

Análise e correlação de variáveis climatológicas com os fenômenos climáticos e a urbanização na Cidade de Belém, no Estado do Pará, região Norte do Brasil

Analysis and correlation of climatological variables with climatic phenomena and urbanization in the City Belém, in the State of Pará, Northern Brazil

Análisis y correlación de variables climatológicas con fenómenos climáticos y urbanización en la Ciudad de Belém, en el Estado de Pará, Norte de Brasil

Recebido: 16/07/2020 | Revisado: 20/07/2020 | Aceito: 23/07/2020 | Publicado: 06/08/2020

Luanna Costa Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9086-8131>

CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Brasil

E-mail: luanna.dias@cprm.gov.br

Alexandre Miguel da Cruz Valente

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4559-188X>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

E-mail: alexandre.valente@ifpa.edu.br

Lindemberg Lima Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1806-4670>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: linlimfer@gmail.com

Resumo

Devido ao crescimento urbano desordenado a partir da década de 1970 e a ocupação de áreas alagáveis, a cidade de Belém sofre consequências com a precária rede de drenagem urbana associada aos altos índices pluviométricos. A proposta deste trabalho é relacionar as variáveis climatológicas (precipitação, temperatura, umidade, insolação, evaporação) com a urbanização em Belém e os fenômenos climáticos El Niño e La Niña, com uso dos testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall e Spearman. O período de estudo foi de 1970 a 2010, onde destaca-se a constante transformação da cidade e o crescimento da malha urbana. O crescimento urbano de Belém neste período foi de aproximadamente 85% com considerável diminuição de áreas verdes. A temperatura teve uma elevação de 0,5°C média no período. A ocorrência de El Niño e La Niña está diretamente relacionada com os extremos

máximos e mínimos da precipitação, mas não coincide com a elevação da temperatura quando se relaciona com o Índice Oceânico Niño (a) (ION). Na cidade de Belém a temperatura pode estar associada com as modificações do espaço natural e com o aumento da temperatura média global. Ao aplicar os testes (Mann-Kendall e Spearman) nas variáveis climatológicas, tem-se que a precipitação e temperatura têm tendência significativa de aumento, e consequentemente a umidade e evaporação de decaimento, apenas a insolação não apresentou tendência significativa. As alterações das variáveis climatológicas apresentadas neste trabalho podem estar relacionadas com o aumento da urbanização em Belém nos últimos quarenta anos. A intensificação da urbanização aliada a ausência de planejamento urbano ocasiona intensificação dos pontos de alagamento e diminuição do conforto térmico.

Palavras-chave: Urbanização; Fenômenos climáticos; Variáveis climatológicas.

Abstract

Due to the disordered urban growth since the 1970s and the occupation of flooded areas, the city of Belém suffers consequences with the precarious urban drainage network associated with high rainfall. The purpose of this work is to relate the climatological variables (precipitation, temperature, humidity, sunshine, evaporation) with urbanization in Belém and the climatic phenomena El Niño and La Niña, using the non-parametric statistical tests of Mann-Kendall and Spearman. The study period was from 1970 to 2010, which highlights the constant transformation of the city and the growth of the urban fabric. The urban growth of Belém in this period was approximately 85% with a considerable decrease in green areas. The temperature had an average increase of 0.5°C in the period. The occurrence of El Niño and La Niña is directly related to the maximum and minimum extremes of precipitation, but it does not coincide with the rise in temperature when it is related to the Oceanic Niño Index (a) (ION). In the city of Belém, temperature may be associated with changes in the natural environment and with an increase in the average global temperature. When applying the tests (Mann-Kendall and Spearman) on climatological variables, it is observed that precipitation and temperature have a significant tendency to increase, and consequently the humidity and evaporation of decay, only insolation did not show a significant trend. The changes in climatological variables presented in this work may be related to the increase in urbanization in Belém in the last forty years. The intensification of urbanization combined with the absence of urban planning causes an intensification of flooding points and a decrease in thermal comfort.

Keywords: Urbanization; Climate phenomena; Climatological variables.

Resumen

Debido al desordenado crecimiento urbano desde la década de 1970 y la ocupación de áreas inundadas, la ciudad de Belém sufre consecuencias con la precaria red de drenaje urbano asociada con altas precipitaciones. El propósito de este trabajo es relacionar las variables climatológicas (precipitación, temperatura, humedad, insolación, evaporación) con la urbanización en Belém y los fenómenos climáticos El Niño y La Niña, utilizando las pruebas estadísticas no paramétricas de Mann-Kendall y Spearman. El período de estudio fue de 1970 a 2010, que destaca la transformación constante de la ciudad y el crecimiento del tejido urbano. El crecimiento urbano de Belém en este período fue aproximadamente del 85% con una disminución considerable en las áreas verdes. La temperatura tuvo un aumento promedio de 0.5°C en el período. La ocurrencia de El Niño y La Niña está directamente relacionada con los extremos máximos y mínimos de precipitación, pero no coincide con el aumento de la temperatura cuando se relaciona con el Índice oceánico del Niño (a). En la ciudad de Belém, la temperatura puede estar asociada con cambios en el entorno natural y con un aumento en la temperatura global promedio. Al aplicar las pruebas (Mann-Kendall y Spearman) en variables climatológicas, se observa que la precipitación y la temperatura tienen una tendencia significativa a aumentar, y en consecuencia la humedad y la evaporación de la descomposición, solo la insolación no mostró una tendencia significativa. Los cambios en las variables climatológicas presentadas en este trabajo pueden estar relacionados con el aumento de la urbanización en Belém en los últimos cuarenta años. La intensificación de la urbanización combinada con la ausencia de planificación urbana provoca la intensificación de los puntos de inundación y una disminución del confort térmico.

Palabras clave: Urbanización; Fenómenos climáticos; Variables climatológicas.

1. Introdução

Em áreas urbanas, as variações espacial e temporal das precipitações são mais sensíveis, por conta da característica atmosférica local possuir maior concentração de partículas e disponibilidade de calor sensível, além do aumento de fatores climatológicos como a radiação solar e as ilhas de calor urbano. Isto interfere na temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa e circulação local (Santos, 2012).

Identificar e quantificar os fenômenos climáticos urbanos e correlaciona-los com fatores como urbanização ou arborização são de grande importância para os projetos de planejamento urbano, contribuindo para melhoria da qualidade de vida, de acordo com o Oke

(1987) *apud* Silva Júnior *et al* (2012); e infere na interação sociedade-clima, ainda que superficialmente em que modificações no espaço urbano interferem direta ou indiretamente o clima de uma região.

Segundo Coutinho *et al* (2010), além da urbanização, outras causas para variabilidade climática na Região Norte do Brasil são as fases extremas da Oscilação Sul, principalmente a fase negativa (La Niña – LN) e a fase positiva (El Niño – EN), podendo ocasionar secas anormais em grandes áreas (EN) e inundações intensas (LN). Outros sistemas atmosféricos influente são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as linhas de instabilidade (LI), que são constantemente relacionadas com as chuvas intensas na cidade de Belém.

