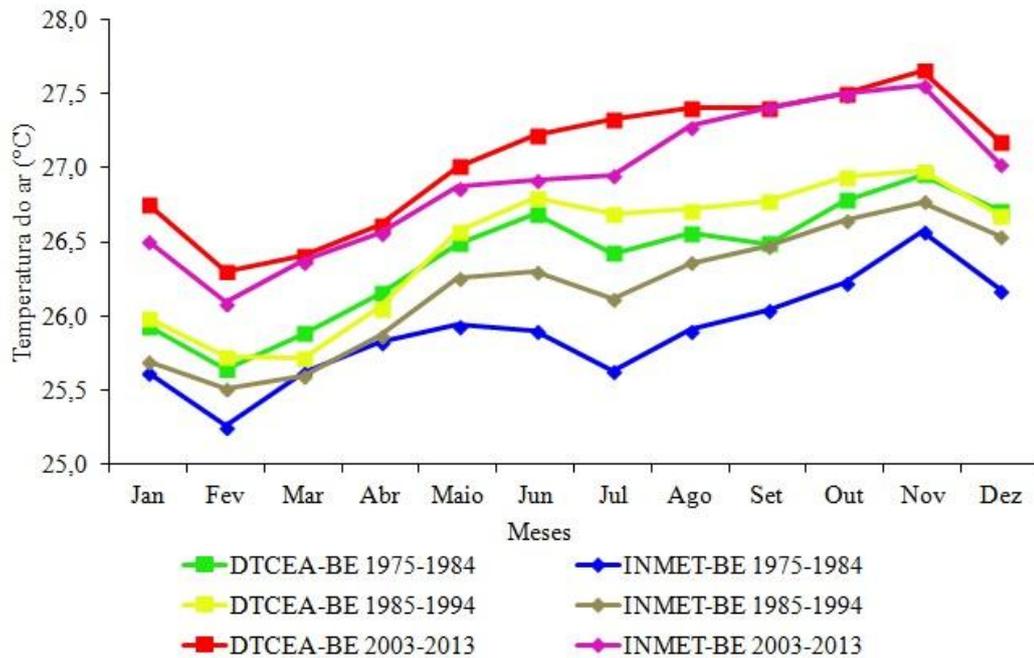
Fonte: Do autor.

Essas diferenças entre as temperaturas do ar de várias regiões e/ou bairros de Belém-PA, foram encontradas por outros pesquisadores, observando que diferentes coberturas do solo, apresentam significativa influência sobre a variabilidade da temperatura do ar entre os bairros. Verificando que os maiores valores de temperatura do ar estavam em regiões/bairros com pouca cobertura vegetal, elevada porcentagem de calçamento e edificações, além de intensa atividade antrópica, enquanto que os mínimos ocorreram próximos de locais com grande porcentagem de arborização (COSTA, 2013; NASCIMENTO, 1995; SILVA JUNIOR, 2013).

Analisando a variação da temperatura média mensal do ar, por períodos e para as duas estações (DTCEA-BE e INMET-BE), é possível observar que no período I (1975-1984) as duas curvas de temperaturas do ar apresentavam maiores diferenças entre elas, chegando à diferença aproximada de $0,8^{\circ}\text{C}$ em junho e julho, e sempre a estação do aeroporto tem a temperatura do ar maior (Figura 5). Essa desigualdade foi diminuindo para $0,6^{\circ}\text{C}$ no período II (1985-1994) e $0,4^{\circ}\text{C}$ no período III (2003-2013). Entretanto, pode ser percebido que a

temperatura média mensal do ar das estações confirma aumento entre os três períodos analisados, por exemplo, a temperatura média no mês de novembro na estação do DTCEA-BE apresentou um aumento de 0,7 °C, pois no período I era 27,0 °C e no período III com 27,7 °C. Enquanto que na estação do INMET-BE, o aumento foi de 1,0 °C para o mesmo mês, com 26,6 °C no período I passando para 27,6 °C no período III.

Figura 5 - Variação da temperatura média mensal do ar por período para as estações do DTCEA-BE e INMET-BE. Período I (1975-1984) DTCEA-BE (linha verde) e INMET-BE (linha azul); período II (1985-1994) DTCEA-BE (linha amarela) e INMET-BE (linha cinza); período III (2003-2013) DTCEA-BE (linha vermelha) e INMET-BE (linha rosa)



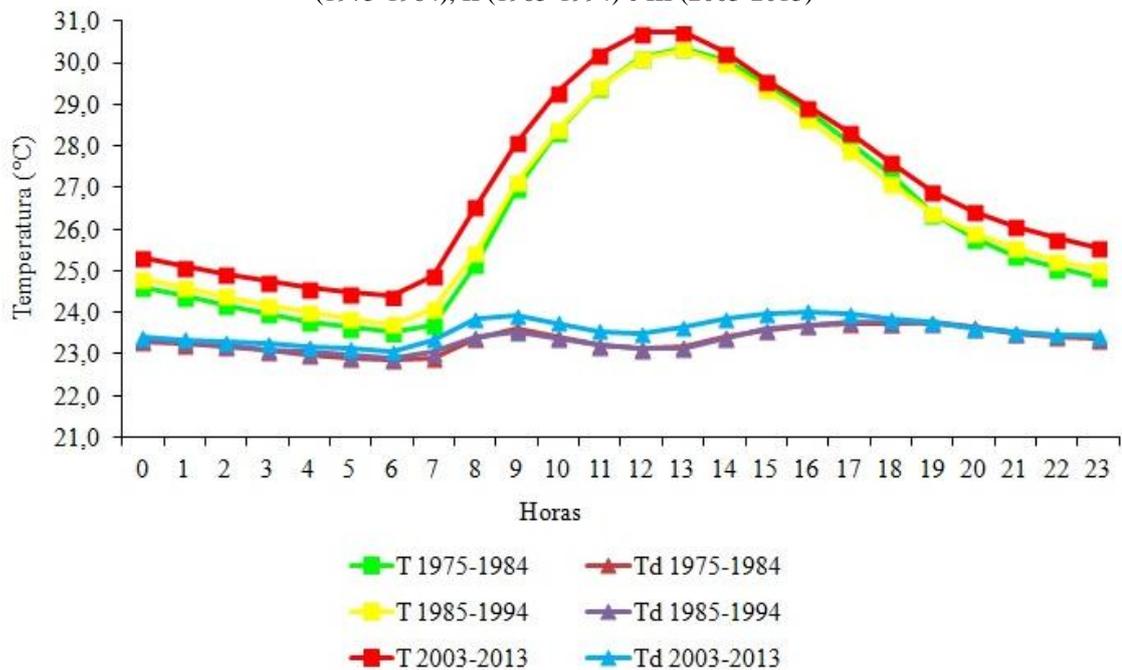
Fonte: Do autor.

As diferenças e aumentos das temperaturas entre os períodos observados podem estar associados à expansão urbana e/ou a ocorrência de fenômenos naturais como El Niño e La Niña. Esses fenômenos naturais influenciam na variação de temperatura de uma região, conforme estudos de Oliveira et al. (2008), para cidade de Manaus (AM), e Guimarães e Reis (2012), para as cidades de Recife e Cuiabá, que mostraram aumento de temperatura em anos de El Niño e redução em anos de La Niña.

A Figura 6 mostra a variação horária média de temperatura do ar (T) e temperatura do ponto de orvalho (Td) por períodos: I (1975-1984), II (1985-1994) e III (2003-2013), da estação do DTCEA-BE. Observar-se que os valores máximos de (T) ocorrem no horário de 13 horas local (HL) e o mínimo as 06 HL para os três períodos, sendo que este é um padrão para a região equatorial. Nos períodos I e II, o máximo de (T) foi de 30,3°C e no período III foi de 30,7°C. Os mínimos foram de 23,5°C no período I, em II foi de 23,7°C e 24,4°C no período III. Demonstrando que esta havendo um aumento de (T), tanto no horário das 13 HL como

das 06 HL, ao longo dos anos, pois no período de 31 anos, a temperatura média horária do ar teve um aumento de 0,4°C no horário da máxima (13 HL) e 0,9°C no horário da mínima diária (06 HL). A Td possui pequenas variações horárias, com mínimo a 06 HL e máximo entre os horários de 15 a 17 HL, apresentando nesses horários valores de 17,85 g/kg e 18,9 g/kg de razão de mistura, respectivamente. Porém os valores sempre foram maiores que 17 g/kg, em todos horários (Figura não mostrada). Isto significa que Belém, uma cidade plana, circundada por 2 rios e uma baía, tem grande quantidade de vapor d'água nos baixos níveis da troposfera (Superfície-925 hPa), conforme pesquisa realizada por Ananias et al. (2010). Além disso, no horário entre 15 e 17 HL, ocorre precipitação na cidade o que contribui para aumentar essa quantidade, o que já foi confirmado em estudo feito por Ferreira, De Souza e Moraes (2013).

Figura 6 - Variação horária média da temperatura do ar (T) e temperatura do ponto de orvalho por período: I (1975-1984), II (1985-1994) e III (2003-2013)



Fonte: Do autor.

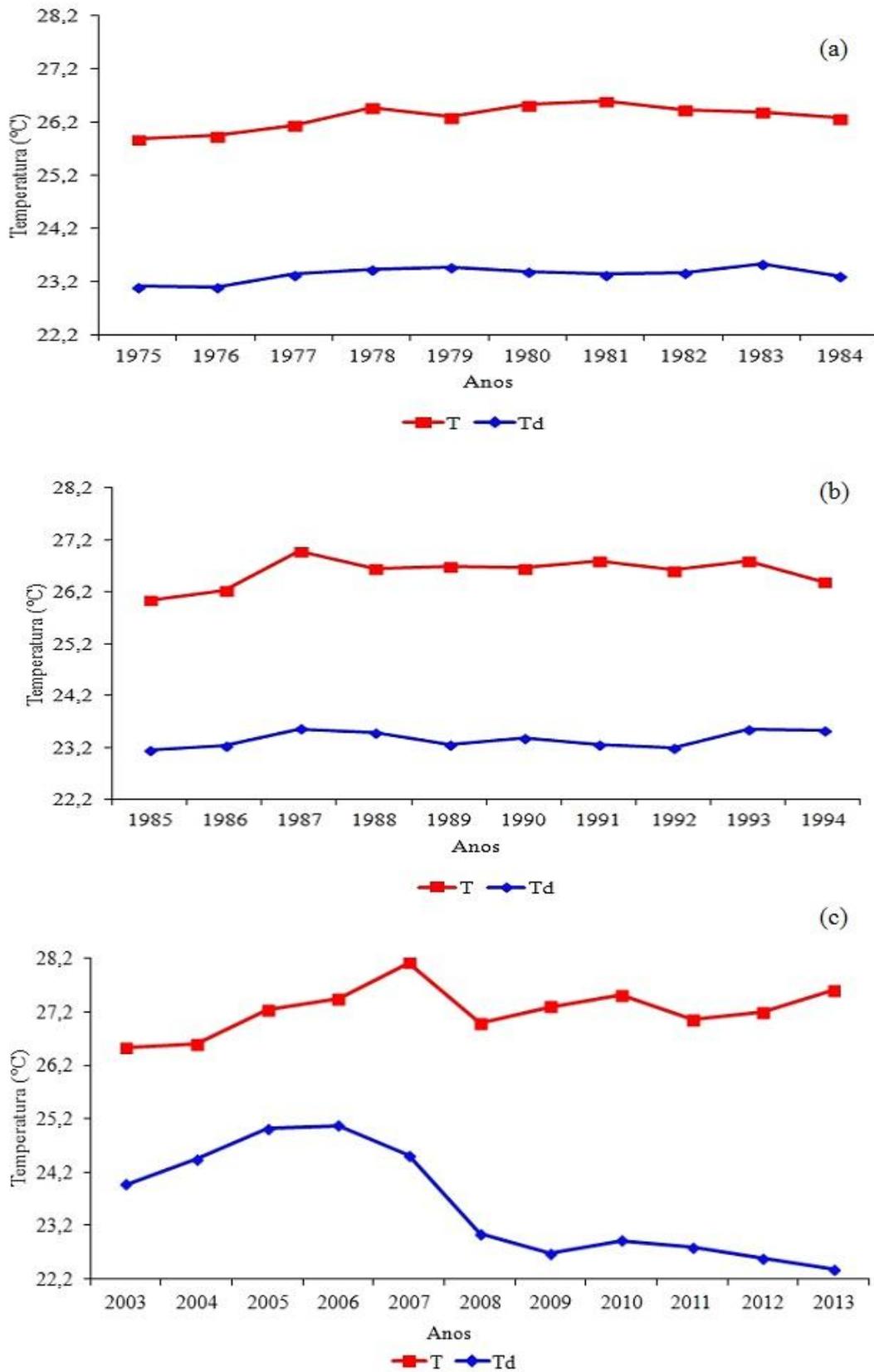
Em estudo sobre as condições termo-higrométricas na cidade de Belém-PA, Costa (2013) levantou a hipótese de que o aumento das temperaturas máximas e mínimas em alguns bairros é devido a efeito local de ilhas de calor urbana que se intensificam com o crescimento populacional, isto porque, há redução de áreas verdes para construção de vias de circulação pública e edificações. Deste modo, a ilha de calor urbana é uma das mais acentuadas

modificações atmosféricas atribuídas ao processo de urbanização (LIU; ZHANG, 2011, SANTOS et al. 2012).

