CARACTERIZAÇÃO E VARIABILIDADE CLIMÁTICA BASEADA EM SÉRIES DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE MANAUS (AM) E BELÉM (PA)

CHARACTERIZATION AND CLIMATE VARIABILITY BASED ON TEMPERATURE AND PRECIPITATION SERIES IN THE MUNICIPALITIES OF MANAUS (AM) AND BELÉM (PA)

CARACTERIZACIÓN Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA POR SERIES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN LOS MUNICIPIOS DE MANAUS (AM) Y BELÉM (PA)

Thiago Oliveira dos Santos
Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, UEA
t.santos.720@gmail.com

Valdir Soares de Andrade Filho
Professor da Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
valdirsoares.vs@gmail.com

Rebeca dos Santos França
Graduanda em Química na Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
beckcurls30@gmail.com

Weslley de Brito Gomes
Doutorando em Clima e Ambiente, INPA
weslley.brito.gomes@gmail.com

Vinícius Machado Rocha
Professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)
vinimrocha@ufrb.edu.br

RESUMO

Neste estudo avaliou-se a variabilidade climática nos municípios de Manaus (AM) e Belém (PA), utilizando dados de temperatura média compensada e precipitação total disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. O recorte temporal analisado no estudo foi de 1961 a 2020. Utilizando técnicas de estatística básica foi produzida uma análise da temperatura e precipitação média decenal, incluindo a comparação entre os municípios com relação às variáveis meteorológicas. Na cidade de Manaus observou-se um aumento na temperatura média decenal mais pronunciado em relação a Belém, com valores entre 3,1% a 4,3% para as décadas analisadas. Por outro lado, verificou-se um aumento na precipitação média decenal mais acentuado em Belém

quando comparada a Manaus. Na análise individual Manaus apresentou um aumento na temperatura média decenal e certa variação em relação ao comportamento da precipitação. Em Belém observou-se um aumento na temperatura média decenal e aumento na precipitação. As duas variáveis analisadas apresentaram comportamento oscilatório em relação a seus valores entre as décadas nas duas cidades analisadas. Tais resultados indicam uma alteração no microclima local de Manaus e Belém possivelmente causadas pela expansão urbana, aumento populacional e mudança no uso do solo.

Palavras-chave: Temperatura; Precipitação; Mudança no uso do solo; Variabilidade climática; Análise decenal

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the climate variability inthe Manaus (AM) and Belém (PA), using average compensated temperature data and total precipitation from National Institute of Meteorology (INMET) for period 1961-2005. Using basic statistics techniques, an analysis of average decadal temperature and precipitation was produced, including the comparison between Manaus and Belém with respect to meteorological variables. In the city of Manaus there was an increase in the decennial average temperature more pronounced compared to Belém, with values between 3,1% and 4,3% for the decades analyzed. On the other hand, there was an increase in the decennial average precipitation more intense in Belém compared to Manaus. In the individual analysis, Manaus showed an increase in the decennial average temperature and some variation in relation to the precipitation pattern. In Belém, there was an increase in the decennial average temperature and increase in precipitation. Both variables analyzed showed oscillatory behavior in relation to their values between the decades in the two cities. The results indicate a change in the local mocroclimate of Manaus and Belém, possibly caused by urban sprawl, population increase and land-use change.

Keywords: Temperature; Precipitation; Land-use change; Climate variability; Decennial analysis

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la variabilidad climática en Manaus (AM) y Belém (PA), utilizando datos de temperatura media compensada y precipitación total del Instituto Nacional de Meteorología (INMET) para el período 1961-2005. Utilizando técnicas estadísticas básicas, se realizó un análisis de la temperatura y la precipitación decenal media, incluyendo la comparación entre Manaus y Belém con respecto a las variables meteorológicas. En la ciudad de Manaus, se observó un aumento de la temperatura media decenal más pronunciado en comparación con Belém, con valores entre 3,1% y 4,3% para las décadas analizadas. Por otro lado, fue encontrado un aumento en la precipitación media decenal más intensa en Belém en comparación con Manaus. En

el análisis individual, Manaus mostró un aumento en la temperatura media decenal y alguna variación en relación con el comportamiento de la precipitación. En Belém, se observó un aumento en la temperatura media decenal y aumento en la precipitación. Ambas variables analizadas mostraron un comportamiento oscilatorio en relación a sus valores entre las décadas en las dos ciudades. Los resultados indican un cambio en el microclima local de Manaus y Belém, posiblemente causado por la expansión urbana, el aumento de la población y el cambio de uso de la tierra.

Palabras clave: Temperatura; Precipitación; Cambio de uso de la tierra; Variabilidad climática; Análisis decenal

INTRODUÇÃO

O estudo da variabilidade climática é parte importante das ciências atmosféricas e oceânicas. Parte dessa importância se deve ao fato de que a variabilidade climática causa sérios transtornos à economia e frequentemente provoca diversas formas de impacto na sociedade, além de atingir os ecossistemas naturais de maneira significativa.

Importante parcela da comunidade científica tem se dedicado aos estudos e análises dentro desse tema, investigando a variabilidade do clima em relação a escala interanual, associada ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) no oceano Pacífico Tropical, além da diferença térmica existente entre as seções ao norte e ao sul do Equador no Atlântico Tropical, assim como também a escala interdecenal (ciclos de 20-30 anos) e a escala de longo prazo (MARENGO e NOBRE, 2009).

A região Norte do Brasil está localizada na faixa equatorial e caracteriza-se pelas altas temperaturas e seus elevados volumes pluviométricos. De acordo com Fisch et al. (1998), os principais sistemas atmosféricos que atuam no tempo e no clima da região Amazônica são: a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS, Linhas de Instabilidades – LI, Complexos Convectivos de Mesoescala – CCM, Ondas de Leste e as Brisas Terrestres e Marítima. Parte importante destes sistemas estão conectados a formação de chuva na região, exercendo influência direta na estação chuvosa.

A floresta amazônica também contribui para a precipitação local, fornecendo vapor d'água para a atmosfera por meio de sua intensa reciclagem de precipitação (ROCHA et al., 2015; 2017; 2018). As precipitações são em grande maioria convectivas. As altas temperaturas registradas na região Norte estão associadas ao intenso fornecimento de radiação solar incidente (VIANELLO e ALVES, 2006). A variação térmica sazonal se encontra na faixa de 1-2 ºC, sendo que os valores médios se situam na faixa de 24 e 26 ºC.