O estudo do clima urbano é complexo por envolver diversas variáveis, que, de acordo com Coltri *et al* (2006), essas variáveis não respondem da mesma maneira a diferentes situações. Monteiro (1976) *apud* Castro (2009) propôs a Teoria do Sistema Clima Urbano, em uma tentativa de entender e explicar a relação entre estas variáveis, através da meteorologia local e regional, além de abranger aspectos da urbanização como crescimento e cultura da população, economia e expansão das cidades, materiais empregados nas construções, verticalização do solo, morfologia urbana, entre outros.

A cidade de Belém ao longo de sua expansão urbana vivenciou diversas fases, sobretudo no período auge da borracha. Ao longo de sua história houve intensa migração no sentido do campo para a cidade. A população de baixa renda ocupou as áreas periféricas e alagáveis neste processo de ocupação, resultando em ocupação desordenada, desigualdade e exclusão social.

Como a cidade é cercada por rios, possui elevado índice pluviométrico e urbanização intensa alguns problemas surgem como: a diminuição das áreas verdes, formação de ilhas de calor e sistemas de drenagem pluvial que não são suficientes para conter os frequentes pontos de alagamento. Ao analisar toda esta temática, o presente trabalho tem como objetivo relacionar as variáveis climatológicas (precipitação, temperatura, umidade, insolação, evaporação) com a urbanização em Belém e os fenômenos climáticos El Niño e La Niña, com uso dos testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall e Spearman.

2. Metodologia

A cidade de Belém é a capital do estado do Pará, com uma área territorial de 1.059,406 km², situada na zona equatorial, às margens da Baía do Guajará e Rio Guamá, distante 120 quilômetros do Oceano Atlântico no estuário do Rio Pará. Situa-se próximo à

linha do equador – o que justifica altas temperaturas – com coordenadas de latitude 01°26'S e longitude 48°26'W (Kawaguchi, 2013).

O clima é do tipo tropical úmido, com tipologia climática Af (segundo a classificação de Köppen), que representa um clima equatorial chuvoso ou de floresta equatorial, caracterizado por sua grande precipitação anual acumulada. Como poderá ser observado nos resultados deste trabalho, ocorrem dois períodos climáticos: um chuvoso (de dezembro a maio) e outro de estiagem (junho a novembro).

A topografia é pouco variável e baixa. Na área urbana, há grandes áreas que estão abaixo do nível do mar e que sofrem influência das marés altas, com dificuldades para reter a água da chuva. Isto somado ao acúmulo inadequado de resíduos próximos aos canais, que resulta em sérios problemas de inundação urbana no período chuvoso, afetando diretamente a população e a qualidade dos recursos hídricos da região.

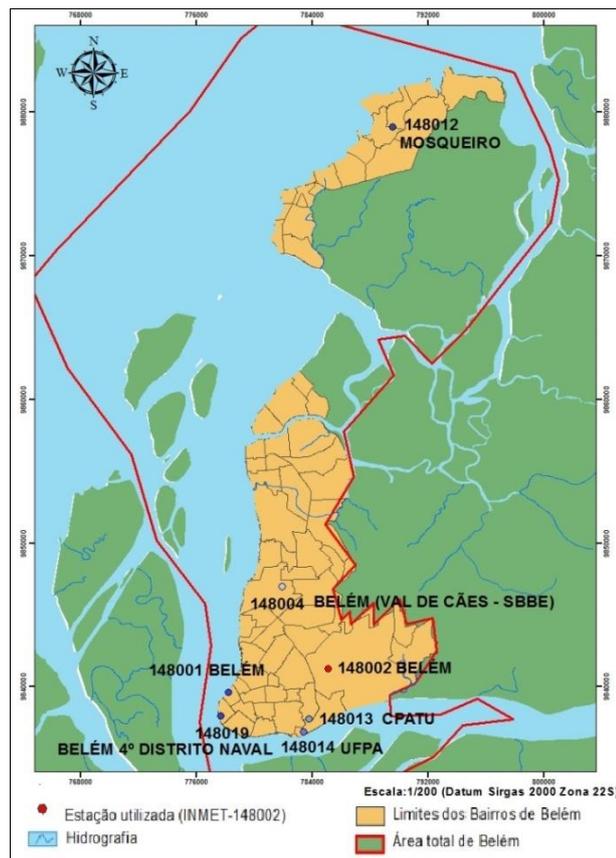
2.1 Coleta e Análise da Série Histórica

Os dados utilizados neste trabalho são da estação climatológica de Belém, código 00148002 da Agência Nacional de Águas (ANA), segundo classificação por bacias hidrográficas pelo método de Otto Pfafstetter, sob responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na latitude de 01°26'06'' S e longitude de 48°26'16'' W com altitude de 10 m. A estação é do tipo automática, que é composta por uma unidade de memória central “data logger”, ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento etc.), que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora (BRASIL, 2011).

Para a realização de uma análise mais detalhada, o ideal seria que a cidade tivesse mais estações meteorológicas, para verificar como se comporta a distribuição dos parâmetros ao longo de todo território. Nas áreas urbanas, isto é fundamental, devido às alterações no espaço urbano e formações de Ilha de Calor Urbano, chuvas ácidas e radiação solar, que podem intensificar ou amortizar os parâmetros meteorológicos.

O Município de Belém tem em operação outras estações, mas não possuíam dados suficientes para o período em estudo (1970 a 2010), além de terem apenas o parâmetro de precipitação de acordo com o banco de dados hidrológicos da ANA. A Figura 1 apresenta todas as estações dentro dos limites do Município de Belém.

Figura 1 – Estações Meteorológicas do Município de Belém-PA.



Fonte: Autores.

Além do banco de dados do INMET, foram utilizados dados censitários do IBGE desde 1872. A análise das áreas urbanizadas foi realizado através do catálogo de imagens do satélite Landsat 1, Landsat 5 e do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS-2B), disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A vetorização das imagens foi feita com o software ArcView 10.

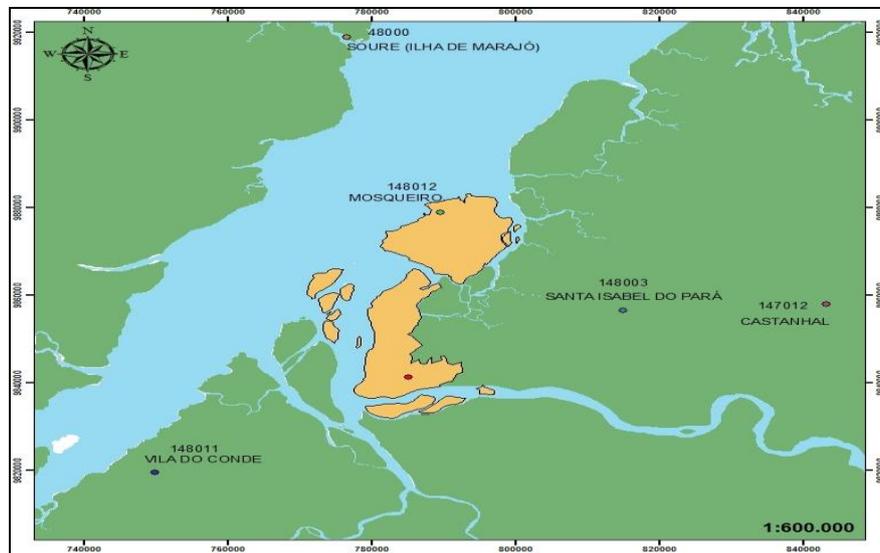
2.2 Análise e Consistência dos Dados

A consistência foi feita apenas para a série pluviométrica, pois é uma variável de causas naturais indeterminadas, em função principalmente de falhas nos registros. As falhas foram preenchidas pelo INMET, que é responsável por disponibilizar os dados. Os principais equipamentos de registros pluviométricos utilizados no Brasil são o pluviômetro e o pluviógrafo. O método utilizado para consistir os dados, após o preenchimento realizado pela operadora da estação, foi o de dupla massa, proposto pelo *United States Geological Survey*

(USGS) em 1966, que é o mais aplicado no Brasil e indicado para séries mensais e anuais (Tucci, 2013).