A temperatura do ponto de orvalho (T_d), não apresenta o mesmo comportamento da temperatura do ar (T), isto porque T_d é a temperatura a que o ar deveria ser resfriado à pressão constante para ficar saturado, em que essa saturação do ar ambiente é produzida aumentando a quantidade de vapor d'água presente no ar. A quantidade de vapor d'água (umidade), presente na atmosfera é resultado da evapotranspiração da vegetação e evaporação de oceanos, rios, lagos, igarapés, canais, etc. Portanto, a umidade tem relação com a nebulosidade, ventos, massas de ar e precipitação (ROBINSON, 2000), tanto que o conteúdo de vapor d'água presente na atmosfera possui variações intensas, entre regiões com profundas atividades convectivas e outra com pouca ou sem nebulosidade (ARMANI; FUNARI; SALUM, 2008). O máximo valor de razão de mistura que ocorre a 17 HL também foi observado por Souza (2012), em que nesse horário ocorre o final do intenso movimento vertical e tem-se início o escoamento horizontal de norte/nordeste. Onde o transporte de umidade acontecia do Rio para a área urbana de Belém, corroborando com o estudo realizado em Manaus por Santos, Silva Dias e Freitas (2014), verificaram para o período de 1978-2012 que a pressão de vapor aumentava durante o dia e que o transporte de umidade acontecia do Rio Negro para a cidade.

Na Figura 7 apresenta-se a variação de temperatura ar (T) e Temperatura do ponto de orvalho (T_d), média anual, por períodos: a) I (1975-1984), b) II (1985-1994) e c) III (2003-2013). Os períodos I e II apresentaram características semelhantes, com pequena variação de temperatura média anual do ar, onde somente no ano de 1987 a temperatura do ar teve aumento de $0,8^{\circ}\text{C}$, ano de El Niño Forte. O mesmo ocorreu com T_d , apresentando valor de $23,2^{\circ}\text{C}$ (Figura 7a e 7b). As maiores variações aconteceram no último período, à temperatura do ar média anual foi maior que $26,2^{\circ}\text{C}$ e T_d com valores maiores que $24,2^{\circ}\text{C}$ no início do período e menor que $23,2^{\circ}\text{C}$ a partir de 2008, significando que atmosfera esta ficando mais seca. Em 2007 apresentou a maior temperatura média anual com $28,2^{\circ}\text{C}$, sendo que o fenômeno La Niña esteve mais intenso a partir de setembro desse ano (Figura 1), não apresentando influencia na temperatura do ar. Em 2008 e 2011 a La Niña só vai ter influencia quando permanecer no ano todo. Essa relação pode justificar que os fenômenos El Niño e La Niña não influenciam na temperatura do ar para a região de Val-de-Cans.

Figura 7 - Variação de temperatura do ar (T) e temperatura do ponto de orvalho (Td) média anual por períodos.
a) I (1975-1984); b) II (1985-1994) e c) III (2003-2013)



Fonte: Do autor .

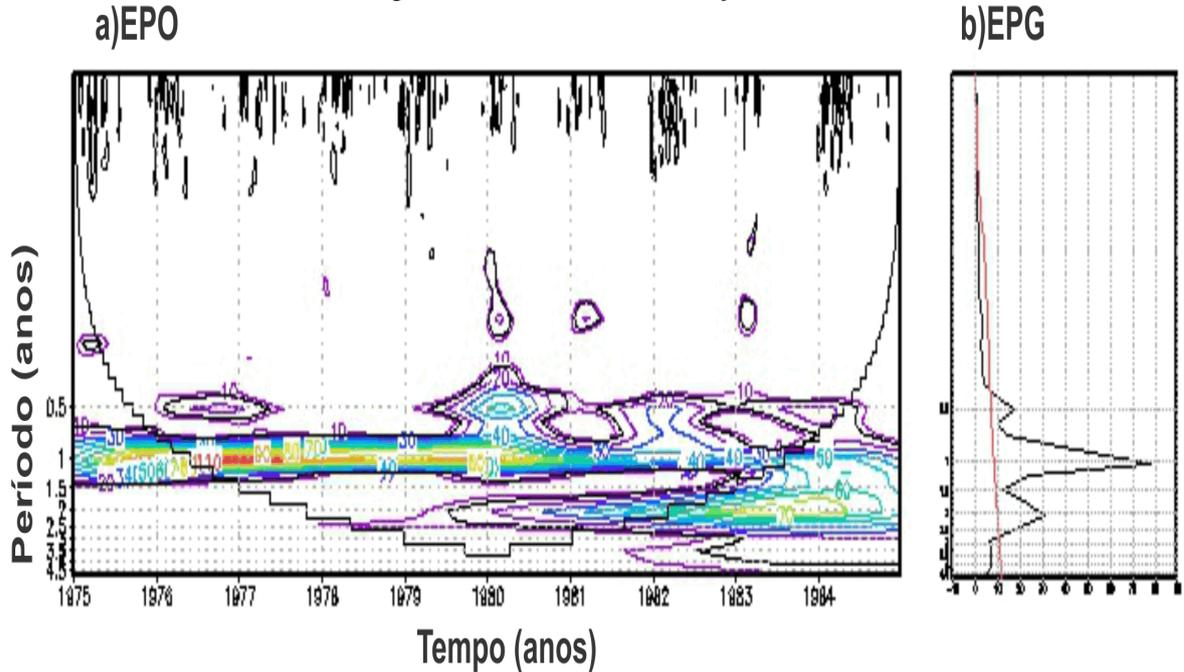
Alguns estudos realizados sobre a influência das condições de temperatura da superfície do mar sobre as variações de temperatura das cidades, foram realizados por Andreoli et al. (2012), Mantua et al. (1997), Souza Junior et al. (2009), Zhang, Wallace e Battisti (1997). Os quais mostraram que a ocorrência de fenômenos El Niño/La Niña, pode influenciar de forma direta no comportamento da temperatura do ar, tendendo a aumentar/diminuir a atividade convectiva e, conseqüentemente, a precipitação sobre a Amazônia.

Diferente do que aconteceu na média horária de Td, as médias anuais de Td decresceram no último período. Uma justificativa para este fato seria que na última década, estaria ocorrendo perda de cobertura vegetal e conseqüentemente haver menor quantidade de vapor d'água. Então, o efeito local sobrepôs o da grande escala na região de estudo, já que a cidade de Belém apresentou aumento de precipitação na última década (SANTOS; MOTA; ROCHA, 2014).

A Figura 8 apresenta o espectro de Potência de Ondeleta (EPO), pelo método de Ondeleta de Morlet, das temperaturas máximas do ar diária (Tx), para o período I, onde o eixo das abscissas representa o intervalo da série temporal dos dados (anos) e o eixo das ordenadas refere-se ao período (escala de anos). Observa-se na Figura 8a, que a cor azul significa menor intensidade do sinal de EPO e a vermelha de maior intensidade. As análises concentraram-se dentro da curva fechada (cone de influência), eliminando assim o efeito de borda, acima da linha do cone de influência, o nível de confiabilidade é de 95% (TORRENCE; COMPO, 1998).

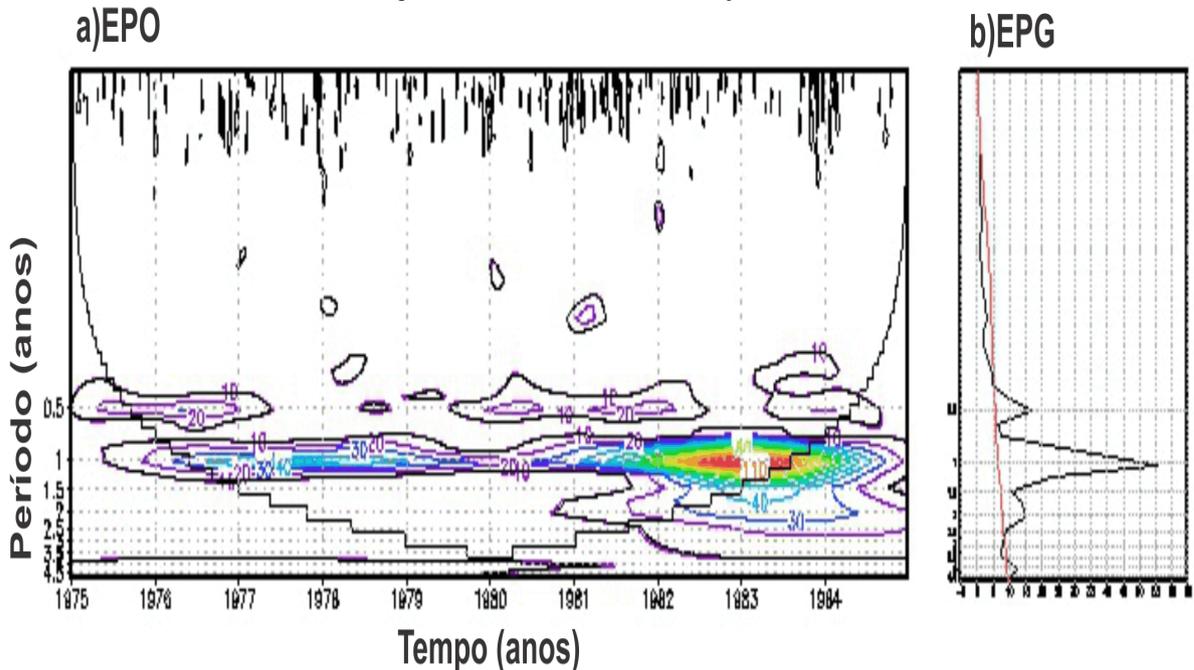
Verifica-se na Figura 8a, um sinal forte com período anual na série temporal de temperatura máxima entre os anos de 1976 a 1980, com significância de 95%. Apesar, de o sinal apresentar uma maior intensidade para períodos de um ano (Figura 8b) existem outros picos com escalas (0.5 e 2 anos), com picos na intensidade da EPG apresentando uma variância significativa acima de 95%. Em 1982/1983, verifica-se um sinal forte com período anual na série temporal de temperatura mínima (Tn) (Figura 9a) e variância mais significativa em EPG (Figura 9b).

Figura 8 – Análise do sinal para a Temperatura máxima do ar (T_x) no período I (1975-1984). a) Espectro de potência de Ondeleita (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%



Fonte: Do autor.