Estudos observacionais e de modelagem numérica (NOBRE et al. 1991; BETTS et al. 1997; 2000; CHASE et al. 2000; ZHAO et al. 2001, ROCHA, 2016; ROCHA et al., 2019; GOMES et al., 2020a; 2020b) indicam que a mudança na cobertura vegetal pode ter um impacto considerável no clima regional e global. O debate científico tem sido intenso e as atividades humanas têm ganhado cada vez mais destaque com relação a sua participação nessas alterações. O desenvolvimento de pesquisas dentro desta temática é benéfico para gestão de recursos hídricos, setor agrícola e saúde pública, uma vez que, o clima tem uma influência direta na maneira como a sociedade humana se organiza.

Estudos envolvendo modelagem computacional aplicada as pesquisas climáticas desenvolvidas por Nobre et al. (2014) e Marengo et al. (2009) abordaram as principais questões relacionadas às mudanças climáticas e o papel da Amazônia frente a essas mudanças. As pesquisas abordaram três principais aspectos, que são: as variações climáticas globais envolvendo causas naturais, as decorrentes de alterações no uso do solo e mudanças climáticas globais provocadas por ações antrópicas. Estes estudos fazem um alerta sobre as mudanças no uso da terra e como isso pode afetar o ciclo hidrológico e consequentemente o clima tanto em escala local quanto, regional e global.

Com base na publicação do Grupo de Trabalho I do Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (IPCC, 2021), os resultados sugerem que as variações climáticas na região amazônica podem estar associadas às mudanças climáticas globais. As alterações decorrentes do desmatamento de sistemas florestais para a transformação em ambiente de pastagem podem implicar na transferência do carbono armazenado nas árvores para atmosfera, ou

seja, da biosfera para atmosfera, intensificando assim o aquecimento global. Tal cenário é extremamente nocivo para a região amazônica, o que torna a mudança de padrão de uso do solo um importante componente de análise em se tratando de variações climáticas oriundas de ações antrópicas.

Nos dias atuais cerca de 50% da população mundial vive em cidades e existe indicadores que esse percentual chegue a 81% no ano de 2030 (UNFPA, 2007). O processo de urbanização global tem sido acelerado em intensidade e área física ocupada, o que acaba gerando um interesse crescente nos possíveis impactos na saúde humana, funcionamento dos ecossistemas, no tempo e até mesmo no clima em escala regional e global (IMHOFF et al. 2010).

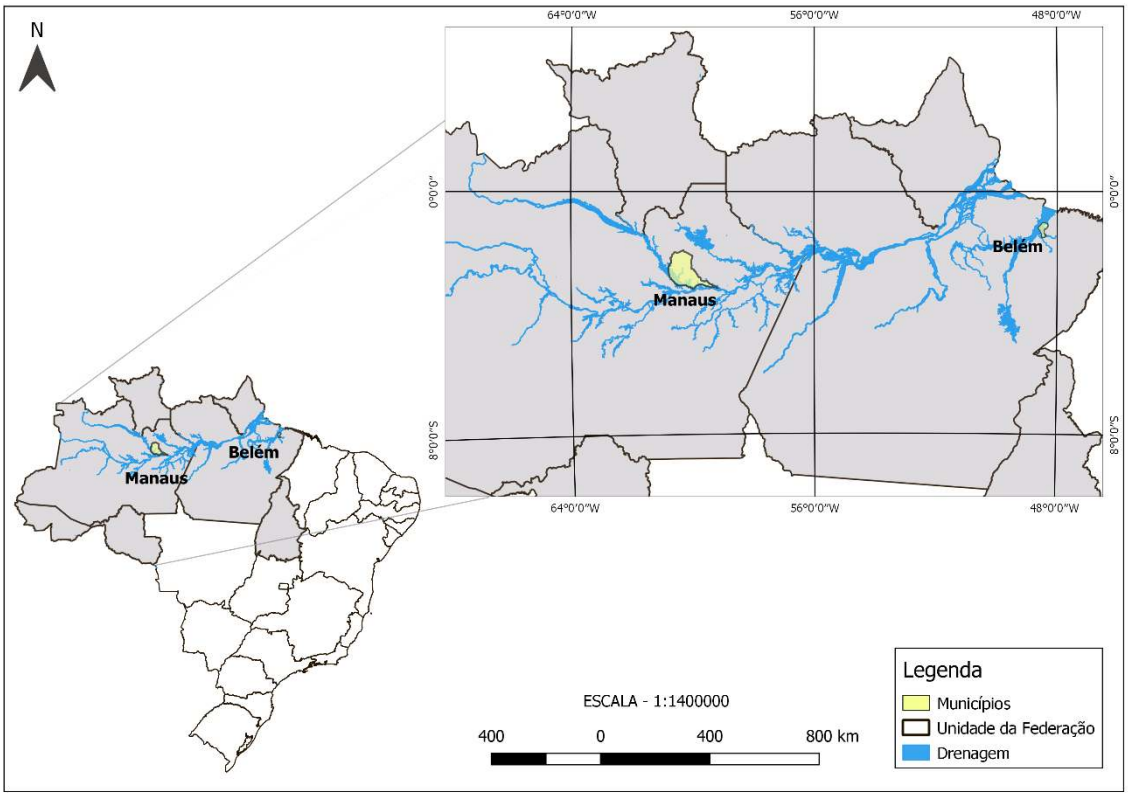
Com base neste cenário, o presente estudo tem como objetivo, analisar a variabilidade climática nos municípios de Manaus (AM) e Belém (PA), considerando a temperatura do ar e a precipitação durante o período de 1961 a 2020.

METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Manaus (AM) está localizado nas coordenadas 3°S e 60°W, na margem esquerda dos rios Negro e Amazonas. O município de Belém é a capital do estado do Pará, aproximadamente 160 Km da linha do equador sob as coordenadas geográficas 01° 27’S e 48° 28’W (IBGE, 2010). A figura 1 representa a área de estudo que inclui os municípios de Manaus (AM) e Belém (PA).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo nos municípios de Manaus (AM) e Belém (PA)



Fonte: IBGE, 2021.

Dados de temperatura e precipitação

Para que possamos compreender da maneira mais ampla possível a variabilidade climática existente nos municípios de Manaus e Belém é necessário produzir uma análise das variáveis climáticas como temperatura e precipitação. Com base neste panorama optou-se por analisar os dados de precipitação total e temperatura compensada média mensal.

O recorte temporal aplicado a este estudo foi de 1961 a 2020. As estações meteorológicas utilizadas no estudo contam com as seguintes especificações: Manaus – estação: 82331, latitude e longitude de -3.10388888 e 60.01555555 com altitude de 48.68 metros. Belém – estação: 82191, latitude e longitude de 1.435.83333 e -48.43722221 com altitude de 7.13 metros.