O raio utilizado para a escolha das estações foi de até 100 km. Este valor foi baseado no Manual de Práticas Hidrológicas da Organização Mundial de Meteorologia (OMM), através do seu modelo revisado em 1994, onde em regiões planas a densidade mínima deve ser de uma estação por 575 km². As estações de apoio escolhida foram: Mosqueiro (00148012), Santa Isabel do Pará (00148003), Castanhal (00147012), Soure (00148000) e vila do Conde (00148011) e estão identificadas na Figura 2, em que é possível observar sua distribuição no entorno do Município de Belém, conforme recomendação da OMM.

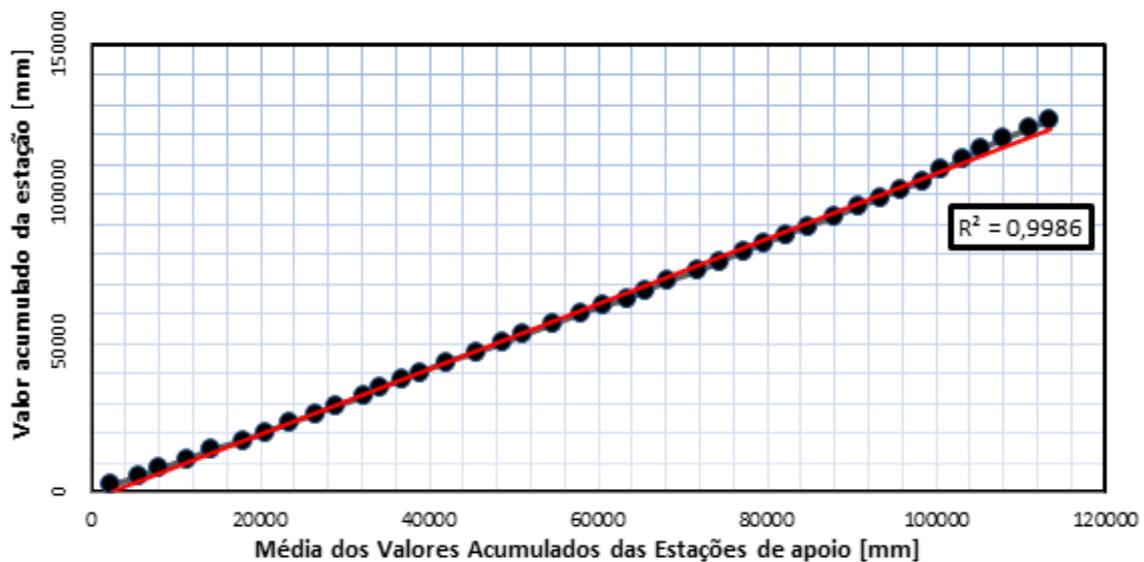
Figura 2 – Estações de Apoio no método de dupla massa.



Fonte: Autores.

A Figura 3 apresenta a curva de Dupla Massa gerada para a verificação de consistência entre os dados da série conforme a metodologia apresentada. A partir da análise da curva, tem-se um alto coeficiente de determinação R^2 (99,86%).

Figura 3 – Curva de Dupla Massa (Belém-148002).



Fonte: Autores.

2.3 Estudo de Tendência da Série através de métodos não paramétricos

Os métodos paramétricos assumem que a distribuição seja conhecida, e que somente os valores de certos parâmetros (média, desvio padrão, etc.) sejam desconhecidos. Se os dados não satisfazem as suposições feitas pelas técnicas tradicionais, métodos não paramétricos de inferência estatística devem ser usados, pois fazem poucas suposições sobre as distribuições originais (Sandoval, 2015). Com isto, o teste não paramétrico de Mann-Kendall e o coeficiente de Spearman, foram utilizados para avaliar a estacionariedade das variáveis em estudo.

2.3.1 Teste não paramétrico de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall, de acordo com Gossens e Berger (1986) *apud* Limeira (2012), é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas, permitindo a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinação da tendência. Recomendado pela OMM para avaliação da tendência de uma série temporal de dados ambientais. O teste considera na hipótese de estabilidade de uma série temporal, que a sucessão de valores ocorra de forma independente, e a distribuição da probabilidade deve permanecer sempre a mesma. De acordo com Lopes (2013), a estatística do teste é:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

Em que: X_j : dados estimados da sequência de valores, n : é o comprimento da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$.

Ainda segundo Lopes(2013, o valor de S é normalmente distribuído com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculados pelas equações:

$$E(S) = 0 \quad (2)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

Em que: t_p é o número de dados com valores iguais num certo grupo e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O teste estatístico parametrizado de Mann-Kendall (ZMK) é dado pela equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor de ZMK. Após o teste de hipótese, um valor positivo ou negativo de ZMK pode indicar um aumento ou diminuição na tendência, dentro de um nível de significância, que foi adotado de 95% do valor de ZMK, entre $-1,96$ a $+1,96$.

2.3.2 Teste de Spearman

Segundo Bauer (2007), o coeficiente de Spearman é a estatística mais antiga baseada em postos, e estima a correlação de duas variáveis que não possuem distribuição conjunta normal bivariada. Melo e Lustosa (2005) afirmam que é uma medida de correlação não

paramétrica que se baseia na ordenação de duas variáveis sem qualquer restrição quanto a distribuição de valores.

Para Pontes (2010) dadas duas variáveis (X e Y), pode-se relacioná-las através do coeficiente de correlação de Pearson. O coeficiente de correlação de Spearman (r_s), equivale ao coeficiente de correlação de Pearson adaptado a dados transformados em postos, sendo a atribuição de postos feita separadamente para uma das variáveis. Assim, para a variável X atribui-se o posto 1 à menor variável, posto 2 à segunda menor variável e assim por diante, até o posto n para a maior variável. O mesmo procedimento para a variável Y independente dos valores para a variável X. O coeficiente de Spearman é dado:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (5)$$