Figura 9 - Análise do sinal para a Temperatura mínima do ar (T_n) no período I (1975-1984). a) Espectro de potência de Ondeleita (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%



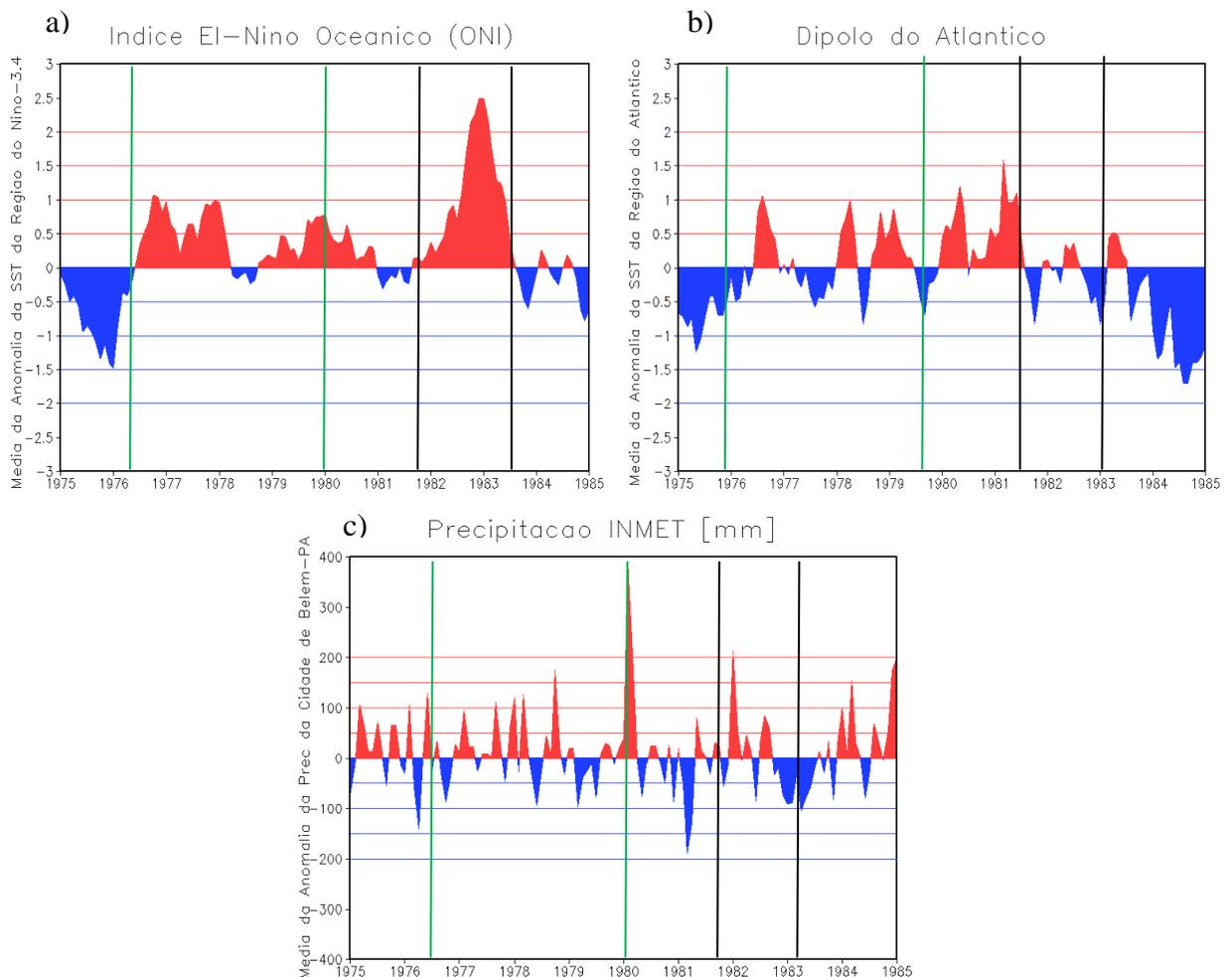
Fonte: Do autor.

Este pico na intensidade do EPO (Figura 8a) assim como no EPG (Figura 8b), podem estar associados a fenômenos como El Niño/La Niña ou dipolo do atlântico (Figura 10), onde, nota-se uma variabilidade grande na ocorrência dipolo do atlântico e principalmente de El

Niño (anomalias de tsm positivas). Isso indica período com baixa precipitação e consequentemente mais seco, apesar do gráfico de precipitação para a cidade de Belém apresentar precipitação acima da média (anomalias positivas). Esta anomalia de precipitação (Figura 10c) pode estar relacionada a forçantes locais mais severas e com menor frequência e não aos fenômenos de El Niño ou dipolo do atlântico, não capturado no espectro de potencia de temperatura máxima devido a série de dados utilizada na análise ser diária.

O sinal de (T_n) nos anos de 1982/1983 (Figura 9a), pode ser justificado pois foram anos de El Nino forte com anomalia positiva de TSM de até 2°C (Figura 10a), e um sinal fraco de dipolo do atlântico (positivo e negativo) e anomalia negativa de precipitação devido ao El Niño. Nota-se, qualitativamente uma relação entre o El Niño e o espectro de potência da temperatura mínima e máxima neste período. Isto pode ser explicado pela baixa precipitação que induz a uma menor a umidade do ar e a uma maior variabilidade da temperatura.

Figura 10 - Anomalias para (a) índice El Niño Oceânico-ONI, (b) dipolo do atlântico e (c) precipitação para o período I (1975-1984)

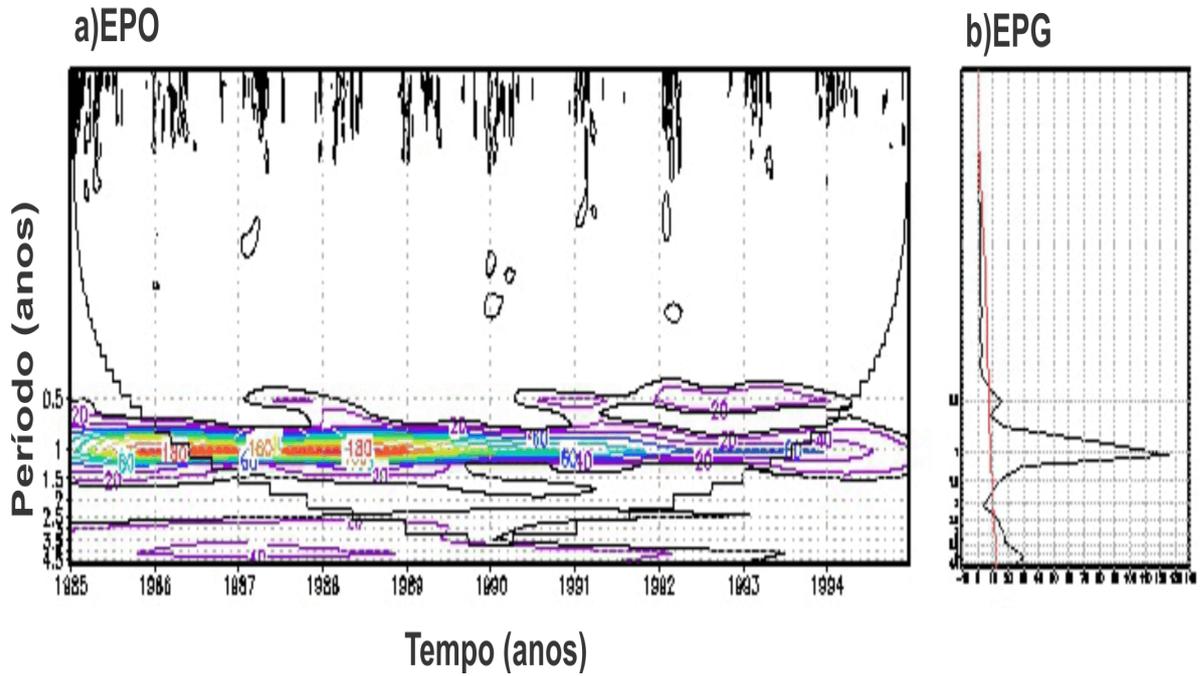


Fonte: Do autor.

A Figura 11a, indica o EPO da temperatura máxima do ar no período II (1985-1994). Percebe-se que a persistência de um forte sinal do período na escala anual, durante os anos de 1986 a 1990. Do qual em 1987 foi ano de El Niño moderado e 1988 La Niña forte, o que provocou um aumento da temperatura média anual do ar de $0,8^{\circ}\text{C}$ e 1988 foi ano de La Niña causando diminuição de $0,4^{\circ}\text{C}$. No EGP (Figura 11b) percebe-se que o sinal de 2 a 2,5 não aparece no período de 1985-1994, apresentado um sinal forte com intensidade na escala no período anual. O espectro de Tn para o mesmo período (Figura 12a e 12b) apresentou um EPO com pouca significância no intervalo analisado. Guedes et al. (2006), utilizando também a temperatura do ar, porem para a cidade de São Luis (MA), no período de 1951 a 1991, observou que o ciclo anual contém a maior parte da variância embora outras variabilidades, por exemplo a interanual estejam também presentes, mas não apresentam significância estatística, onde para torna-las significativas, é necessário remover o ciclo anual. Verificando também que no período posterior a 1960, houve modulação decadal de Temperatura do ar.

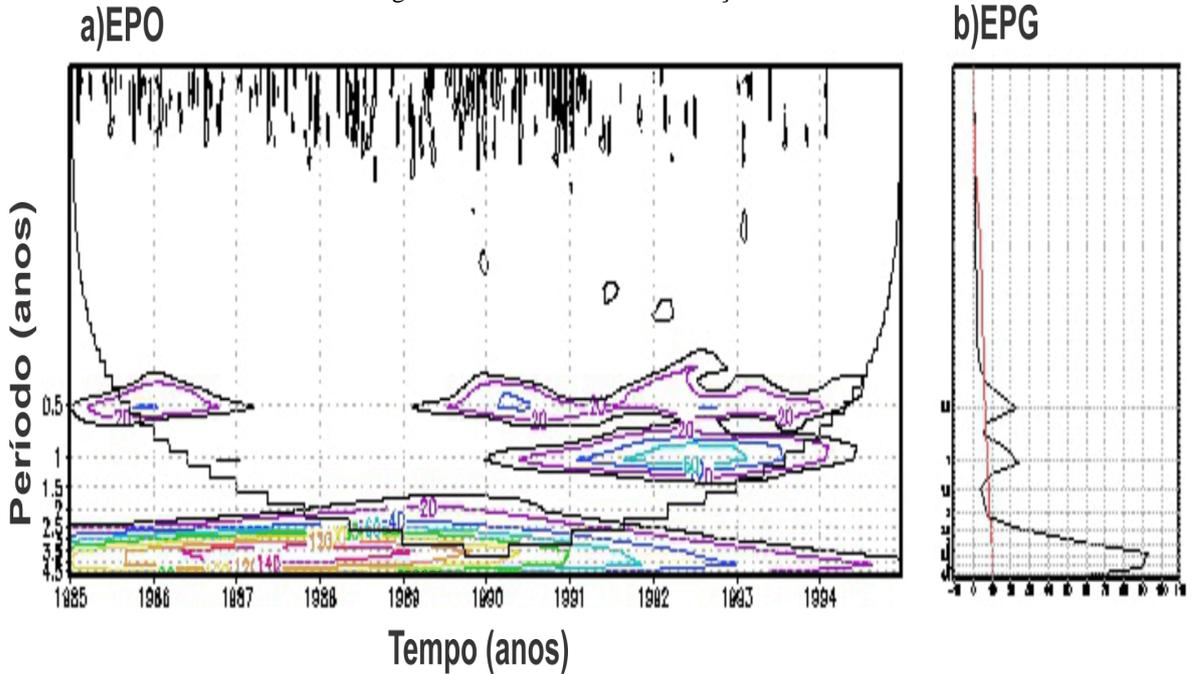
O sinal de (Tx) (Figura 11), está relacionado aos eventos de El Niño e dipolo do atlântico (Figura 13a e 13b), com intensidade bem altas em relação aos outros intervalos da série de dados analisados o que faz com que a energia EPO se concentre na escala com período de 1 ano. O período apresentou anomalias de precipitação positiva (Figura 13c) para a cidade de Belém, isso faz a umidade do ar aumentar induzindo a uma menor variação da temperatura mínima em relação a máxima. O sinal anual, também foi observado por Silva, Sousa e Kayano (2010), utilizando a técnica de Ondeleta, porém com dados de precipitação da bacia hidrográfica do rio Mundaú, nos Estados de Alagoas e Pernambuco no período de 1955 a 1991. Concluíram que a intensidade do sinal anual de precipitação estaria associado a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Figura 11 - Análise do sinal para a Temperatura máxima do ar (T_x) no período II (1985-1994). a) Espectro de potência de Ondeleita (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%