O conjunto de dados utilizados no estudo (temperatura e precipitação) foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, por intermédio de

seu site, https://bdmep.inmet.gov.br/. Com a utilização do software *Excel* foi realizada a tabulação, tratamento dos dados, elaboração dos gráficos e análise estatística básica. Por se tratar de uma série temporal extensa, os dados de precipitação e temperatura foram divididos em décadas, com o objetivo de facilitar a sua leitura e interpretação. É importante ressaltar que a respeito da aplicação de gráficos em estudos que visam a análise climática, é possível afirmar que o clima de uma região pode ser descrito com o auxílio de gráficos das variações sazonais nos valores dos elementos climáticos como temperatura e precipitação. O presente estudo utilizou análise de tendência linear e polinomial como ferramenta de análise estatística para precipitação e temperatura, onde ambas as análises têm aplicações distintas conforme o perfil do conjunto de dados. A análise de tendência linear é utilizada para representar o aumento e a diminuição a uma taxa constante. Já a tendência polinomial é determinada pelo número de flutuações com base no perfil do conjunto de dados (AYOADE, 2010; FONSECA e MARTINS, 2011). Foi utilizada análise de tendência linear para os dados de temperatura e tendência polinomial para precipitação, uma vez que essa última variável apresentou comportamento oscilante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de tendência da precipitação e temperatura de 1961-2020 em Manaus e Belém

O quadro 1, a seguir, representa os valores relativos à taxa de aumento e diminuição da precipitação média decenal no município de Manaus. Durante a passagem da década de 1961-1970 para 1971-1980 observou-se uma diminuição nos valores de precipitação em -2%. A década seguinte 1981-1990 apresentou um aumento de 4% voltando a diminuir durante década de 1991-2000 com 0,6%. A partir da década de 2001-2010 e 2011-2020 os valores de precipitação voltam a apresentar uma significativa oscilação com respectivamente -5% e 12%. Este cenário aponta para um comportamento oscilante com relação a taxa de aumento e diminuição da precipitação, onde a partir das duas últimas décadas o nível de variação é ainda maior.

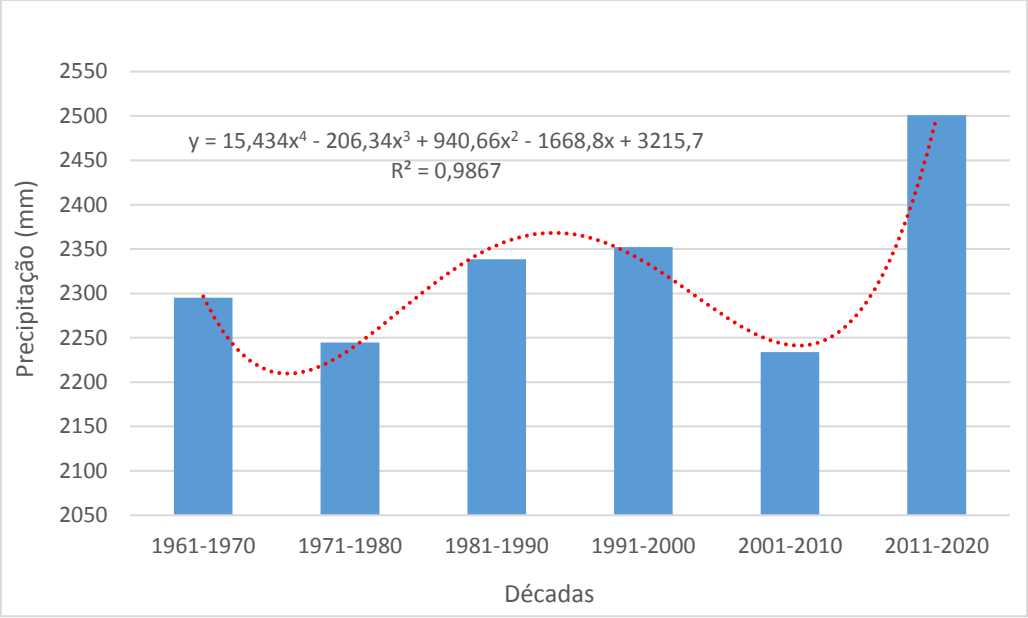
Quadro 1 - Taxa de aumento e diminuição da precipitação média decenal no município de Manaus (AM)

Décadas	**1961-1970**	**1971-1980**	**1981-1990**	**1991-2000**	**2001-2010**	**2011-2020**
Total (mm)	2295	2245	2338	2352	2234	2501
Taxa de crescimento (%)		-2%	4%	0,6%	-5%	12%

Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

A figura 2 representa o gráfico de tendência polinomial de ordem 4 da precipitação média decenal do município de Manaus (AM). Com base na análise do gráfico da figura 2, é possível identificar o comportamento oscilante da taxa de aumento e diminuição da precipitação. Os valores de precipitação observados indicam um alto volume pluviométrico no município de Manaus, onde os valores médios observados durante as décadas são todos acima de 2.000 mm.

Figura 2 - Gráfico de precipitação média decenal com análise de tendência polinomial de ordem 4 para cidade de Manaus/AM.



Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

As condições atmosféricas desta região ajudam a explicar tal disponibilidade de chuva. A região é caracterizada por diversos fatores como por exemplo, altos índices de umidade devido à extensa e densa vegetação, altos índices pluviométricos durante o

ano, e um alto saldo de energia solar disponível em praticamente todos os meses do ano com pequena variação sazonal (PONTES, 2006; FISCH et al. 2007).

A influência da circulação de brisa, que se forma em decorrência da diferença de temperatura entre o rio e a floresta, acaba afetando os índices de precipitação em cidades que estão localizadas às margens dos rios, como é caso de Manaus (MOLION e DALLAROSA, 1990). A linha de tendência polinomial de ordem 4 utilizada no gráfico da figura 2 mostra um R-quadrado no valor de 0,9867 que é um bom ajuste da linha para os dados. Com base na análise dos dados de chuva foi possível identificar variações na ocorrência de precipitação nos dois municípios analisados no estudo. Esse cenário é refletido nos valores dos dados de chuva. Desta forma foi necessário aplicar a linha de tendência polinomial que é apropriada para dados que apresentam flutuações.

O quadro 2 representa os valores de temperatura média decenal na cidade de Manaus, assim como, os respectivos valores da taxa de aumento e diminuição ao longo dos anos. Analisando os dados de temperatura no município de Manaus é possível identificar um leve crescimento nos valores de temperatura com oscilação entre as décadas de 1971-1980 e 1981-1990. Essas décadas apresentaram valores de crescimento e diminuição oscilantes com respectivos 0,4% para 1971-1980 e 0,1% para 1981-1990.