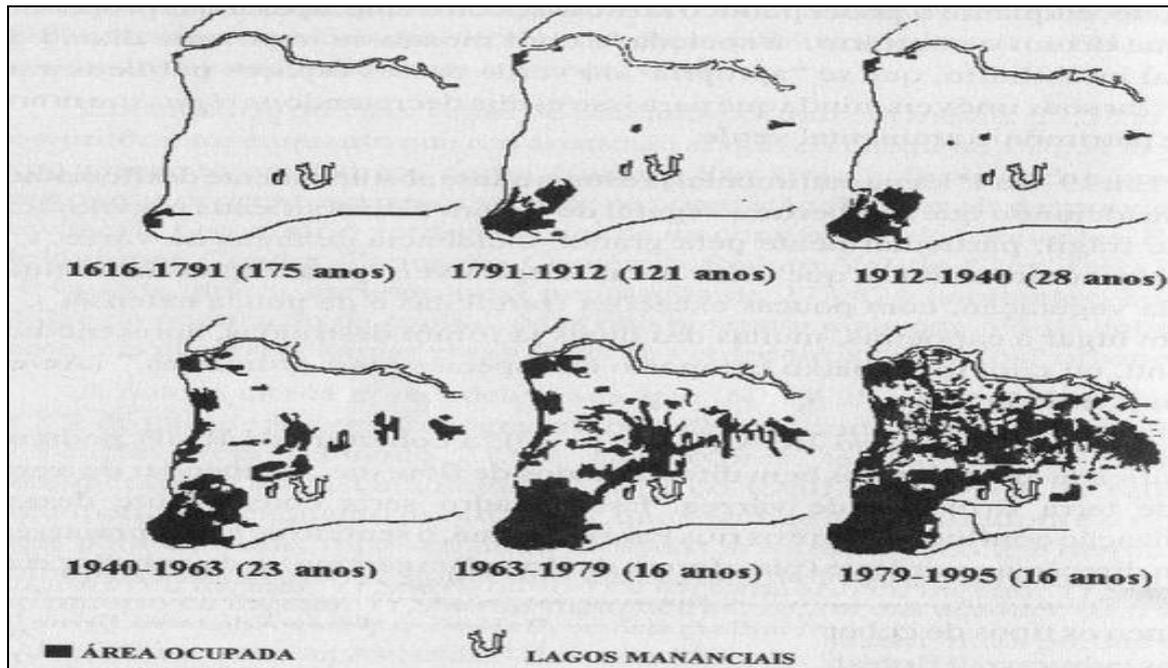
Em que d é a diferença entre cada posto de correspondentes a X e Y e n é o número de elementos da amostra. O valor máximo para o coeficiente de Spearman é 1 e ocorre quando todos os valores de d são nulos, podendo variar de -1 (maior correlação negativa) e 1 (maior correlação positiva).

3. Resultados e Discussão

A cidade de Belém surge a partir de 1616 quando a coroa Portuguesa exerce a função de consolidar o domínio do território amazônico. A cidade passa a crescer pelas margens da Baía do Guajará, na direção do distrito de Icoaraci (Silva Júnior, 2012). Já na segunda metade do século XIX, no auge do ciclo da borracha foram criados diversos serviços de iluminação, esgoto, bondes elétricos, calçamento de vias. Com a consolidação da expansão urbana na direção do atual bairro do Marco, planejado dentro dos limites da 1ª légua Patrimonial. Segundo Bassalo e Nascimento (2002) *apud* Silva Júnior (2012) com o aumento da riqueza houve um acréscimo populacional acentuado entre os anos de 1872 e 1920.

No final da década de 1960, com a integração rodoviária através da Belém-Brasília (Br-010), a penetração e colonização da região ficaram mais fáceis. Resultando num crescimento de 130%, da população urbana na cidade de Belém (Kampel et al. 2001). Como pode ser observado na Figura 3, a ocupação da cidade de Belém desde a sua fundação até a década de 90.

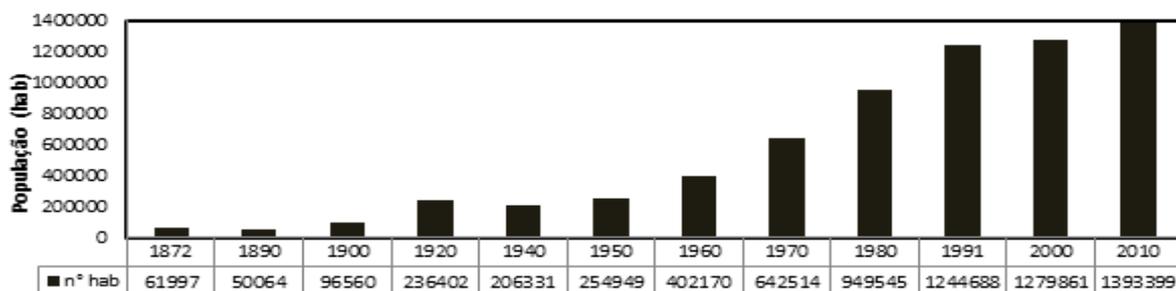
Figura 4 – Expansão urbana na cidade de Belém.



Fonte: Rodrigues (1996) *apud* Silva Júnior (2012).

A Figura 5 apresenta o crescimento da cidade de Belém desde 1872 a 2010 de acordo com o IBGE. Segundo Souza (2012), este crescimento se deu pela verticalização, por conjuntos habitacionais e favelas. As condições precárias do espaço urbano se dão desde a época do ciclo da borracha, resultando na segregação da cidade, com a população menos favorecida se concentrando em áreas alagáveis.

Figura 5 - Crescimento da população residente em Belém.

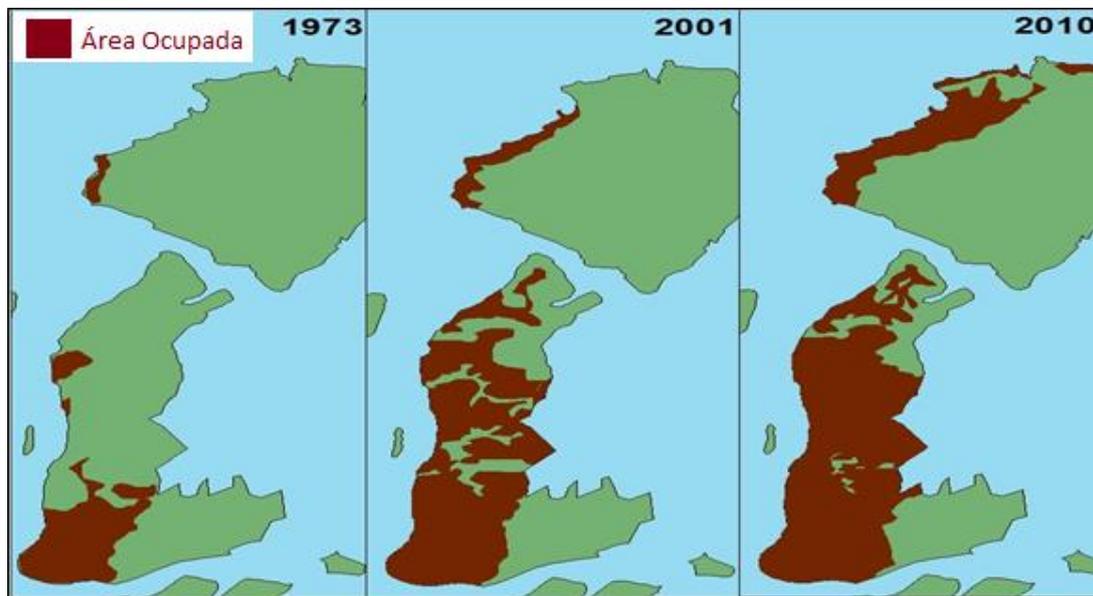


Fonte: Dados dos Censos Demográficos de 1872 a 2010 do IBGE.