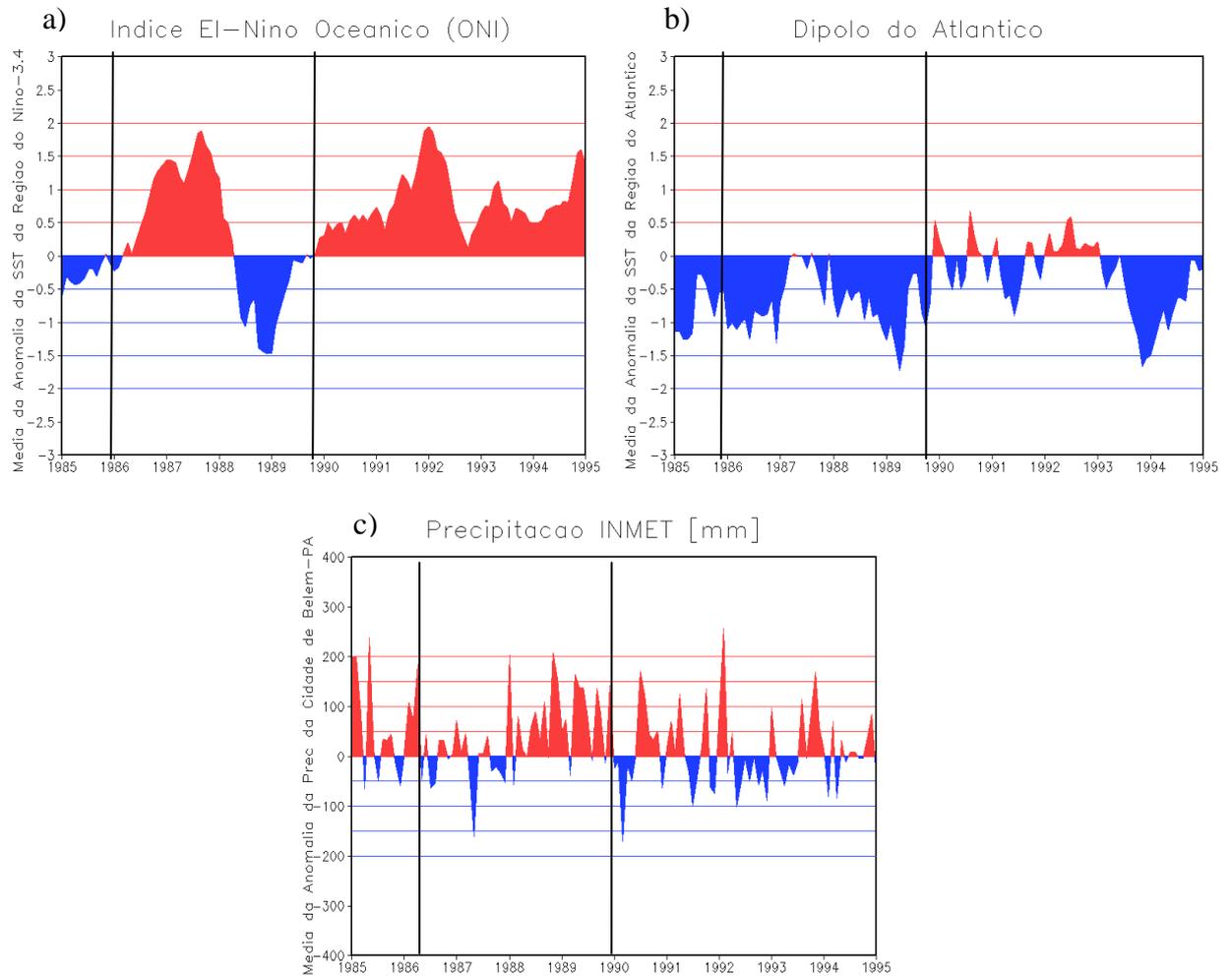
Fonte: Do autor.

Figura 12 - Análise do sinal para a Temperatura mínima do ar (T_n) no período II (1985-1994). a) Espectro de potência de Ondeleita (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%



Fonte: Do autor.

Figura13 - Anomalias para (a) índice El Nino Oceânico - INO, (b) dipolo do atlântico e (c) precipitação para o período II (1985-1994)

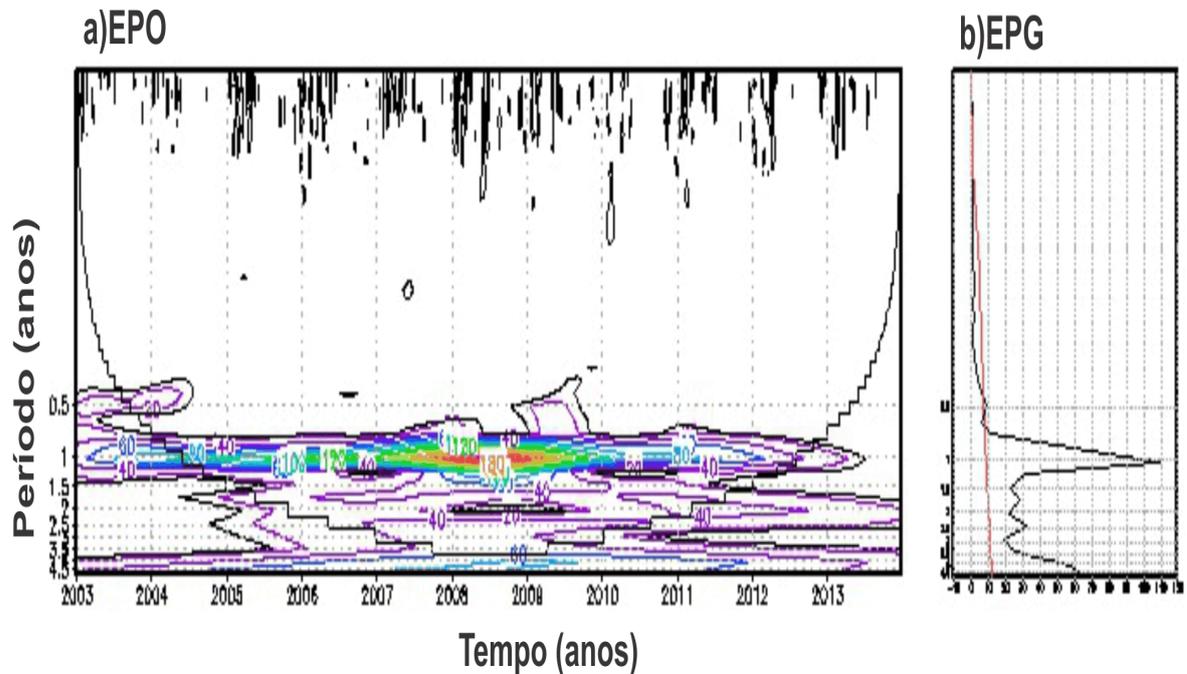


Fonte: Do autor.

As Figuras 14 e 15 mostram o EPO e EPG para a temperatura máxima e mínima no período III. A Figura 14a e 14b apresenta o sinal de maior intensidade na escala anual entre os anos de 2007 a 2009, com significância de 95%. Os anos de 2007 e 2008 foi de ocorrência do fenômeno La Niña, com anomalias positiva do dipolo do atlântico no início de 2007 e negativa em 2008/2009 (Figura 16b). Na Figura 15a e 15b mostra praticamente ausência de sinal anual de temperatura mínima no período III, ou seja, o espectro de energia T_n não é tão intenso. O resultado da análise espectral aplicada permitiu também inferir que as variabilidades das séries temporais de T_x e de T_n , são influenciadas de forma diferenciada pelos sistemas de grande escala, ou seja, quando estão atuantes aumenta ou diminuem a precipitação e conseqüentemente influenciam a temperatura, resultados semelhantes foram

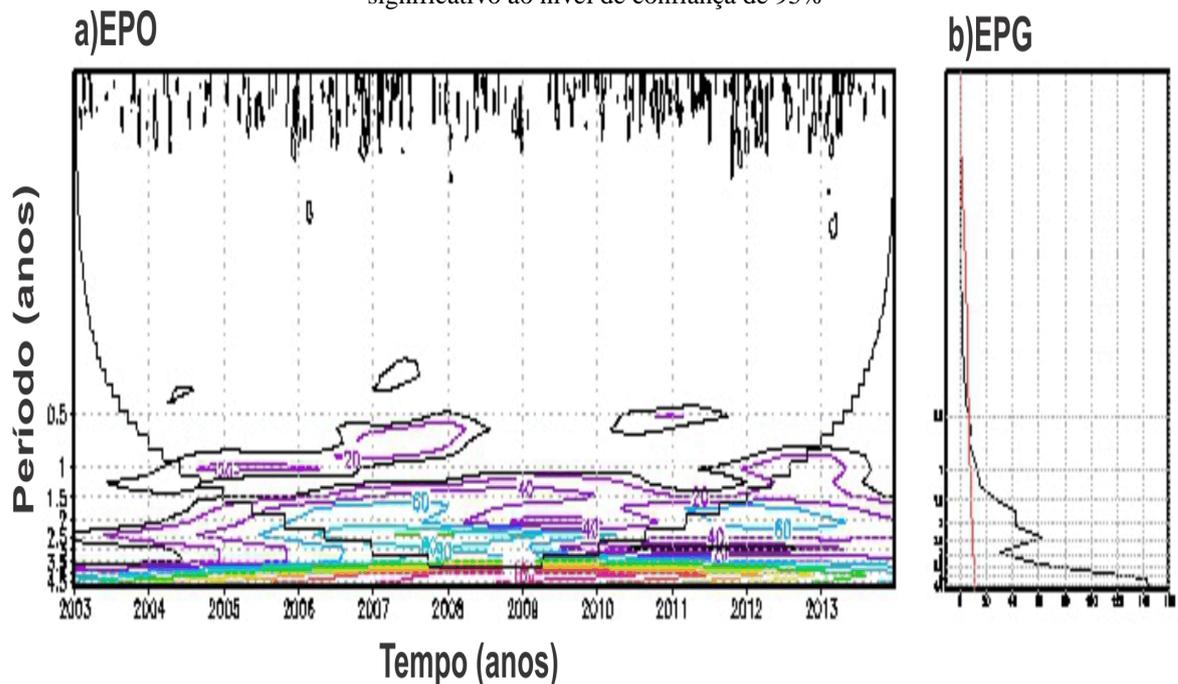
encontrados por Blain e Lulu (2011) em diferentes localidades no estado de São Paulo utilizando dados de temperatura do ar.

Figura 14 - Análise do sinal para a Temperatura máxima do ar (T_x) no período III (2003-2013). a) Espectro de potência de Ondeleita (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%



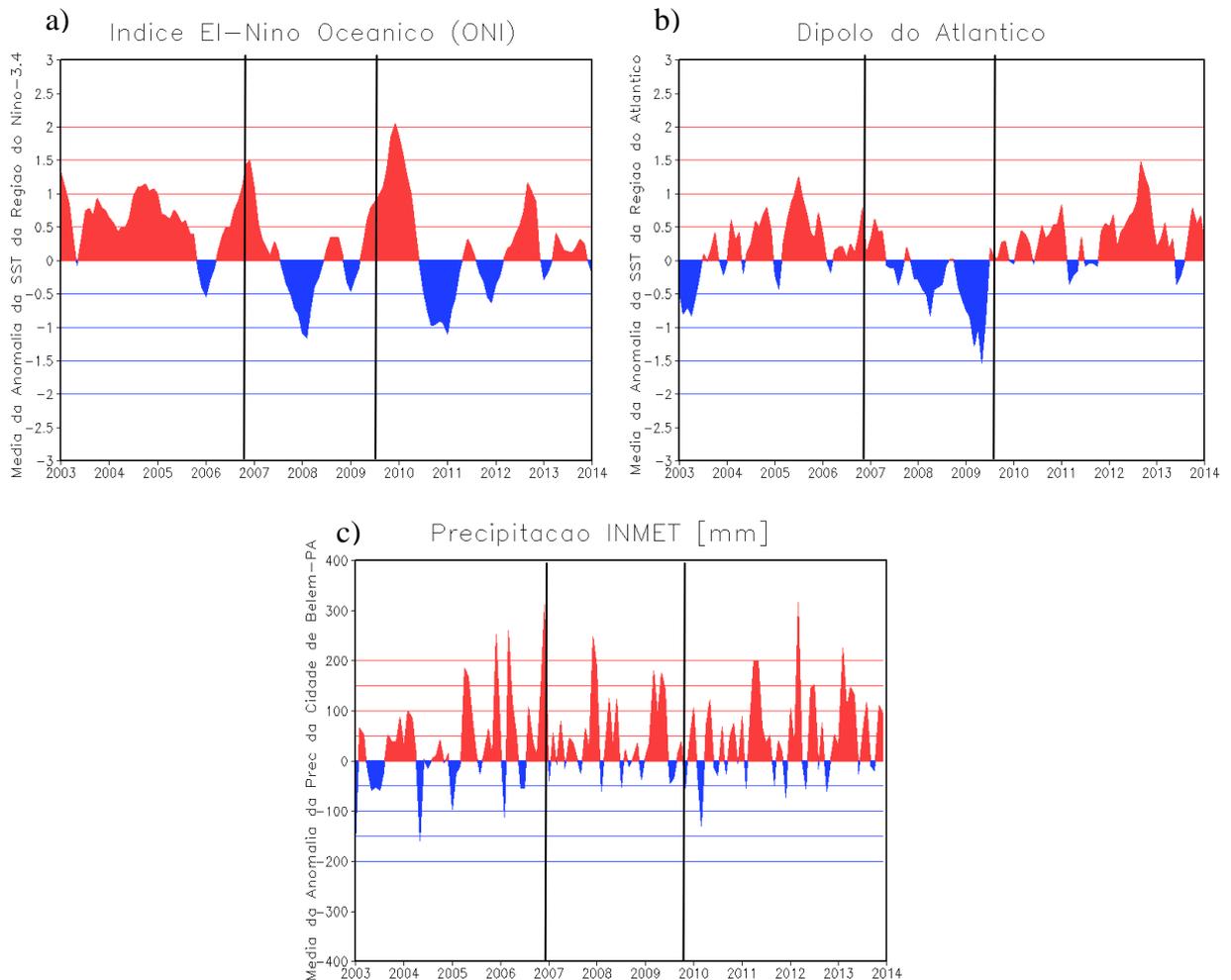
Fonte: Do autor.