A oscilação nos valores da taxa de aumento e diminuição ocorre apenas durante as primeiras décadas, onde a partir dos anos 1980 a taxa segue aumentando até 2011-2020. Este cenário aponta para um aumento na temperatura média decenal no município de Manaus. Vale ressaltar que quando comparamos a temperatura com o comportamento da precipitação, não é possível identificar um aumento no mesmo padrão nos valores de chuva nas décadas analisadas no estudo. Os valores de precipitação são muito mais oscilantes quando comparados aos valores de temperatura.

Quadro 2 - Taxa de crescimento da temperatura média decenal no município de Manaus (AM).

Décadas	**1961-1970**	**1971-1980**	**1981-1990**	**1991-2000**	**2001-2010**	**2011-2020**
Total (°C)	26,7 °C	26,6 °C	26,6 °C	26,9 °C	27,3 °C	28,1 °C
Taxa de crescimento (%)		0,4%	0,1%	0,9%	1,7%	2,7%

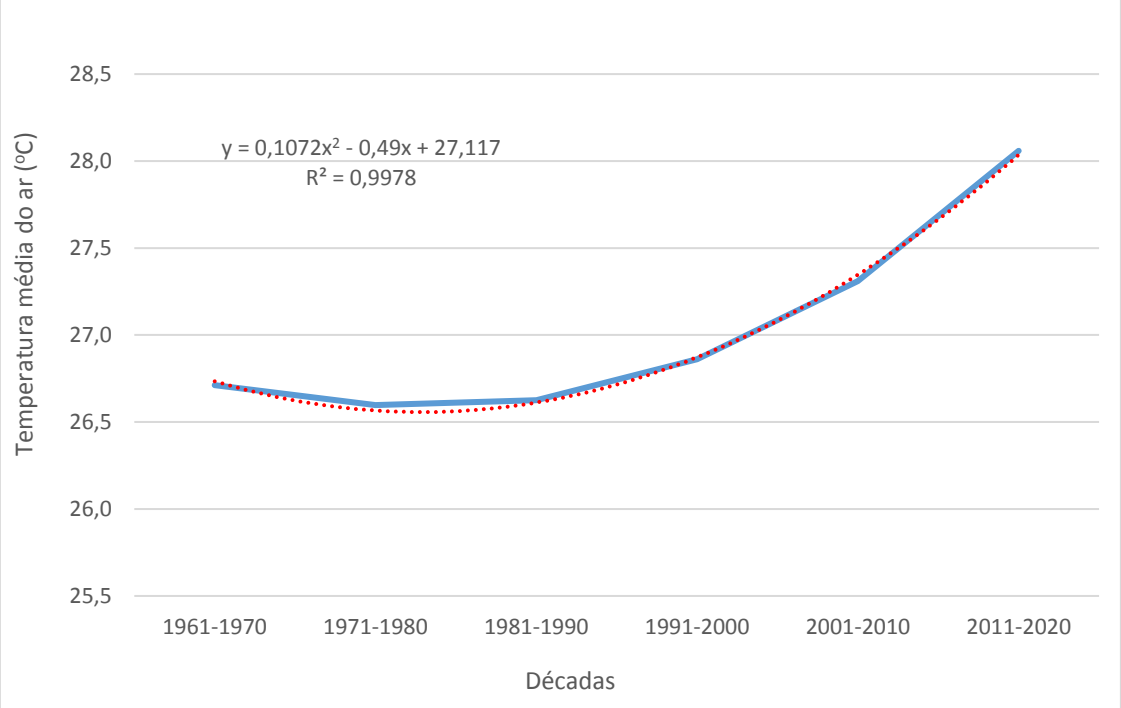
Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

A figura 3 representa o gráfico de tendência polinomial de ordem 2 da temperatura média decenal do município de Manaus-AM. Com base na análise do gráfico da figura 3 também é possível observar o padrão de crescimento com relação ao aumento da temperatura média decenal. Esse aumento na temperatura pode ser explicado em parte pelo processo de ocupação e mudança no uso do solo na cidade de Manaus. A partir do ano de 1967, a cidade passou por uma fase de intensa ocupação do solo devido a implantação da Zona Franca de Manaus – ZFM (COSTA e SCHMITT, 2010).

A perda de áreas com cobertura vegetal pode gerar um cenário em que a temperatura apresente crescimento. A vegetação tem como características intrínsecas baixa capacidade calorífica, baixa condutibilidade térmica, albedo baixo, grande absorção de radiação solar e altas taxas de evaporação. Essas características criam um mecanismo de regulagem térmica devido à radiação solar ser pouco refletida para o ambiente, contudo ela é mais consumida pela vegetação (FIALHO e IMBROISI, 2005).

Desta forma é possível associar o processo de expansão urbana e sua profunda modificação da paisagem natural ao aumento gradativo da temperatura na cidade de Manaus. Uma vez que, a expansão de áreas construídas, parques industriais, adensamento populacional, pavimentação asfáltica associadas à concentração de poluentes, produziu um cenário em que a dinâmica da baixa troposfera/camada limite atmosférica foi modificada em ambientes urbanos (LOMBARDO, 1985). A linha de tendência polinomial de ordem 2 utilizada no gráfico da figura 3 mostra um R-quadrado no valor de 0,9978 que é um bom ajuste da linha para o conjunto de dados.

Figura 3 - Gráfico de temperatura média decenal com análise de tendência polinomial de ordem 2 para cidade de Manaus/AM.