Para o período de 1970 a 2010 o crescimento urbano de Belém foi de 85,6% com o incremento de 750.885 habitantes. Devido ao crescimento da urbanização em todo mundo durante o século XX, a climatologia urbana é muito importante. Isto faz com que haja uma pressão sobre os recursos naturais, com redução de áreas verdes, aumento de superfícies de

concreto, poluição dos recursos hídricos, além do aumento na temperatura da cidade. A Figura 6 apresenta, a partir da vetorização de imagens, obtidas por satélites, que exprimem a redução significativa de áreas verdes para o período em estudo:

Figura 6 – Crescimento urbano na cidade de Belém de 1973 a 2010.



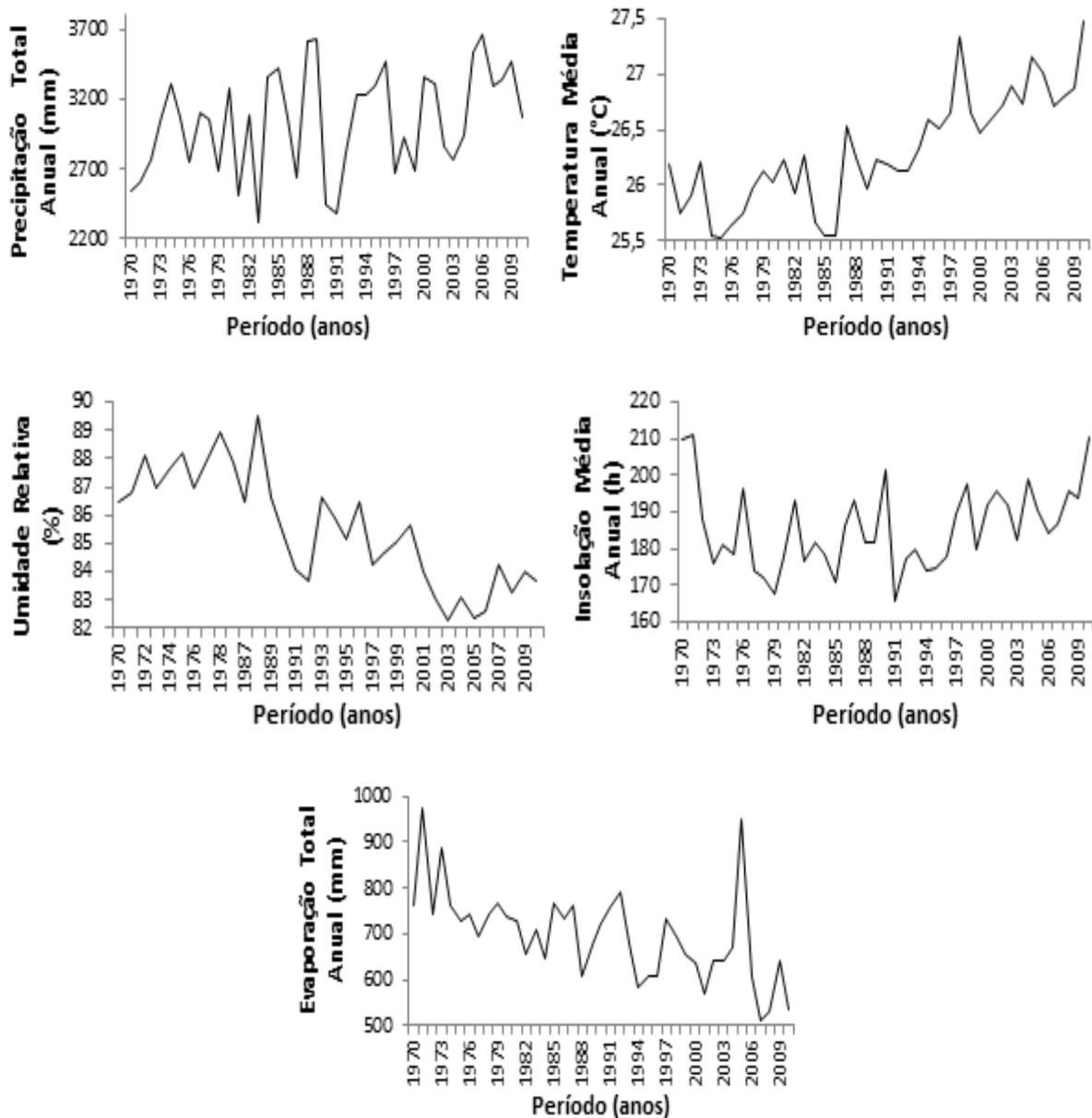
Fonte: Imagens vetorizadas de satélite do INPE.

Observa-se que há um adensamento no crescimento urbano na cidade de Belém, em que a tendência é a expansão para a direção norte, onde estão situados os distritos de Icoaraci e Mosqueiro, além das cidades vizinhas que compõe a Região Metropolitana de Belém (RMB).

3.1 Avaliações da precipitação e demais variáveis climatológicas

A Figura 7 apresenta a distribuição das variáveis climatológicas no período de 1970 a 2010.

Figura 7 – Variabilidade das variáveis climatológicas.



Fonte: Autores.

Através da análise do comportamento da temperatura e umidade é possível observar uma tendência de aumento e diminuição respectivamente. A estatística descritiva das variáveis pode ser observada na Tabela 1, juntamente com os anos em que houve os eventos máximo e mínimo. Observa-se que a temperatura teve uma elevação ao longo do tempo, com o desvio (σ) de $0,5^{\circ}\text{C}$.

A OMM (2013) aponta que as temperaturas médias da superfície da terra e dos oceanos ficaram cerca de $0,5^{\circ}\text{C}$ acima da média entre 1961 e 1990. Ou seja, há uma tendência

de aquecimento mesmo que não seja uniforme. Ainda segundo a OMM (2013), os anos de 2010 e 2005 ficaram 0,55°C acima da média.

Em consequência do aumento da temperatura, tem-se diminuição da porcentagem de vapor de água que há no ar, reduzindo a umidade relativa. Enquanto a evaporação deve associar-se a insolação, isto é, o calor do sol está relacionado a evaporação da água. No entanto, como a umidade relativa na região é bastante elevada, isto dificulta a entrada de vapor de água.