Figura 15 - Análise do sinal para a Temperatura mínima do ar (T_n) no período III (2003-2013). a) Espectro de potência de Ondeleita (EPO); b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%



Fonte: Do autor.

Figura 16 - Anomalias para (a) índice El Niño Oceânico- INO, (b) dipolo do atlântico e (c) precipitação para o período III (2003-2013)

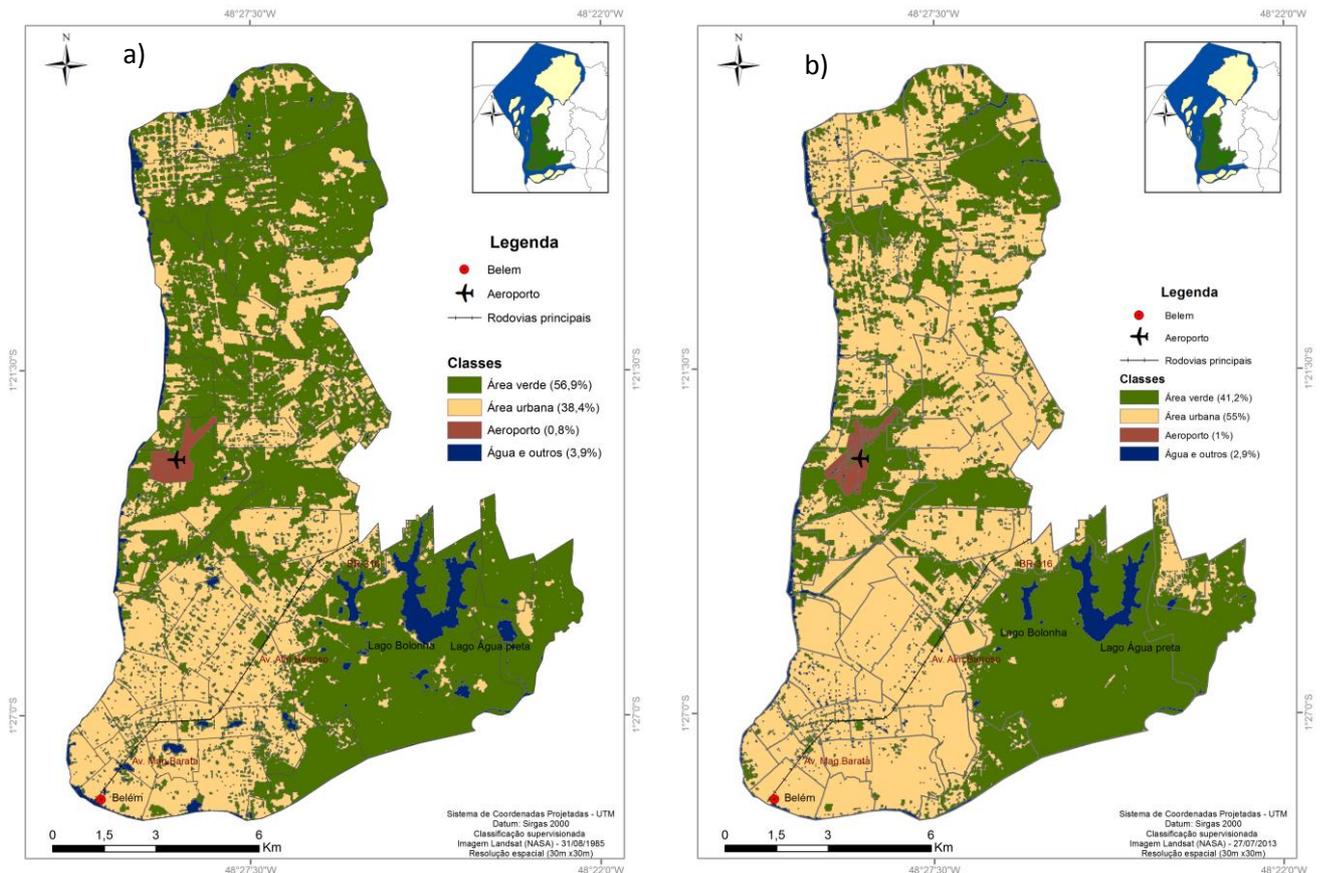


Fonte: Do autor.

3.2 Análise de áreas verdes e da temperatura de superfície (TST) na região de Val-de-Cans

Na Figura 17 são apresentados os mapas de uso e cobertura do solo para a cidade de Belém-PA, obtidos através da utilização de imagens de satélite para os anos de 1985 e 2013. Verificou-se que as áreas verdes na cidade, no momento da passagem do satélite, representavam 56,9% em 1985 e 41,2% em 2013, ou seja, redução de aproximadamente 15,7%, essa diferença corresponde a 166,3 km², com uma expansão urbana na direção norte da cidade.

Figura 17 - Mapa de classificação de uso e cobertura do solo para a cidade de Belém. a) 1985; b) 2013



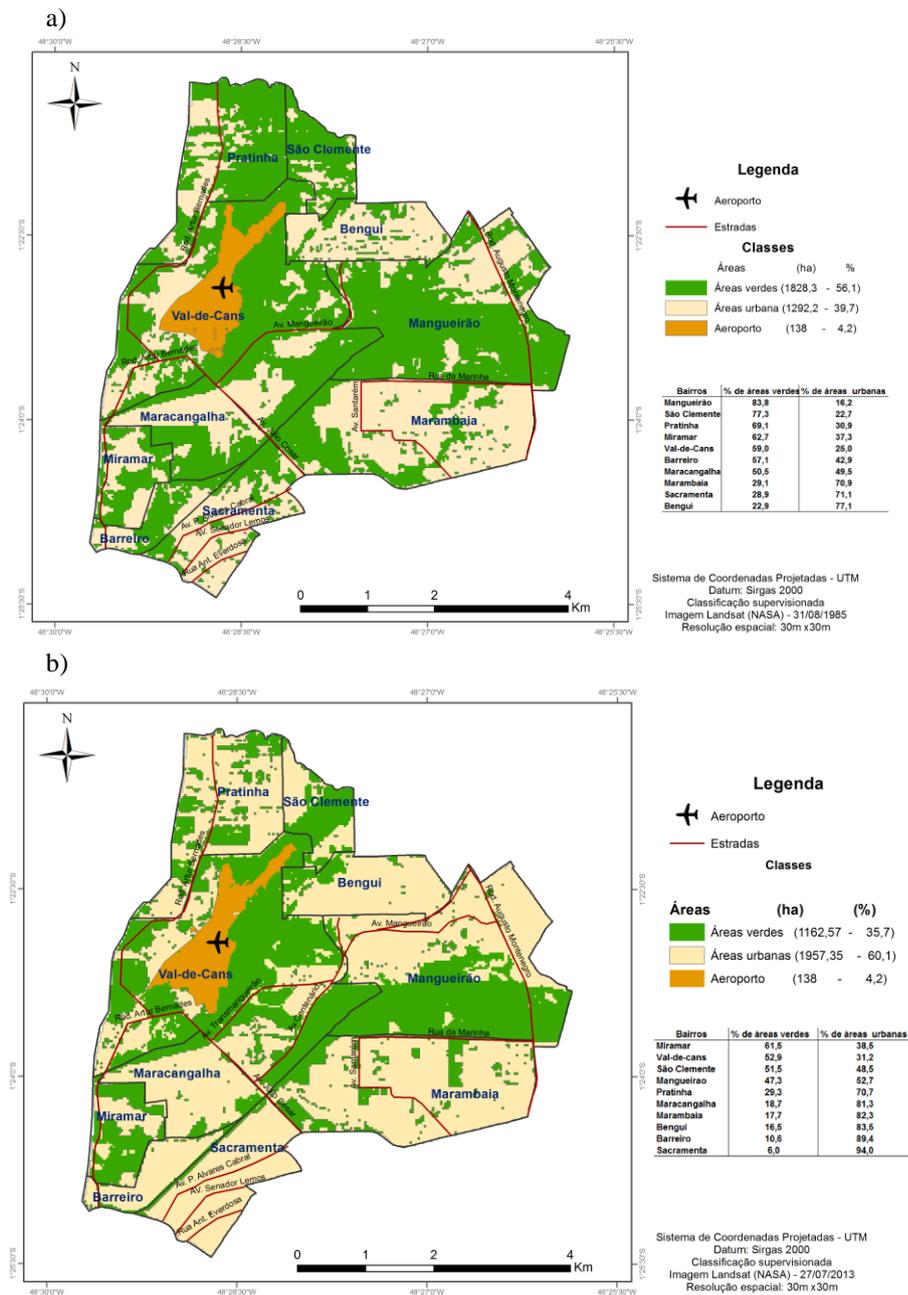
Fonte: Do autor.

A cidade de Belém-PA vem passando por um processo de expansão urbana desordenada, em que Castro (2003) apontou a cidade como a experiência de maior aglomeração urbana em toda a região amazônica, com altas taxas de ocupação humana. Luz e Rodrigues (2014), realizando o mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo na cidade de Belém-PA, para o ano de 2006, verificaram que em alguns distritos administrativos, o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) foi menor que 5%, classificado como deserto florístico, pois o recomendável de arborização para o adequado balanço térmico nas áreas urbanas está em torno de 30% (OKE, 1973, apud LOMBARDO, 1985). A presente pesquisa mapeou as áreas verdes por bairros, levando em consideração as diferenças entre as percentagens de vegetações e área urbana, porém Luz e Rodrigues (2014) realizou a pesquisa apenas por distrito administrativo.

Na Figura 18, são apresentados mapas detalhados com valores percentuais de áreas verdes e urbanas para os bairros citados em 1985 e 2013. Em 1985, o bairro do Manguirão apresentava 83,8% de áreas verdes, São Clemente com 77,3%, Pratinha com 69,1%, Miramar

com 62,7%, Val-de-Cans com 59,0%, Barreiro com 57,1%, Maracangalha com 50,5%, Marambaia 29,1%, Sacramento 28,9%, Benguí com 22,9% (Figura 18a). A Figura 18b mostra o percentual de áreas verdes para o ano de 2013. O bairro de Miramar apresenta 61,5%, Val-de-Cans com 52,9%, São Clemente 51,5%, Mangueirão com 47,3%, Pratinha com 29,3%, Maracangalha com 18,7%, Marambaia com 17,7%, Benguí com 16,5%, Barreiro com 10,6% e Sacramento com 6%.

Figura 18 - Mapa percentual de áreas verdes para a região de Val-de-Cans. a)1985; b)2013



Fonte: Do autor.

Isso mostra que no período de 29 anos todos os bairros da região de Val-de-Cans apresentaram redução de áreas verdes. Entre eles, o bairro do Barreiro foi o que teve maior redução com 46,5%. Nesse bairro não há nenhuma praça ou espaço verde para os seus 26.003 habitantes (IBGE, 2010). Sua formação está ligada a ocupação do Canal São Joaquim na década de 70 e ao crescimento desordenado pela população de baixo poder aquisitivo. Outro bairro que também sofreu redução significativa foi a Pratinha, com 39,8%. O bairro de Miramar foi o que menos sofreu a redução de áreas verdes com 1,2%, onde esta localizada o porto de Miramar. Quanto ao bairro de Val-de-Cans reduziu 6,1%, o que corresponde a 52,9 hectares perdidos em áreas verdes.

Devido a forte pressão ocupacional na região de Val-de-Cans, foi criado em 1991 o Parque Ecológico do Município de Belém Gunnar Vingren/PEGV pela Lei 7.539 de 19/11/1991, localizado no bairro da Marambaia, para preservação de áreas verdes na cidade, com uma área de 35 hectares, com a finalidade de preservação, manutenção e restauração da Unidade de Conservação (UC), (BELÉM, 1991). Porém, o crescimento urbano na região, causou impactos negativos no parque, que teve sua área reduzida, devido a ocupação desordenada e criação de vias urbanas, através de Projetos desenvolvidos pela Prefeitura de Belém-PA. Então na região de Val-de-Cans percebe-se intenso processo de alteração do uso do solo, com vias alternativas de acesso em superfícies, elevados, Shopping Center e condomínios, que tinha grandes áreas verdes e perdeu grandes quantidades (Figura 19), forte especulação imobiliária, aumento na densidade populacional (Tabela 6) e processo de degradação ambiental na região, modificando assim a paisagem e a cobertura vegetal natural (Figura 20).

Figura 19 - Construções na região de Val-de-Cans



Fonte: Do autor.