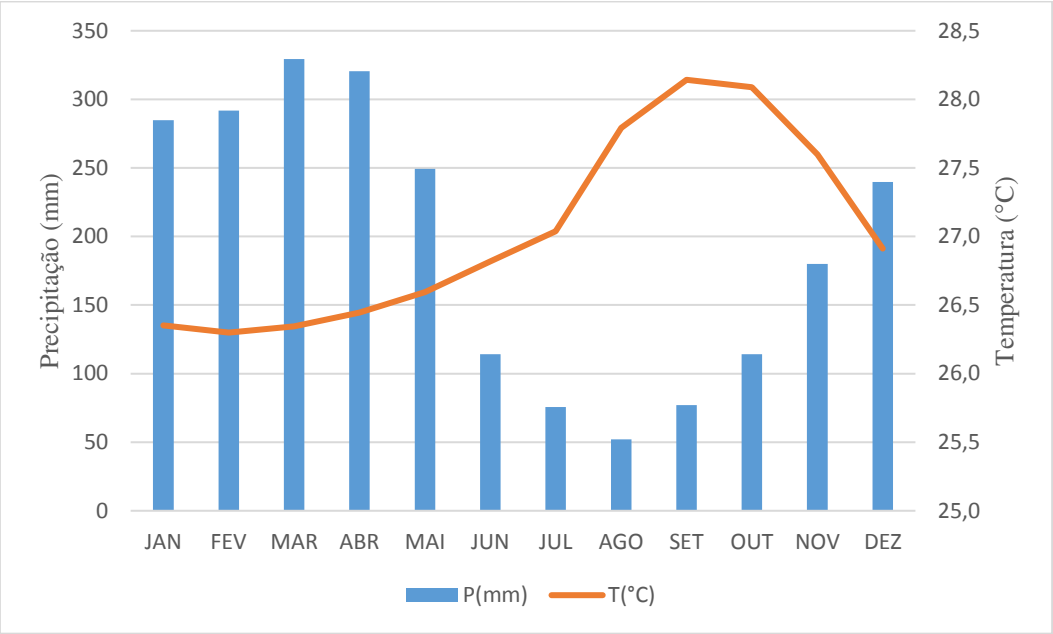


Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

O climograma do município de Manaus apresenta um comportamento climático com elevado volume de precipitação o que caracteriza uma longa estação chuvosa. Com base na análise da figura 4, é possível identificar os meses de dezembro a março, podendo se estender até o mês de abril, como o período da estação chuvosa em Manaus. Já a estação seca compreende os meses de julho a setembro.

Com base na análise dos dados de temperatura do climograma é possível identificar uma baixa amplitude térmica anual, característica particular de clima equatorial. Os meses que compreendem julho a outubro apresentam os maiores valores de temperatura que ficam na faixa de 27 °C a 28,1 °C. Já os meses de dezembro a março apresentam os menores valores de temperatura que ficam na faixa de 26,3 °C a 26,9 °C. Os valores de temperatura média estão associados a ocorrência de chuva na cidade, sendo que os meses mais quentes são os que apresentam os menores valores de precipitação média conforme o climograma representado pela figura 4.

Figura 4 - Climograma do município de Manaus/AM – 1961-2020.



Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

O quadro 3, a seguir, representa os valores relativos à taxa de aumento e diminuição da precipitação média decenal no município de Belém-PA. É possível observar uma variação com relação aos valores de precipitação no município de Belém. A análise dos dados indica um aumento de 10% entre as décadas de 1961-1970 e 1971-1980. A taxa volta a cair na década de 1981-1990 apresentando 2%, a diminuição continua em 1991-2000 com -1%. O aumento significativo ocorre entre 2001-2010 e 2011-2020 com respectivos 7% e 15%. Este cenário aponta para um comportamento oscilante com relação a taxa de aumento e diminuição da precipitação média decenal, onde a partir das duas últimas décadas a oscilação é substituída por um padrão de aumento.

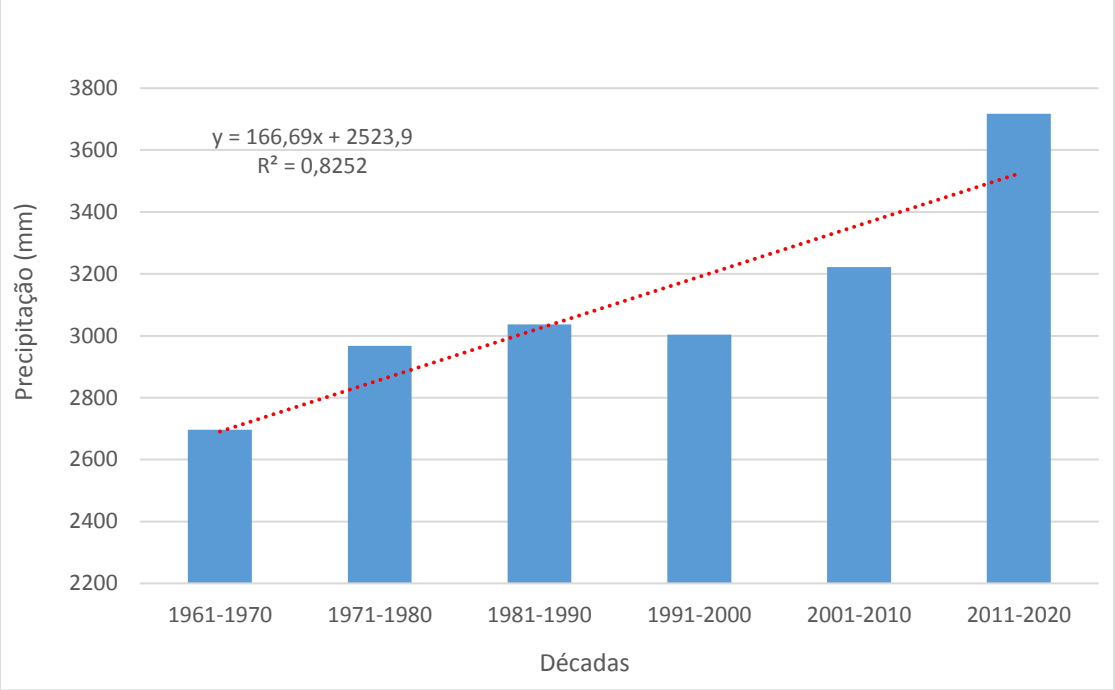
Quadro 3 - Taxa de aumento e diminuição da precipitação média decenal no município de Belém (PA).

Décadas	**1961-1970**	**1971-1980**	**1981-1990**	**1991-2000**	**2001-2010**	**2011-2020**
Total (mm)	2697	2968	3036	3004	3222	3717
Taxa de crescimento (%)		10%	2%	-1%	7%	15%

Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

A figura 5 representa o gráfico de tendência linear da precipitação média decenal do município de Belém. Os valores de precipitação observados, assim como em Manaus, indicam um alto volume pluviométrico, onde mesmo com variação, os valores de precipitação observados entre as décadas são todos acima de 2.000 mm. A linha de tendência linear utilizada no gráfico da figura 5 mostra um R-quadrado no valor de 0,8252 que é um bom ajuste da linha para os dados.