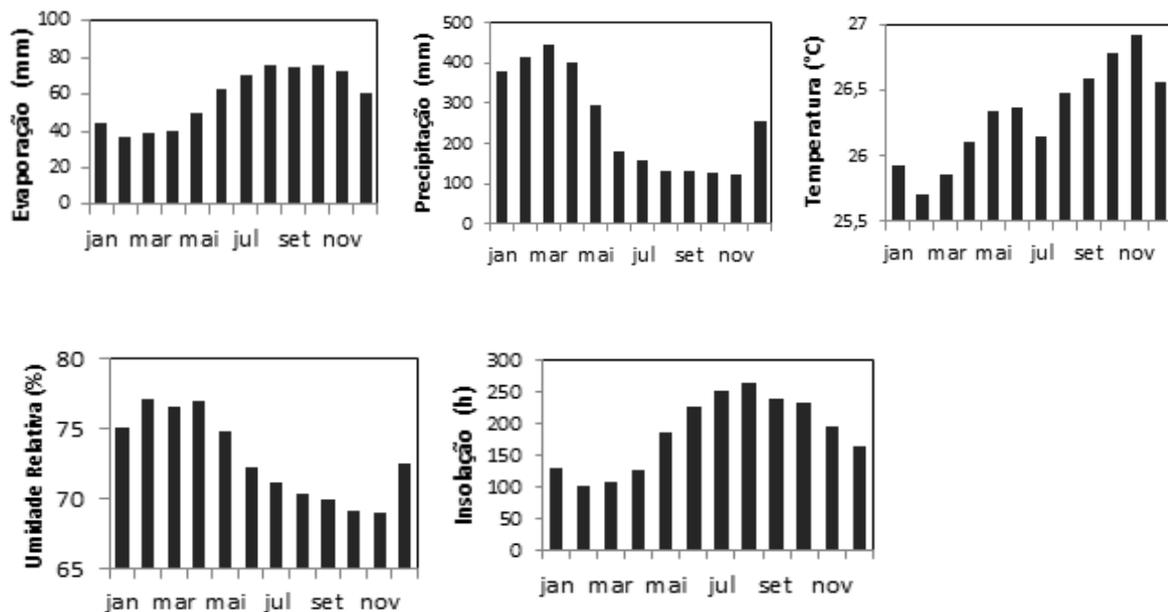
Tabela 1 - Estatística Anual e Diária das Variáveis Climatológicas (1970-2010).

Estatística	Precipitação (mm)	Temp. Média Comp. (°C)	Umidade Relativa (%)	Insolação(h)	Evaporação (mm)
Média	3038,41	26,31	85,53	185,69	697,36
Desvio Padrão	368,17	0,50	2,00	11,44	99,23
Amplitude	1349,30	1,93	7,17	45,81	459,30
Coef. de Variação	0,12	0,02	0,02	0,06	0,14
Máximo	3663,80	27,47	89,48	211,37	971,70
Mínimo	2314,50	25,54	82,31	165,56	512,40
Ano Máxima	2006	2010	1988	1971	1971
Ano Mínima	1983	1975	2003	1991	2007
Máximo Diário	200,8	29,44	100	12,1	14,4
Mínimo Diário	0	20	65,25	0	0

Fonte: Autores.

A Figura 8 apresenta o comportamento sazonal das variáveis climatológicas, destacando duas zonas bem definidas para o período chuvoso e não chuvoso de 1970 a 2010, apenas a temperatura apresentou uma certa instabilidade.

Figura 8 – Comportamento mensal das variáveis (1970-2010).



Fonte: autor. Base de dados do INMET.

A Tabela 2 apresenta os valores de ZMK, sendo que para $ZMK \geq 1,96$ ou $-1,96 \geq ZMK$ representa tendência significativa, positiva ou negativa respectivamente. Os valores em negrito indicam tendências positivas e negativas que são significativas.

Tabela 2 – Valores de ZMK divididos mensalmente para os anos de 1970 a 2010.

Variáveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Precipitação	0.40	-0.99	0.83	3.46	0.72	1.62	-1.28	0.53	-0.64	1.70	1.28	1.79
Temperatura	3.91	3.41	3.93	4.02	4.36	5.55	5.57	5.23	6.89	5.41	5.69	5.19
Umidade	-3.39	-3.75	-4.81	-3.71	-3.19	-4.87	-4.72	-4.93	-4.87	-4.16	-2.83	-2.85
Insolação	0.79	0.70	2.21	0.79	-0.40	0.63	-0.24	0.97	3.35	1.11	-0.64	-0.90
Evaporação	-2.86	-2.54	-2.89	-2.60	-2.86	-2.93	-2.21	-3.25	-1.09	-2.90	-3.25	-3.24

Fonte: Autores.

Ao analisar os valores de ZMK observa-se que quanto à precipitação, apenas no mês de abril houve aumento significativo. Já a temperatura tem tendência positiva e significativa em todos os meses nos últimos quarenta anos, sendo o mês de setembro o de maior tendência. Em setembro, a evaporação não é significativa, e os demais meses possuem tendência de redução significativa. Também, no mês de setembro, a insolação é a mais relevante. Neste

caso, é possível inferir que a tendência positiva de temperatura deste mês está associado ao aumento da insolação no mês de setembro.

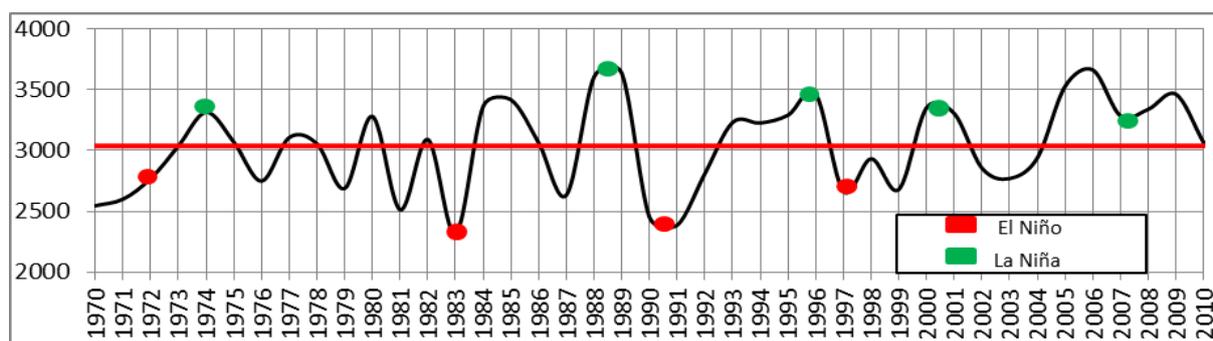
Ao comparar a análise da Tabela 2 com os gráficos da Figura 8, que representam apenas as médias destes meses, conclui-se que a análise apenas das médias não é suficiente para verificar em que mês houve tendência significativa, os gráficos apresentam apenas os meses de maior ou menor intensidade.

3.2 Relação com os fenômenos meteorológicos

De acordo com Moura e Vitorino (2012), a variação tempo-espaço das variáveis meteorológicas, em especial a precipitação, está relacionada à atuação de fenômenos meteorológicos, que modulados por mecanismos oceano-atmosfera de escala interanual, sazonal e intrassazonal determinam a quantidade pluviométrica de determinadas regiões equatoriais.

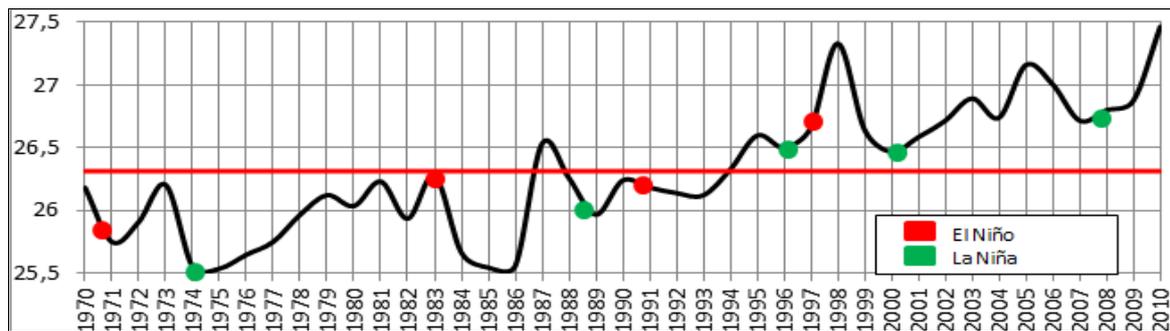
Para Romero e Marcuzzo (2013), as alterações do comportamento climático, intensidade dos ventos alísios, precipitação, secas, cheias e frentes frias que atingem a região Norte, representam o cenário que o El Niño e La Niña podem promover. As Figuras 9 e 10 representam a ocorrência dos fenômenos de forte intensidade de acordo com Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), relacionando com a precipitação anual e a temperatura.