Tabela 6 - Variação da população por bairros da região de Val-de-Cans com base nos censos 2000 e 2010

Bairros	População 2000 ^(a)	População 2010 ^(b)	Variação da população ^(c) (b-a)	Taxa de crescimento (c/a*100) (%)
Barreiro	24446	26003	1557	6,37
Bengui	28120	29379	1259	4,48
Mangueirão	32699	36224	3525	10,78
Maracangalha	27767	30534	2767	9,97
Marambaia	62370	66708	4338	6,96
Miramar	36	515	479	1330,56
Pratinha	17974	22589	4615	25,68
Sacramenta	44407	44413	6	0,01
São Clemente	5833	7714	1881	32,25
Val-de-Cans	5481	7032	1551	28,30

Fonte: IBGE (2000) e (2010)

Figura 20 - Vista aérea da região de Val-de-Cans. a) 2004; b) 2014

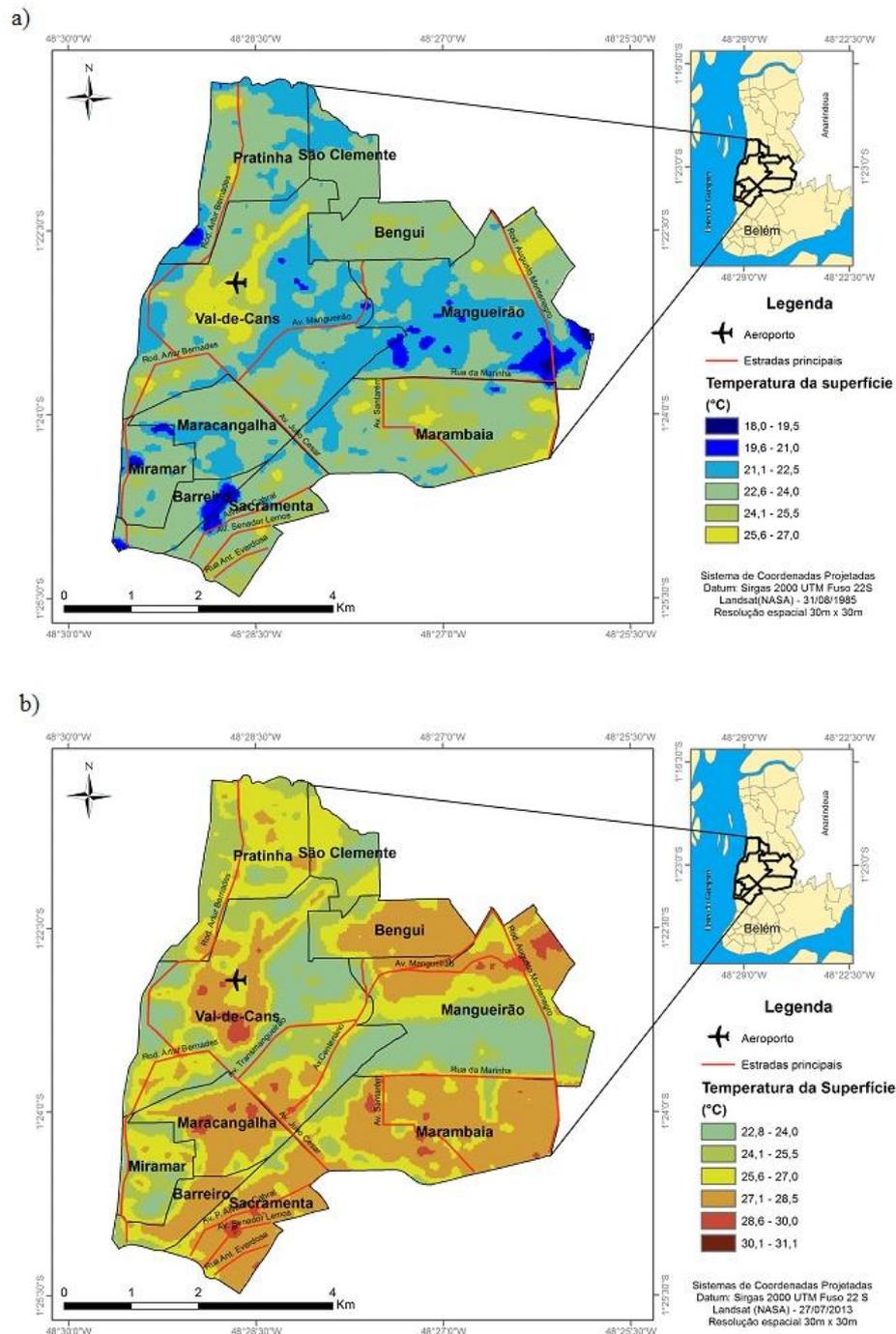


Fonte: Google earth (2014).

Assim, gradativamente, foi se estabelecendo em Belém uma diferença entre a área central arborizada e uma área de expansão com conjuntos habitacionais e assentamentos precários, com bairros desprovidos de áreas verdes e de arborização nas ruas. O resultado foi o déficit permanente e crescente de arborização uniformemente distribuída no espaço urbano, face ao processo de expansão e à ocupação desordenada do solo (PORTO; BRASIL, 2013).

A Temperatura de superfície terrestre (TST) representa um importante papel no entendimento do processo de interação entre a superfície e a atmosfera. Na Figura 21 se observa a variação espacial de TST na região de Val-de-Cans para os anos de 1985 e 2013. As análises feitas a partir das imagens de satélite para o ano de 1985 (Figura 21a) mostram que a TST mínima variava no intervalo entre 18,0-19,5°C e máximo de 25,6-27,0°C, porém no ano de 2013 percebe-se que a mínima está entre 22,8-24,0°C e máximo de 30,1-31,1°C (Figura 21b). Desta forma, as três primeiras classes de temperatura presente em 1985 não são identificadas em 2013, por outro lado, três novas classes de temperaturas mais elevadas foram encontradas em 2013.

Figura 21 - Mapa de temperatura de superfície (TST) para a região de Val-de-Cans. a) 1985; b) 2013



Fonte: Do autor.

Após 29 anos, a TST de 2013 indica que as temperaturas para a região de Val-de-Cans estão aumentando em quase todos os bairros. A TST varia em alguns bairros de 25,6-27,0°C e 27,1-28,5°C, onde áreas com pouca vegetação tem maior capacidade de armazenamento de calor, consequentemente temperaturas mais elevadas. Em 2013, com a continuidade do crescimento urbano, parte das áreas antes arborizadas foi substituída por áreas construídas. Ao

se analisar a espacialização da temperatura nos bairros, observou-se que as menores temperaturas ocorreram em bairros com maiores áreas de vegetação como, por exemplo, o bairro da Marambaia onde está o parque. A diferença de TST entre as datas das duas imagens utilizadas está muito mais relacionada as condições físicas do ambiente no momento da coleta de imagem do que as possíveis variações do sensor ou de um sensor para outro. Em que a redução de áreas verdes nas cidades altera o albedo, provocando aumento da temperatura e diminuição da umidade do ar.

A expansão urbana é uma das ações que contribui para a alteração no microclima de uma cidade, por meio de diferentes formas de uso do solo, mudanças no ambiente representadas, especialmente, pela supressão da vegetação, gerando fatores que alteram o comportamento dos elementos meteorológicos e modificam o clima (BEZERRA; SILVA; BEZERRA, 2011). Georgi e Tzouri (2008) registraram as medidas de temperatura e umidade durante os meses de verão na cidade de Drama, na Grécia em dois pontos distintos: um deles no parque central da cidade, rico em vegetação e recursos hídricos, o outro numa praça com pouca vegetação e muitos edifícios. Concluíram que as condições microclimáticas foram muito mais favoráveis no parque central, rico em vegetação e recursos hídricos por este apresentar temperatura 2°C inferior com relação à praça cercada por edifícios, cuja umidade relativa foi 4% superior.

Em fato, áreas com vegetação densa registram temperaturas amenas devido à evapotranspiração das plantas, que utiliza calor e energia em sua transpiração, evitando que está se aqueça, por meio da redução do fluxo de calor sensível (PRIMAVESI, ARZABE, PEDREIRA, 2007). Portanto, esse aumento de TST pode ser justificado devido ao aumento de áreas construídas, redução de áreas verdes, impermeabilização do solo e aumento de tráfego de veículos, com a abertura de vias na região de Val-de-Cans, tornando a região com maior potencial de formação de ilha de Calor.

Os resultados gerados corroboram com os estudos de Weng, Lu e Schubring (2004), Xian e Crane (2006), também usaram sistemas de sensoriamento remoto infravermelhos termais para documentar o efeito de ilha de calor urbana, assim como extrair informação de temperatura da superfície de distintos materiais. Demonstrando que uma das consequências ambientais da urbanização é o efeito de ilha de calor urbano, onde áreas urbanas são mais quentes que áreas vizinhas não urbanizadas.

Costa (2013), também encontrou variações de temperatura para alguns bairros da cidade de Belém, porém, utilizou dados observacionais de temperatura do ar coletados

durante alguns dias dos meses de outubro em 1995. O autor encontrou grandes evidências da presença da Ilha de Calor Urbana na cidade, com tendência de decréscimo da temperatura do ar no sentido dos bairros mais urbanizados (centrais) para os menos urbanizados (periféricos), que normalmente apresentam maior percentual de cobertura vegetal.

Souza e Alvalá (2012) estudaram o efeito "ilha de calor" desenvolvido na zona urbana de Manaus e floresta em 2000 e 2008. Mostraram que a intensidade está diretamente relacionada com as taxas de aquecimento e resfriamento e que a diferença de temperatura entre a região urbana e florestal na estação chuvosa (dezembro-maio) é menor do que na estação seca. Feitosa (2011), verificou que em 20 anos as áreas vegetadas em Teresina, diminuíram ao tempo que a população cresceu e a cidade se expandiu, observando que a temperatura de superfície do solo mais elevado nas regiões de maior concentração de áreas construídas e que nas periferias onde há maior índice de áreas verdes, as temperaturas são mais amenas.

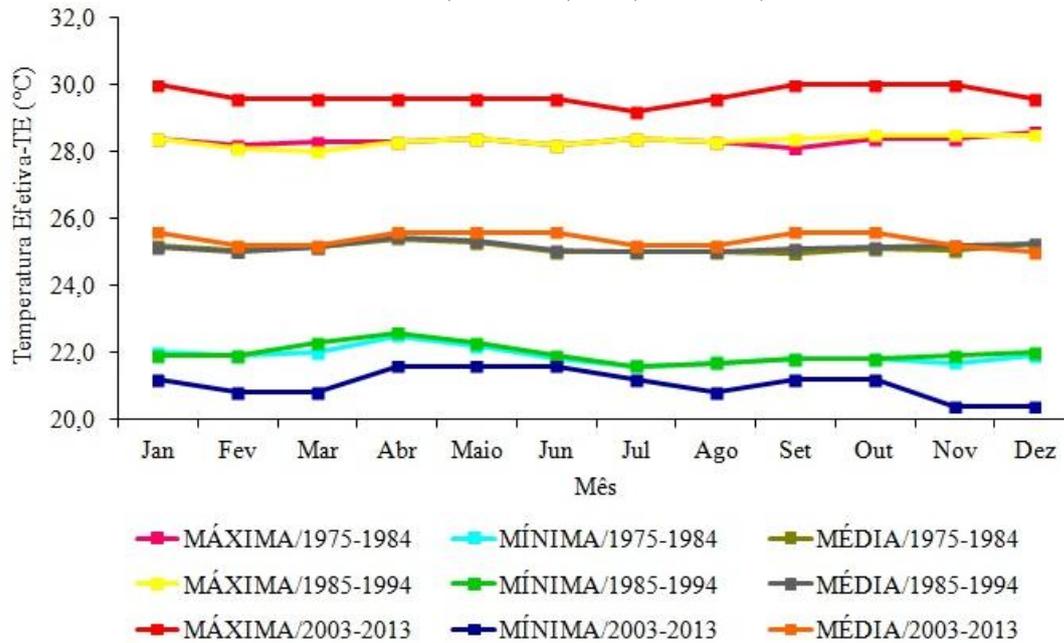
Portanto processo de urbanização é considerado mais relevante para a formação de ilhas de calor, por conter em sua natureza elementos que fazem com que a temperatura de uma área sofra aumento. Essas ilhas de calor urbanas são formadas decorrência da substituição de áreas verdes por edificações e pavimentação, onde a intensidade é maior em áreas densamente construídas e com pouca vegetação. Conforme observado por mais estudos desenvolvidos nas cidades de São Paulo-SP por Lombardo (1985), em Campinas-SP, Pezzuto (2007) e na cidade de Curitiba-PR Martini, Batista e Biondi (2013), regiões com ou sem arborização, apresentam diferenças de temperaturas.

3.3 Análise do conforto térmico e sua relação com áreas verdes e urbanas

A região de Val-de-Cans está sofrendo processo de redução de áreas verdes, com a implementação de vias e shoppings. Essa alteração está afetando a temperatura do ar, que nos últimos anos apresentou aumento de até 0,9 °C, e também a temperatura de superfície (TST) está sendo alteradas, pela mudança de áreas verdes, propriedades térmicas das construções, entre outros. Toda essa alteração pode proporcionar um grande desconforto térmico para a região.