Figura 5 - Gráfico de precipitação média decenal do município de Belém com análise de tendência linear



Fonte: INMET, 2021
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

Nesta região a precipitação é formada por intermédio de sistemas convectivos forçados localmente pelas linhas de instabilidade que são formadas ao longo da costa atlântica. Os sistemas atmosféricos de grande escala como a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT exercem influência na região, auxiliando na definição da estação chuvosa e seca (MOLION, 1987; GARSTANG et al. 1994; COHEN et al. 1995; ALCÂNTARA et al. 2011). A região também recebe influência da ocorrência de sistemas atmosféricos de mesoescala, como os Sistemas Convectivos de Mesoescala Circulares –

SCMC. As Linhas de Instabilidades – LI que são formadas ao longo da costa norte da América do Sul, tem sua origem ligada à circulação de brisa marítima que se move para o interior da Amazônia, produzindo fortes chuvas entre os meses de abril e agosto.

A circulação de brisa fluvial que é uma característica observada nos grandes rios da Amazônia, que tem sua ocorrência devido a diferente característica térmica entre a superfície do rio e a superfície do solo que é mais quente durante o dia quando comparada a do rio. Esse cenário cria uma dinâmica de movimento do ar ascendente sobre o solo por conta da baixa pressão atmosférica e o fluxo contínuo do rio em direção à porção de terra em baixo nível. Essa dinâmica influencia a formação de nuvens em determinadas áreas, criando faixas de precipitação. O que em parte pode auxiliar na explicação do aumento do volume de chuvas em cidades com essas características de localização geográfica. (SILVA DIAS et al. 2004; LU et al. 2005; FITZJARRALD et al. 2008; MESQUITA e RAMOS DA SILVA, 2012; COHEN et al. 2014).

O quadro 4 representa os valores de temperatura entre as décadas na cidade de Belém, assim como, os respectivos valores da taxa de aumento e diminuição ao longo das décadas. É possível identificar um aumento nos valores de temperatura com variação entre as décadas de 2001-2010 e 2011-2020. As décadas anteriores apresentam aumento com respectivos 0,3% em 1971-1980, 1% em 1981-1990 e 2% em 1991-2000. Este cenário aponta para um aumento da temperatura no município de Belém. Vale ressaltar que quando comparamos com o comportamento da precipitação não é possível identificar um aumento constante nos valores de volume de chuva, sendo possível observar uma flutuação nos valores entre as décadas.

Quadro 4 - Taxa de aumento e diminuição da temperatura média decenal no município de Belém (PA)

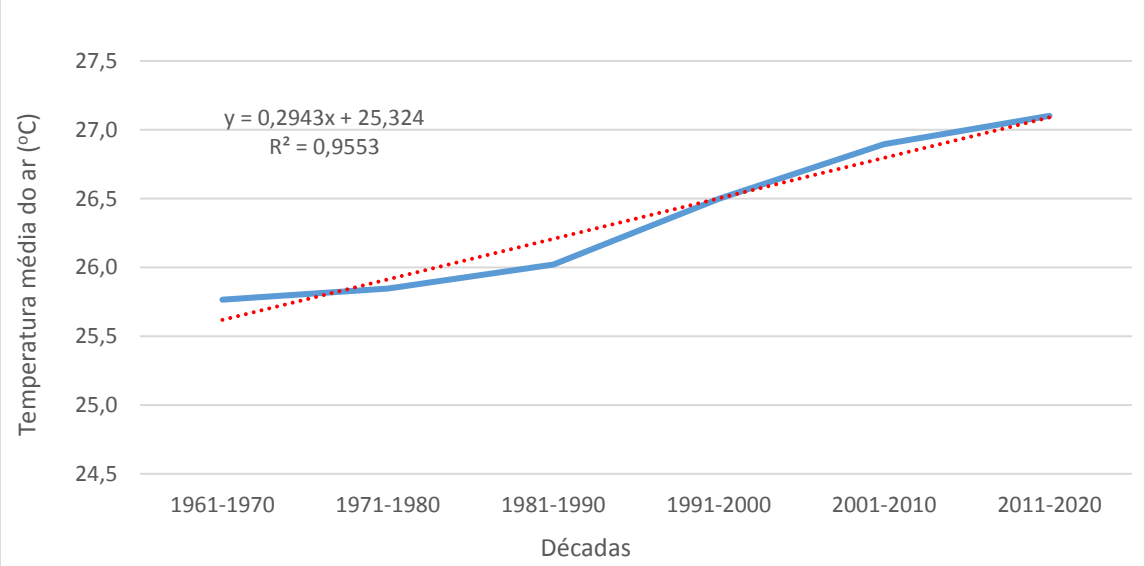
Décadas	**1961-1970**	**1971-1980**	**1981-1990**	**1991-2000**	**2001-2010**	**2011-2020**
Total (°C)	25,8	25,8	26,0	26,5	26,9	27,1
Taxa de crescimento (%)		0,3%	1%	2%	2%	1%

Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

A figura 6 representa o gráfico de tendência linear da temperatura média decenal do município de Belém (PA). Com base na análise do gráfico da figura 6 também

é possível observar um de aumento da temperatura. Assim como em Manaus, Belém também passa por constantes mudanças no uso do solo como a retirada da vegetação, aumento da poluição do ar, aumento da quantidade de construções e cobertura asfáltica. Esse cenário contribui para gerar importantes alterações no micro e macro clima de Belém (COSTA, 2001). As características das construções no ambiente urbano, assim como, a baixa arborização e a concentração de várias fontes de calor nas cidades, influenciam no comportamento térmico-higrométrico local (LEAL, 2012).

Figura 6 - Gráfico de temperatura média decenal com análise de tendência linear no município de Belém.