Figura 9 – Ocorrência de El Niño e La Niña relacionado com a Precipitação.



Fonte: Autores.

Figura 10 – Ocorrência de El Niño e La Niña relacionada com a Temperatura.

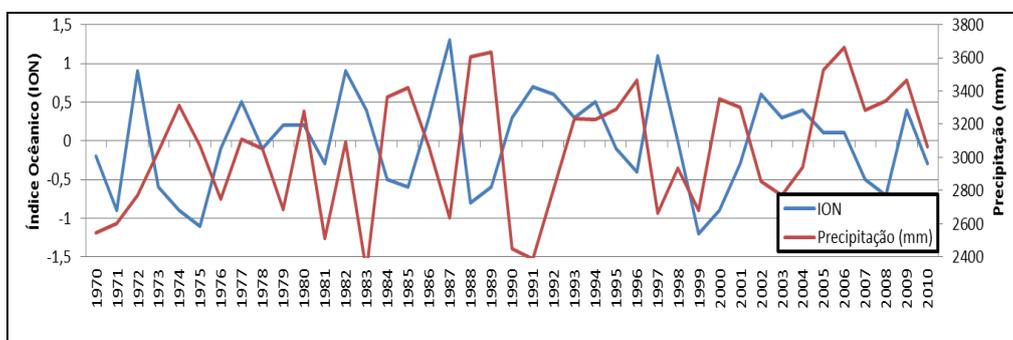


Fonte: Autores.

Ao analisar a ocorrência de El Niño e La Niña de forte intensidade, os picos máximo e mínimo da Figura 9 coincidem com a ocorrência dos fenômenos. Em que os extremos das cheias coincidem com La Niña e de seca com o fenômeno El Niño. Já em relação à Temperatura (Figura 10), não apresentou uma relação forte de máximos e mínimos com os fenômenos, já que poucas vezes coincidiu com os extremos.

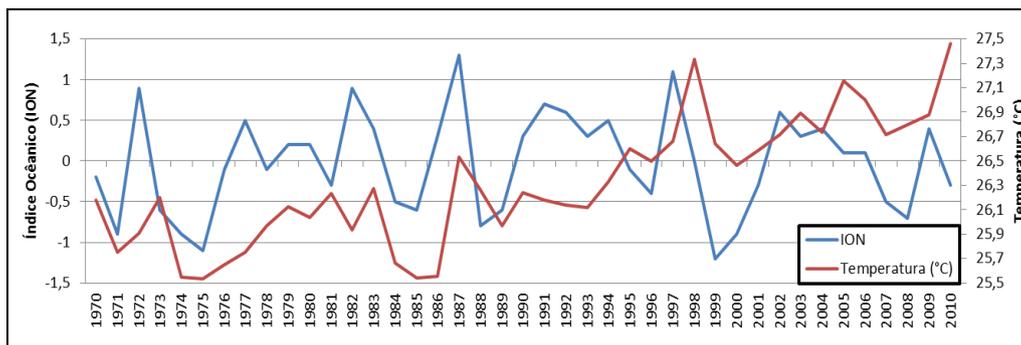
Para verificar a correlação dos fenômenos ENOS com a precipitação e temperatura, utilizou-se o Índice Oceânico Niño(a) (ION), que de acordo com Romero e Marcuzzo (2013) é um índice que identifica as anomalias da superfície do oceano Pacífico através de uma média móvel de três meses. Valores positivos correspondem à ocorrência de El Niño e negativos de La Niña. Para correlacionar com a precipitação e temperatura foi utilizada a média anual do ION. Os valores dos índices foram baseados em Romero e Macuzzo (2013) e Kawaguchi (2013). A Figura 11 representa a relação da precipitação com o ION, sendo apresentado o teste de Mann-Kendall para analisar a tendência, e a Figura 12 com relação à temperatura.

Figura 11 – Relação das médias anuais de precipitação e ION, ZMK= 2,41.



Fonte: Autores.

Figura 12 – Relação das médias anuais de temperatura e ION, ZMK= 0,82.



Fonte: Autores.

Na Figura 11 observa-se uma tendência significativa da relação do El Niño e La Niña com a precipitação, comprovando que estes fenômenos influem na ocorrência de eventos extremos na cidade de Belém. No entanto, os fenômenos climáticos não possuem relação significativa com o aumento da temperatura nos últimos quarenta anos. Guimarães e Reis (2012) em seu trabalho da influência do Fenômeno ENOS na temperatura brasileira, com dados de 265 estações nos últimos 50 anos (1960 a 2010), concluíram que estes fenômenos influenciaram em todas as regiões brasileiras, exceto na Região Amazônica. Sendo verificado que na cidade de Belém se confirma este resultado, em que os fenômenos tem influência direta apenas no regime de precipitação.

3.3. Análise da Tendência

Ao aplicar o coeficiente de correlação de Spearman e o de Mann-Kendall, com nível de significância de 95%, para todas as variáveis em estudo, obtém-se a Tabela 3. Com relação às variáveis no período (de 1970 a 2010), todas possuem tendência significativa de aumento (precipitação e temperatura) e de redução (umidade e evaporação), e apenas a insolação não possui tendência significativa nos últimos quarenta anos.

A temperatura tem relação significativa com a insolação, evaporação e umidade, exceto com a precipitação. Como não está diretamente ligada aos fenômenos ENOS, pode-se inferir que esta variável está relacionada com o aumento da temperatura global do planeta e provavelmente com a crescente urbanização da cidade, como apresentado. Isto acarreta na formação das ilhas de calor urbano, que são mudanças provocadas pela diminuição da vegetação natural por áreas urbanas, criando circulações locais que podem modificar o comportamento de diversas variáveis meteorológicas.

Tabela 3 – Análise da Tendência das Variáveis em estudo.