Portanto a temperatura efetiva (TE) é um dos índices que podem ajudar a concluir quais são as condições de conforto. A Figura 22 apresenta a variação máxima, mínima e média mensal de temperatura efetiva para os três períodos estudados.

Figura 22- Variação máxima, mínima e média mensal de temperatura efetiva (TE) por período: I (1975-1984), II (1985-1994) e III(2003-2013)

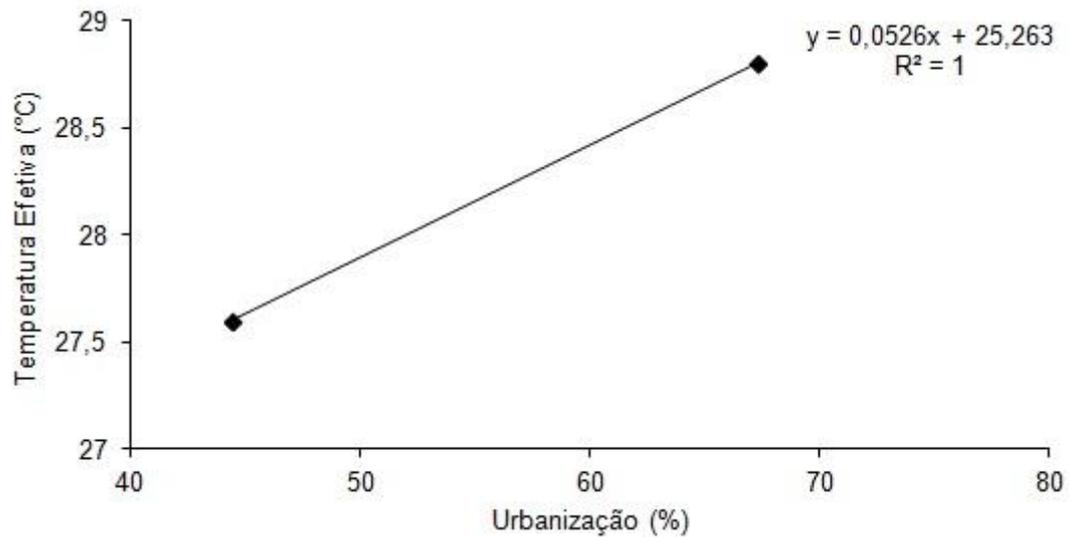


Fonte: Do autor.

Na Figura 22 se observa que no período menos chuvoso as TE aumentam e menos chuvoso diminui, mostrando assim a variação mensal. Verifica-se também que há um aumento na máxima mensal do período I para período III. O período I apresentou a TE máxima mensal variando entre 28,1°C e 28,6°C, que conforme descrito na Tabela 4 está na faixa de desconforto térmico. Porém no período III, as TE máximas passaram para a faixa de conforto como estresse térmico, variando entre 26,2 a 30,0°C. Esse estresse térmico é causado atualmente principalmente pela redução de áreas verdes e expansão da área urbana na região de Val-de-Cans. As mínimas mensais ficaram classificadas como confortável e a média como desconfortável para os três períodos. As condições de conforto térmico também já foram verificadas por Silva Júnior et al. (2012), para alguns bairros de Belém, porém foi utilizado o Índice de Calor (IC) para a classificação do conforto térmico. A análise foi realizada com dados pontuais, apenas em três dias na época menos chuvosa do ano de 2010. Nesse estudo foi observado que o bairro de Val-de-Cans apresentava uma área menos confortável termicamente, apresentando um valor máximo do IC foi encontrado de 30,1°C considerado uma faixa de cautela.

A Figura 23 apresenta a regressão linear entre TE e a porcentagem de urbanização na região de Val-de-Cans. Observou-se que há uma relação linear entre a urbanização e a elevação da TE no local. À medida que aumenta a urbanização, a TE também aumenta, indicando que quanto mais urbanizadas as áreas, mais desconfortáveis são esses locais.

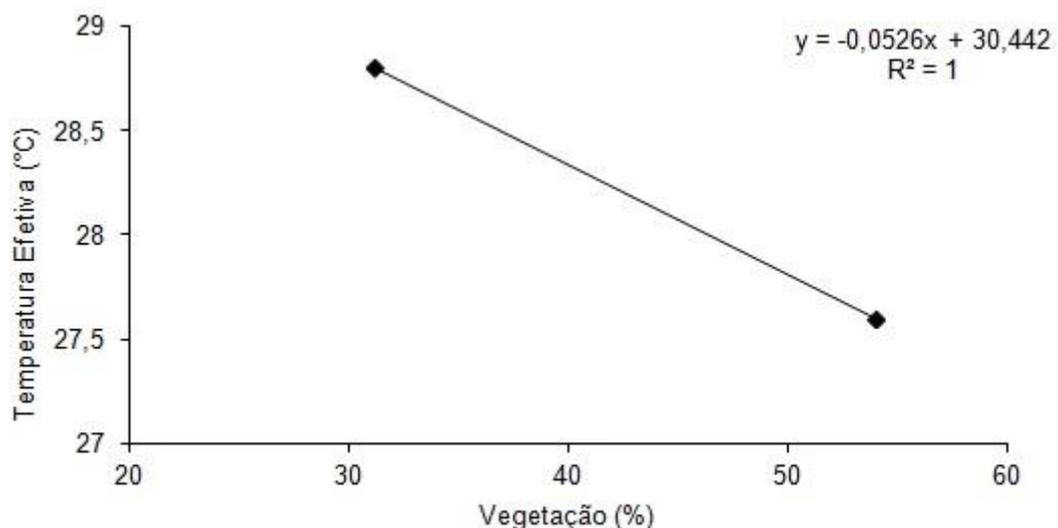
Figura 23 - Diagrama de dispersão e reta de regressão linear entre a TE e a porcentagem de urbanização para a região de Val-de-Cans



Fonte: Do autor.

Na Figura 24 é apresentada a regressão linear entre a TE e a porcentagem de vegetação na região de Val-de-Cans. À medida que a cobertura de vegetação é reduzida, os valores de TE aumentam. Expondo, assim, que quanto mais áreas vegetadas no espaço urbano, mais amena tende ser a temperatura naquele local, assim como o seu conforto térmico, pois a vegetação intercepta a maior parte dos raios solares, impedindo que os mesmos atinjam a superfície, reduzindo assim seu aquecimento.

Figura 24 - Diagrama de dispersão e reta de regressão linear entre a TE e a porcentagem de vegetação para região de Val-de-Cans



Fonte: Do autor.

O conforto térmico de uma cidade é de grande importância para a sociedade. Alguns estudos sugerem que o conforto térmico pode influenciar no aprendizado das pessoas, os quais em ambientes agradáveis as pessoas assimilam melhor, (WARGOCKI; WYON, 2005; MENDELL; HEATH, 2005), outras pesquisas levantaram a hipótese de que o conforto térmico melhora o rendimento no ambiente de trabalho (SILVA, 2001). Enquanto Coutinho et al. (2014) verificaram também que o desconforto térmico de uma cidade pode acarretar problemas de saúde. Portanto, a vegetação é um importante componente regulador da temperatura urbana. Para Leal (2012), a arborização é um dos componentes bióticos mais importantes do meio urbano porque está diretamente relacionado com o conforto ambiental. Em que estudos dos efeitos das áreas vegetadas sobre o clima das cidades são importantes mecanismos para prover um melhor esclarecimento sobre a importância da arborização nas cidades.

4 CONCLUSÃO

Existem diferenças entre as temperaturas do ar medidas em estações meteorológicas distintas na cidade, existindo uma diferença de aproximadamente $0,8^{\circ}\text{C}$ de uma estação para outra (DTCEA e INMET). Portanto a temperatura de uma única estação não representa a cidade de Belém-PA como um todo.

Os fenômenos naturais (El Niño e La Niña) não foram responsáveis pelo aumento da temperatura média do ar na região de Val-de-Cans, como mostrado nas observações feitas nas estações do DTCEA e INMET, pois a influência é pontual. Ou seja, apenas nos anos em que ocorre o fenômeno com anomalias intensas no ano todo, foi observado aumento (El Niño) ou diminuição (La Niña) da temperatura média do ar. Portanto, o aumento da temperatura do ar na região de Val-de-Cans é ocasionado pela diminuição de áreas verdes e do crescimento urbano desordenado. Portanto a região apresentou redução no percentual de áreas verdes de aproximadamente 21% ao longo de 31 anos e temperaturas de superfície maiores em 2013 do que em 1985, onde todas essas mudanças provocam um desconforto térmico para a região. Em relação ao índice de conforto térmico, a utilização deste índice, foi possível determinar um aumento da temperatura efetiva e a sensação de desconforto térmico na região.

Recomenda-se que a sociedade civil, os gestores públicos e privados realizem estudos de planejamento urbano, tenham consciência sobre a importância das áreas verdes e exijam um plano diretor adequado para a cidade. Desta forma, pode evitar condições térmicas extremas e desconfortantes a população, além de manter e evitar a perda de biodiversidades nesses ambientes.

REFERÊNCIAS

- AGAM, N.; KUSTAS, W.P.; ANDERSON, M.C.; LI, F.; NEAL, C.M.U. A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery. **Remote Sensing of Environment** v. 107, p. 545–558, 2007.
- ANANIAS, D. S.; SOUZA, E. B.; SOUZA, P. F.; SOUZA, A. M. L.; VITORINO, M. I.; TEIXEIRA, G. M.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-Pa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 218-226, 2010.
- ANDREOLI, R. V; SOUZA, R. A. F; KAYANO, M. T; CANDIDO, L. A. Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns. **International Journal of Climatology**, v. 32, p. 1193-1205, 2012.
- ARMANI, G.; FUNARI, F. L.; SALUM, S. T. Ocorrência do orvalho na cidade de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 29, p. 41-48, 2008.
- BARSI, J.; SCHOTT, J.; HOOK, S.; RAQUENO, N.; MARKHAM, B. TIRS vicarious radiometric calibration. **Remote Sens.** 2014. in press.
- BASTOS, T. X. ; PACHECO, N. A; NECHET, D; DINIZ, T. D. A. S. Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos. **Documentos. Embrapa Amazônia Oriental**, v. 128, p. 1-31, 2002.
- BELÉM. Lei nº 7.539, de 19/11/1991. Cria o Parque Ecológico de Belém. Disponível em: <<http://www.belem.pa.gov.br/>> Acesso em: 18 out. 2014
- BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n.7, p. 709-717. 2011.
- BLAIN, G.C.; LULU, J. Valores anuais absolutos de séries diárias de temperatura máxima e mínima do ar no estado de São Paulo: tendências, periodicidades e probabilidades associadas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol.26, p. 29-40, 2011.
- BOLZAN, M. J. A. Análise da transformada em ondeletas aplicadas em sinal geofísico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.28, p.563-567, 2006.
- BRASIL. Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica - MCA. **Instalação de estações meteorológicas de superfície e de altitude**. 2011. Disponível em: <<http://www.redemet.aer.mil.br/Publicacoes/mca101-1.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2014.
- CARVALHO, D. L. R.; SOARES, C. B. S. S.; SILVA, M. M. Identificação de Ilhas de Calor Urbana na Cidade de Manaus- AM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR: INPE, 2013.
- CASTRO, E. Geopolítica da água e novos dilemas a propósito da Amazônia e seus recursos naturais. In: ARAGON, L. E.; CLÜSENER-GODT, M. (Orgs.) **Problemática do uso local e global da água da Amazônia**. Belém: NAEA, 334p. 2003.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC. **El Niño e La Niña**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/#>>. Acesso em: 20 set. 2014.

CHEN, X. L.; ZHAO, H. M.; LI, P. X.; YIN, Z.Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 104, p. 133 - 146, 2006.

CHU, P. S; ZHAO, X.; RUAN, Y; GRUBBS, B. Extreme rainfall events in the Hawaiian Islands. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.48, p. 502 - 516. 2009.

CITEAU, J. et al. Questions about the ITCZ migration over the tropical Atlantic, sea surface temperature in the Gulf of Guinea and the Flow of Senegal River. In: **CCCO Meeting**, Rio de Janeiro, 1985.

CLIMATE PREDICTION CENTER. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 21 fev. 2014.

COSTA, A. C. L.; SILVA JÚNIOR, J. A.; CUNHA, A. C.; GALBRAITH, D; FEITOSA, J. R. P.; MATTOS, A. DISTRIBUIÇÃO GEOESPACIAL E HORÁRIA DA TEMPERATURA DO AR NA CIDADE DE BELÉM PA. **Brazilian Geographical Journal**, v. 4, p. 150-168, 2013.