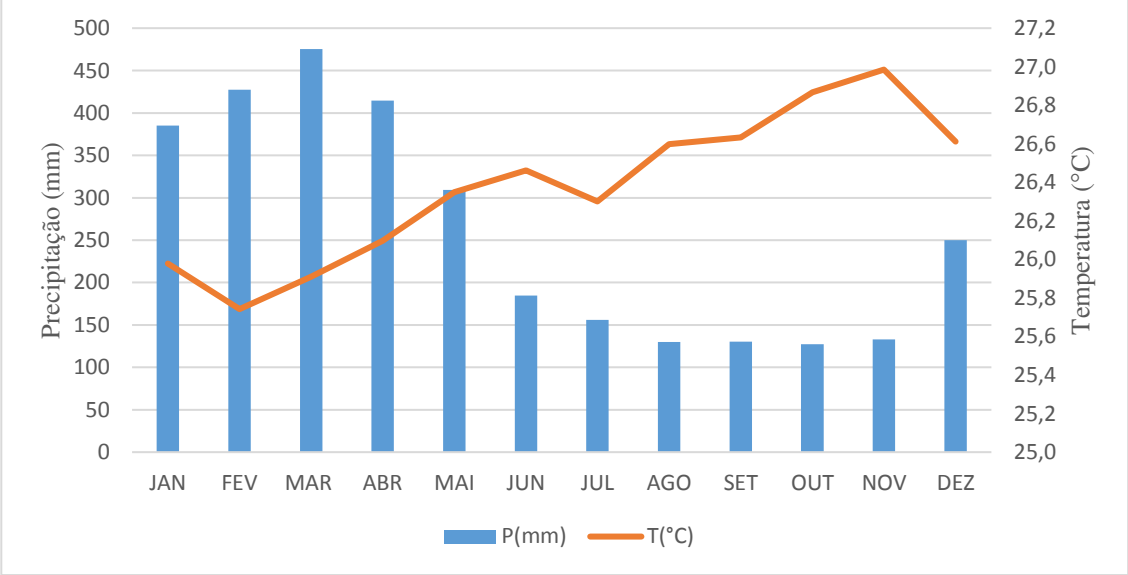


Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

Segundo Pontes et al. (2017) em um estudo realizado com dados observacionais de superfície, imagens de satélite (*Landsat* 5 e 8) entre os anos de 2003-2016, identificaram os anos de 2003 e 2006 como os mais quentes em relação a temperatura média. A explicação baseia-se na elevada taxa de crescimento populacional de 10% na cidade de Belém durante esse período (IBGE, 2010). Esse cenário gerou um aumento na expansão urbana da cidade e consequentemente a uma maior utilização de materiais típicos do ambiente urbano como asfalto, concreto e outros com características de retenção de calor.

O climograma do município de Belém (figura 7) apresenta um comportamento climático com elevado volume de precipitação e baixa amplitude térmica anual. É possível identificar os meses de janeiro a abril como a estação chuvosa em Belém, onde o pico ocorre no mês de março apresentando diminuição no mês de abril. A estação seca ocorre durante os meses de agosto a outubro podendo se estender até novembro e voltando a apresentar crescimento na ocorrência de chuvas no mês de dezembro. O valor da temperatura do ar apresenta diminuição durante o mês de novembro, com média de 27,0 °C, e seu menor registro ocorre no mês de fevereiro com 25,7 °C em média. Esse comportamento térmico ocorre ainda durante a estação chuvosa, o que mostra um contraste em relação a Manaus. Parte disso se deve aos diferentes sistemas atmosféricos atuantes na região.

Figura 7 - Climograma do município de Belém (PA).



Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

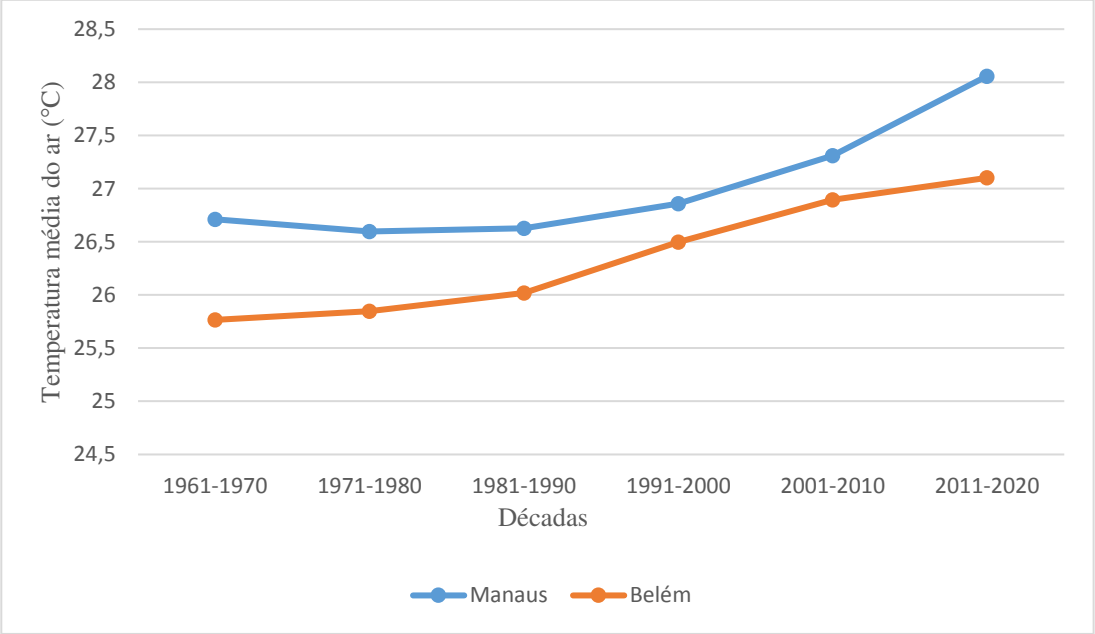
Análise da temperatura e precipitação média decenal para Manaus e Belém

A figura 8 representa a temperatura média decenal nos municípios de Manaus e Belém durante os anos de 1961 a 2020. De maneira geral, verifica-se que a temperatura

na cidade de Manaus é superior à observada em Belém durante as décadas analisadas. Existe uma pequena diferença entre os valores de temperatura observados entre as cidades que pode estar associado à taxa de urbanização em cada localidade. O processo de expansão urbana tem sido parte importante dentro da análise do aumento da temperatura em cidades como Manaus e Belém.

A temperatura média decenal apresentou um aumento na cidade de Manaus quando comparada a Belém. Os aumentos médios observados entre as décadas foram de 3,2% em 1971-1980, 3% em 1981-1990, 3,2% em 1991-2000, 3,1% em 2001-2010 e 4,3% em 2011-2020. É necessário ressaltar que ambas as cidades ficam situadas em regiões que sofrem com atuações de sistemas atmosféricos diferentes, o que pode auxiliar na explicação da diferença de temperatura.