Variáveis		Coeficiente de Spearman				Teste de Mann-Kendall($\alpha=0,05$)				
		Coef. Spearman	t	p	Significância	S	Coef _{MK}	Z _{MK}	p	Significância
Precipitação	Temperatura	0,0742	0,4648	0,6447	NS	34	0,0415	0,3819	0,3513	NS
Precipitação	Tempo	0,3444	2,2911	0,0274	S ⁺	202	0,2463	2,2689	0,0116	S ⁺
Precipitação	Insolação	-0,1838	-1,1677	0,2499	NS	-94	-0,1146	1,0558	0,8557	NS
Precipitação	Evaporação	-0,4389	-3,0502	0,0041	S ⁻	-234	-0,2855	2,6299	1,2081	S ⁻
Precipitação	Umidade	-0,0163	-0,0925	0,9269	NS	-3	-0,0053	0,0445	0,5177	NS
Temperatura	Tempo	0,8415	9,7257	<0,0001	S ⁺	536	0,6537	6,0203	<0,0001	S ⁺
Temperatura	Insolação	0,3984	2,7128	0,0098	S ⁺	220	0,2683	2,471	0,0067	S ⁺
Temperatura	Evaporação	-0,5103	-3,7056	0,0006	S ⁻	-284	-0,3466	3,1918	1,9771	S ⁻
Temperatura	Umidade	-0,8075	-7,7436	<0,0001	S ⁻	-347	-0,6185	5,1441	<0,0001	S ⁻
Insolação	Tempo	0,2763	1,7954	0,0802	NS	168	0,2049	1,887	0,0296	NS
Insolação	Evaporação	-0,1384	-0,8728	0,3881	NS	-75	-0,0915	0,8429	0,8008	NS
Insolação	Umidade	-0,3115	-1,8546	0,0728	NS	-107	-0,1907	1,5862	0,9537	NS
Evaporação	Tempo	-0,6585	-5,464	<0,0001	S ⁻	-400	-0,4881	4,4955	<0,0001	S ⁻
Evaporação	Umidade	0,3168	1,8891	0,0679	NS	122	0,2177	1,8102	0,0351	NS
Umidade	Tempo	-0,8176	-8,0317	<0,0001	S ⁻	-329	-0,5865	4,8772	<0,0001	S ⁻

S⁺: tendência positiva; S⁻: tendência negativa; NS : Não Significativo

Fonte: Autores.

4. Considerações Finais

O aumento da urbanização em Belém nos últimos quarenta anos pode ter relação nas alterações das variáveis climatológicas, principalmente somadas com a inserção dos fenômenos climáticos. Em que os fenômenos El Niño e La Niña não influenciam na temperatura, mas apenas no regime de precipitação. A temperatura e demais variáveis podem ser influenciadas pela urbanização que altera o microclima local da cidade. De acordo com as bibliografias pesquisadas, é fundamental inserir aspectos urbanos e sociais como variáveis de estudo.

A alteração destas variáveis seja influenciada pelos fenômenos climáticos, urbanização e/ou mudanças climáticas globais, afetam diretamente o ciclo hidrológico, trazendo consequências para o conforto ambiental da cidade.

Estes resultados tendem a piorar a situação de áreas com ausência de planejamento urbano, por exemplo, pois são áreas vulneráveis e com o acúmulo inadequado de resíduos, precária manutenção dos sistemas de drenagem, baixa arborização, segregação social e outros fatores sociais, só aumentam a situação de riscos destes locais. Esta realidade é presente na cidade de Belém. Portanto, os agentes públicos devem levar em conta estes fatores para a realização de um planejamento urbano eficiente e sustentável.

Referências

- Bauer, L.(2007). *Estimação do coeficiente de correlação de Spearman ponderado*. 2007. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Brasil (Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento). (2011). *Nota técnica: Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET*. Brasília: INMET.
- Castro, A. R. C. C.(2009). *Aplicação de sensoriamento remoto na análise espaço-temporal das ilhas de calor e ilhas de frescor urbanas no município de Belém-PA, nos anos de 1997 e 2008*. Belém: Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Pará.
- Coltri, P. P. (2006). *Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: Análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto*. São Paulo: Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- Coutinho, E. C., Gutierrez, L. A. C. L., & Barbosa, A. J. S. (2010). *Variabilidade da Precipitação em Belém-PA relacionada com os fenômenos El Niño e La Niña*. Belém: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- Guimarães, D. P., & Reis, R. J.(2012). *O fenômeno ENOS e a temperatura no Brasil*. Gramado: Anais do 27º Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- Kampel, S. A., Câmara, G., & Vieira, A. M. (2001). *Análise Espacial do Processo de Urbanização da Amazônia*. Brasília: Relatório Técnico, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Kawaguchi, E. Y.(2013). *Análise da influência de fenômenos climáticos no regime de precipitação na cidade de Belém-PA*. Belém: 2013. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará.

Limeira, R. C., Sousa, F. A. S., Silva, V. P. R., & Oliveira, P. T. (2012). Tendência das chuvas no Estado da Paraíba. *Revista Hispeci & Lema on line*, 3 (3), 2012.

Lopes, J. R. F., & Silva, D. F.(2013). Aplicação do teste de Mmann-Kendall para análise de tendência pluviométrica no estado do Ceará. *Revista de Geografia (UFPE)*, 30 (3), 192-208.

Melo, L. M. C., & Lustosa, M. C. J. (2005). *Análise da correlação entre indicadores de desenvolvimento sustentável no Brasil*. Brasília: Anais do VI Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica.

Moura, M. N., & Vitorino, M. I. (2012). Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(4), 475-483.

OMM (2013). *A OMM aponta aumento na temperatura média da superfície da terra e dos oceanos*. Retrieved from < <http://www.estadao.com.br/noticias/planeta,ano-de-2013-foi-6-mais-quente-da-historia-e-2014-pode-superar-marca,1126892>>.

Pinto, E. J. A. (2013). *Atlas Pluviométrico do Brasil, Metodologia para definição das Equações IDF*. Belo horizonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Pontes, A. C. F. (2010). *Ensino da Correlação de Postos no Ensino Médio*. São Pedro: Anais do 19º Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística.

Romero, V., & Marcuzzo, F. F. N. (2013). Influência do El Niño e La Niña no número de dias de precipitação pluviométrica no estado de Goiás. *Revista ACTA Geográfica*, 7(14),93-106.

Sandoval, M. C. (2015) *Métodos Não Paramétricos (IME)*. Retrieved from <<https://www.ime.usp.br/~sandoval/mae5755/naoparametrica>>.

Santos, O. C. O. (2012). As chuvas, alagamentos e enchentes no período chuvoso em Belém, Estado do Pará. *Revista Geonorte*, edição Especial, 2(5), 173-183.

Silva Júnior, J. A. (2012). *Avaliação de parâmetros micrometeorológicos do conforto e da percepção térmica na área urbana da cidade de Belém-PA*. Belém: Tese de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará.

Silva Júnior, J. A., Costa, A. C. L., Pezzuti, J. C. B., Costa, R. F., & Galbraith, D. (2012). Análise da distribuição espacial do conforto térmico na cidade de Belém, PA no período menos chuvoso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 1(2), 218-232.

Souza, D. O. (2012). *Influência da Ilha de Calor Urbana nas cidades de Manaus e Belém sobre o microclima local*. São José dos Campos: Tese de Doutorado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Tucci, C. E. M. (2013). *Hidrologia: Ciência e aplicação*. (4a Ed.). 5ª reimp. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.

USGS. (1966). *Double- Mass Curves. Manual of Hydrology: Part I. General Surface- Water Techniques*, by James K. Searcy and Clayton H. Hardison, United States: Department of the Interior.

WMO WMO. (1994). *Guide to Hydrological Practices, Data Acquisition and Processing, Analysis, forecasting and other Applications*. Suíça: (5th ed.), 168, WMO.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Luanna Costa Dias – 50%

Alexandre Miguel da Cruz Valente – 25%

Lindemberg Lima Fernandes – 25%