COUTINHO, M. D. L; SANTOS, T.S; GOMES, A. C. S; SILVA, A.R.; COSTA, M. S; MORAIS, M. D. C. O MICROCLIMA E O (DES)CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES ABERTOS NA CIDADE DE NATAL. Hygeia. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 10, p. 65-73, 2014.

DE SOUZA, E.B; KAYANO, M. T; TOTA, J; PEZZI, L. P ; FISCH, G; NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.

DOMINGUES, M.O.; ODIM, M. JR. B; COSTA, A.M. On wavelet techniques in atmospheric sciences. **Advances in Space Research** p 831–842. 2005.

DRUMOND, A. R. M; AMBRIZZI, T. The role of SST on the South American atmospheric circulation during January, February and March 2001. **Climate Dynamics**, v. 24, p. 781 – 791, 2005.

FEITOSA, S. M. R.; GOMES, J. M. A.; MOITA NETO, J. M; ANDRADE, C. S. P. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, p. 58-75, 2011.

FERNANDEZ, M. N. **Preenchimento de falhas em séries temporais**. 2007. 106 p. Dissertação (mestrado de engenharia oceânica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Rio Grande, 2007.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N. G. S. Principais Sistemas Atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, D. B. S; DE SOUZA, E. B; MORAES, B. C. Ciclo horário da precipitação no leste da Amazônia durante o período chuvoso. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 74-86, 2013.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.5, n.6, p. 36-48, 1990.

FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v.28, p. 101-126. 1998.

GEORGI, N; TZOURI, A. Monitoring thermal comfort in outdoor urban spaces for bioclimatic conditions improvement. In: WSEAS, INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSCAPE ARCHITECTURE (LA'08), 1., 2008, Algarve, Portugal. 2008.

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 10, p. 94-106, 2003.

GUEDES, R. L; OYAMA, M. D; ANDREOLI, R. V; KAYANO, M. T; ALVES, M. A. S. Modulação do Ciclo Anual de Variáveis de Superfície em São Luís (Maranhão) por Oscilações de Baixa Frequência. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 245-255, 2006.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. J. Impactos do Fenômeno El Niño Sobre a Temperatura no Brasil. **Revista Espinhaço**, v. 01, p. 63-71, 2012.

GUTIÉRREZ, A.P.A.; ENGLE, N.L.; NYS, E; MOLEJÓN, C.; SÁVIO MARTINS, E.S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**. v3, p.95-106. 2014.

HUNDECHA, Y.; BÁRDOSSY, A. Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 9, p. 1189-1202, 2005.

INFRAERO - Aeroporto Internacional de Belém/Val-De-Cans - Júlio Cezar Ribeiro. 2015. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/aeroportos/para/aeroporto-internacional-de-belem.html>>. Acesso em: 19 jan. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, **Produto cartográfico Híbrido - Geociências** - Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 09 fev. 2014.

_____. 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>.

_____. **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2007: The physical science basis**. Contribution of working Group I to the Fourth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 2007.

_____. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the fifth Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F. D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V.Bex and P.M Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013

KAYANO, M.T.; ANDREOLI, R.V. Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. **International Journal of Climatology**, v.27, p.531-540, 2006.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México: Ed. Fondo de Cultura Económica, 1948.

LEAL, L. **A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – PR**. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

LIU, L; ZHANG, Y. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong, **Remote Sensing**, v. ,3, n. 7, p. 1535-1552. 2011.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: O exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC. 1985, 210p.

LUZ, L. M; RODRIGUES, J. E. C. Análise do Índice da cobertura vegetal em áreas urbanas: estudo de caso da cidade de Belém PA. **Boletim Amazônico de Geografia**, v. 01, p. 43, 2014.

MAGRIN, G.O.; MARENGO, J. A.; BOULANGER, J. P., BUCKERIDGE, M. S., CASTELLANOS, E. POVEDA, G., SCARANO, F.R.; , VICUÑA, S.. Central and South America. In: *CLIMATE Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566, 2014. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap27_FINAL.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2014.

MANTUA, N. J; HARE, S. R; ZHANG, Y; WALLACE, J. M; FRANCIS, R. C. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, p. 1069-1079. 1997.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, p.1–18. 2002.

MARENGO, J. A., L. ALVES, M., VALVERDE, R., ROCHA, R., LABORBE. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; SIN CHAN CHOU, S.C.; TOMASELLA, J; SAMPAIO, G.; ALVES, L.M.; OBREGÓN, G.O.; SOARES, W.R. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil. Análise Conjunta Brasil-Reino Unido sobre os Impactos das Mudanças Climáticas e do Desmatamento na Amazônia.** [S.l.]: INPE, 2011.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M . Caracterização do clima no Século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos de IPCC AR4. **Multiciência**, UNICAMP, v. 8, p. 5-28. 2008.

MARTINI, A. BATISTA, A. C.; BIONDI, D. Variação Diária e Estacional do Microclima Urbano em Ruas Arborizadas de Curitiba-PR. **FLORAM - Revista Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 460-469, 2013.

MASEK, J.G.; VERMOTE, E.F.; SALEOUS, N.E.; WOLFE, R.; HALL, F.G.; KARL F. HUENNRICH, F.G.; KUTLER, J. e LIM, T. A Landsat Surface Reflectance Dataset for North America, 1990–2000. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 1, jan. 2006.

MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in Schools Influence Student Performance? A critical review of literature. **Indoor Air: International Journal of Indoor Environment and Health**, v. 15, n. 1, p. 27-52, 2005.

MENEZES, P. R; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** 1. ed. Brasília: CNPq. 2012. v. 1. 256p.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano.** São Paulo: IGEOG/USP. 1976. 181p.

NASCIMENTO, C. C. **Morfologia e clima urbano em Belém.** Belém: NUMA/UFPA, 1995. 160p.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Climate Indices:** Monthly Atmospheric and Ocean Time Series. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>>. Acesso em: 12 abr. 2013.

NOBRE, C.; SAMPAIO, G.; VELASQUEZ, L. F. S. Mudanças Climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura (SBPC)**, v. 59, p. 22-27, 2007.

OLIVEIRA, A. K. C.; OLIVEIRA, I. S. de A influência da temperatura nas histórias de vida de vertebrados. **Revista da Biologia.** v 12. p 8–15. 2014.

OLIVEIRA, F. N. M; ARAUJO, R. L. C.; CARVALHO, J. S.; COSTA, S. S. Determinação da variação no microclima de Manaus-AM por atividades antropogênicas e modulações climáticas naturais. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 687-699, 2008.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL - OMM (World Meteorological Organization- WMO) N°.1130. Disponível em: <https://www.wmo.int/pages/index_en.html>. Acesso em: 22 jan. 2014.

PARANAGUÁ, P.; MELO, P.; SOTTA, E.D.; VERISSIMO, A. **Belém Sustentável. Imazon - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia**. 2007. 197 p.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP**. 2007. 197p. Tese (doutorado em arquitetura e construção) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2007.

PORTO, L. P. M; BRASIL, H. M. S (Org.). **Manual de Orientação Técnica da Arborização Urbana de Belém: guia para planejamento, implantação e manutenção da arborização em logradouros públicos**. – Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2013.

PRIMAVESI, O; ARZABE, C.; PEDREIRA, M.S. **Mudanças climáticas: visão tropical integrada tropical**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

REDE METEOROLÓGICA DO COMANDO DA AERONÁUTICA. **Consulta de mensagens**. Disponível em: <<http://www.redemet.aer.mil.br/>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

ROBINSON, P. J. Temporal trends in United States dew point temperatures. **International Journal of Climatology**, v. 20, n. 9, p. 985-1002, 2000.

SANTOS, J. S.; MOTA, M. A. S.; ROCHA, E. J. P. Classificação climatológica da energia potencial disponível para a convecção na cidade de Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 60-72, 2014.

SANTOS, J. S.; MELLO, B. C. B.; ARAÚJO; L. E.; MELO, E. E. C. Caracterização do Campo Térmico Urbano e suas relações com o uso e ocupação do solo no Campus Central da UFPB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 03, p. 492-509-509, 2011.

SANTOS, K. P. C; CUNHA, A. C; COSTA, A. C. L; SOUZA, E. B. Índices de tendências climáticas associadas à "ilha de calor" em Macapá (1968-2010). **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v.19, n.3, p.325-336.2012.

SANTOS, M. J; SILVA DIAS, M. A. F.; FREITAS, E. D. Influence of local circulations on wind, moisture, and precipitation close to Manaus City, Amazon Region, Brazil. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 119, p. 13,233-13,249, 2014.

SCHOTT, J. R.; HOOK, S. J.; BARSÍ, J. A.; MARKHAM, B. L.; MILLER, J.; PADULA, F. P.; RAQUENO, N. G. Thermal infrared radiometric calibration of the entire Landsat 4, 5, and 7 archive (1982–2010). **Remote Sensing of Environment**, pp. 41–49. 2012.

SILVA, D. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na Bacia hidrográfica do rio Mundaú. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 324-332, 2010.

SILVA, L. B. **Análise da relação entre Produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do centro de processamento de dados da Caixa Econômica Federal de Pernambuco**. 2001. Tese (doutorado em engenharia de produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SILVA JUNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; COSTA, R. F.; RODRIGUES, H. J. B.; PEZZUTI, J. C. B. Sazonalidade de elementos meteorológicos da área urbana e periférica na cidade de Belém, PA. **Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium**, v. 4, p. 650-662, 2013.

SILVA JÚNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; GALBRAITH, D. Análise da Distribuição Espacial do Conforto Térmico na Cidade de Belém, PA no Período Menos Chuvoso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, p. 218-238, 2012.

SOLECKIA, W. C.; ROSENZWEIG, C.; PARSHALL, L.; POPEC, G.; CLARK, M.; COXA, J.; WIENCKED, M. Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. **Environmental Hazards**, Oxford, v. 6, p. 39-49, 2005.

SOUZA, D. O. **Influência da ilha de calor urbana nas cidades de Manaus e Belém sobre o microclima local**. 2012. Tese (doutorado em meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2012

SOUZA, D. O.; ALVALÁ, R. C. S. Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil. **Meteorological Applications**, v. 1, p. 1-8, 2012.

SOUZA, L. C. L. Ilhas de calor. **Jornal Unesp**, São Paulo, v.18, n.186, p.11, 2004.

SOUZA JÚNIOR, J. A.; NECHET, D.; OLIVEIRA, M. C. F.; ALBUQUERQUE, M. F. Estudo do comportamento da temperatura e precipitação nos períodos chuvosos e menos chuvosos em Belém-Pa em anos de fortes eventos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 5, p. 87-101. 2009.

STONE, D. et al. The challenge to detect and attribute effects of climate change on human and natural systems. **Climatic Change**, v. 121, n. 2, p. 381-395, 2013.

TETENS, V. O. **Über einige meteorologische Begriffe**, Zeitschrift für Geophysik. 6:297-309.1930.

THOM, E.C.; BOSEN, J.F. The discomfort index. **Weatherwise**. n12, p.57 - 60. 1959.

TORRENCE, C. **Wavetest Example Matlab Script For Wavelet, using NINO3 SST DATAS**. Disponível em: <<http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>>. Acesso em: 14 jun. 2014.

TORRENCE, C.; COMPO, Y. G.P. A Practical guide to wavelet analysis. **Bulletins of American Meteorological Society**, v. 79, p. 61-78, 1998.

TREMBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v. 178, p. 277-287. 1997.

UVO, C. B.; NOBRE, C. A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A posição da ZCIT no Atlântico equatorial. **Climanálise**, São José dos Campos, v. 4, n. 7, p. 34-42, 1989.

United States Geological Survey- USGS / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2014). Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat Landsat-8. Disponível em: < <http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 22 maio 2014.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.D. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991. 449p.

VICTORIA, R. L., MARTINELLI, L. A., MORAES, J. M., BALLESTER, M. V., KRUSCHE, A. V., PELLEGRINO, G., ALMEIDA, R. M. B., RICHEY, J. E. Surface air temperature variations in the Amazon region and its borders during this century. **Journal of Climate**, v. 11, p. 1105–1110. 1998.

VILANI, M. T.; SANCHES, L. Análise de Fourier e Wavelets aplicada à temperatura do ar em diferentes tipologias de ocupação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1340-1346, 2013.

WALLACE, J. M., HOBBS, P. V. **Atmospheric science: an introductory survey**. [S.l.]: Academic press, 2006. Vol. 92.

WARGOCKI, P.; WYON, D. P. The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on performance of school work by children. **Proceedings of Indoor Air I**, v. 1, p. 368-72, 2005.

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature - vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, Oxford, v.89, p.467-483. 2004.

XIAN, G.; CRANE, M. An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. **Remote Sensing of Environment**, Oxford, v.104, p. 147-156. 2006.

ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; BATTISTI, D. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93, **Journal of Climate**, v.10, p.1004-1020. 1997.