Figura 8 - Gráfico de temperatura média decenal nos municípios de Manaus e Belém



Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

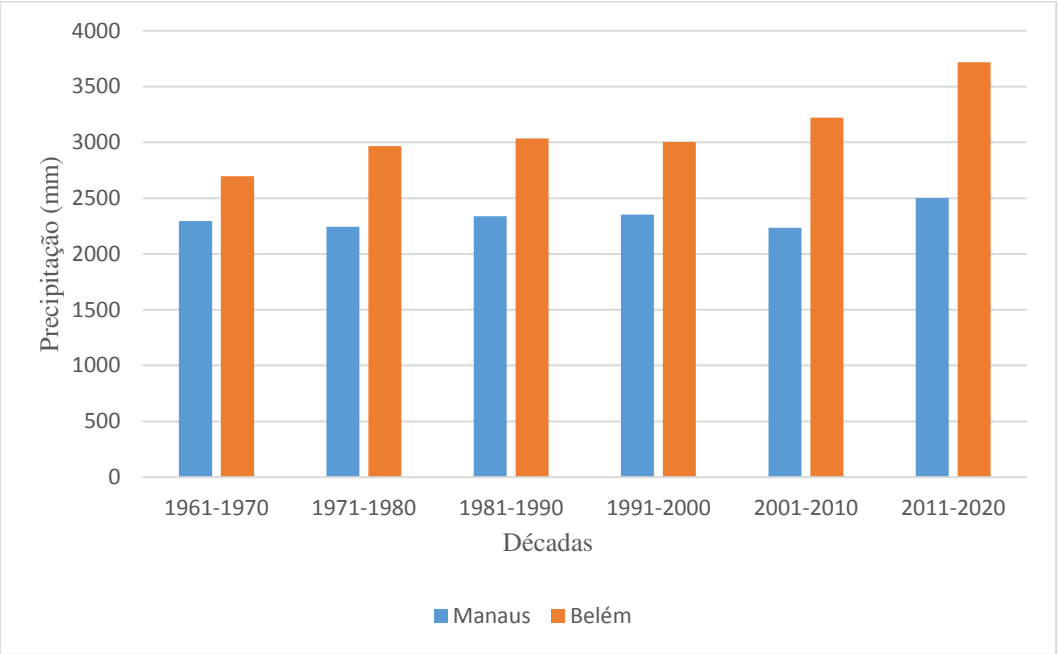
O estudo desenvolvido por Sousa Junior et al. (2018) comparou mapas de imagens de satélites com áreas de vegetação e área desmatada durante os anos de 2013-2017 na cidade de Manaus. Foi observada uma relação entre os valores mais altos de temperatura em áreas sem cobertura vegetal. Os valores de temperatura máxima encontrados no estudo ficaram na faixa de 33°C a 38°C, no qual os maiores valores foram

observados nas áreas de maior densidade populacional, maior quantidade de imóveis e reduzida área verde.

A relação entre a redução da vegetação e aumento da temperatura média é fortemente interligada, como também demonstra Bezerra et al. (2018), que verificaram que o aumento da temperatura média na cidade de Belém se deve a supressão da vegetação na região. Observou-se na região central da cidade, temperaturas na faixa de 23°C a 30°C com uma pequena variação observada. O crescimento da área urbana é visto como principal fator na diminuição das áreas verdes e consequente aumento da temperatura. Entre os anos de 2006 e 2016, os solos considerados expostos (área desmatada) apresentaram um aumento de 21,1 Km^2 em Belém.

Quanto a variável precipitação, a figura 9 mostra a precipitação média decenal nas cidades de Manaus e Belém. É possível identificar um comportamento inverso ao da temperatura, sendo o aumento das chuvas maior em Belém. Os aumentos médios entre as décadas foram de 29,3% em 1971-1980, 35,3% em 1981-1990, 28,5% em 1991-2000, 37% em 2001-2010 e 66,4% em 2011-2020 em relação a Manaus. De forma geral, verifica-se que os níveis de precipitação média decenal na cidade de Belém se mostram superiores aos observados em Manaus, com baixa variação. O estudo desenvolvido por Souza (2012) indicou uma tendência de redução nos acumulados em Manaus e aumento nos valores de precipitação em Belém.

Figura 9- Gráfico de precipitação média decenal nos municípios de Manaus e Belém



Fonte: INMET, 2021.
Elaboração: Thiago Oliveira dos Santos, 2021.

Desta forma é possível concluir que existe uma sinergia entre crescimento da área urbana, aumento da população e os fluxos de calor de origem antrópica e sua interação com as alterações no microclima local das cidades de Manaus e Belém.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo foram utilizados dados de precipitação total anual e temperatura compensada média do ar no período de 1961 a 2020 para auxiliar na análise da caracterização e variabilidade climática nos municípios de Manaus-AM e Belém-PA.

A precipitação média decenal na cidade de Manaus apresentou variação em seu comportamento com valores entre 2.234 e 2.501 mm entre as décadas analisadas, não apresentando uma tendência linear, mas sim polinomial de ordem 4 com R-quadrado de 0,9867 que pode ser considerado como um bom ajuste da linha para o conjunto de dados. As taxas de crescimento da precipitação entre as décadas da cidade de Manaus foram de

-2% em 1971-1980, 4% em 1981-1990, 0,6% em 1991-2000, -5% em 2001-2010 e 12% em 2011-2020. A cidade de Manaus também apresentou total pluviométrico inferior quando comparada a Belém.

A temperatura média decenal na cidade de Manaus apresentou um acréscimo entre as décadas analisadas, com valores entre 26,6°C (1971-1980) e 28,1°C (2011-2020). Com um comportamento de tendência polinomial de ordem 2 e R-quadrado de 0,9978. O comportamento oscilatório observado nos valores dos dados de temperatura fez necessário a utilização da análise de tendência polinomial. A taxa de aumento e diminuição da temperatura entre as décadas na cidade de Manaus foram de 0,4% em 1971-1980, 0,1% em 1981-1990, 0,9% em 1991-2000, 1,7% em 2001-2010 e 2,7% em 2011-2020. Foi possível observar nas décadas analisadas valores médios de temperatura de 27°C em Manaus e 26,4°C em Belém. Desta forma é possível concluir que Manaus registrou aumento superior ao município de Belém.

A precipitação média decenal em Belém apresentou uma tendência linear com R-quadrado de 0,8252. A taxa de aumento e diminuição da precipitação entre as décadas na cidade de Belém foram de 10% em 1971-1980, 2% em 1981-1990, -1% em 1991-2000, 7% em 2001-2010 e 15% em 2011-2020. A temperatura média decenal apresentou tendência linear com R-quadrado de 0,9553. As taxas de aumento e diminuição da temperatura entre as décadas foram de 0,3% em 1971-1980, 1% em 1981-1990, 2% em 1991-2000, 2% em 2001-2010 e 1% em 2011-2020. A temperatura média decenal se mostrou inferior a observada em Manaus.

Quando comparadas, as cidades de Manaus e Belém apresentam diferentes cenários em relação a temperatura e precipitação média decenal. Em Manaus observou-se um aumento na temperatura superior a Belém. A extensão territorial e o grau de urbanização deve ser levado em consideração quando analisamos esse aumento de temperatura. Onde os aumentos médios foram de 3,2% em 1971-1980, 3% em 1981-1990, 3,2% em 1991-2000, 3,1% em 2001-2010 e 4,3% em 2011-2020 em relação à Belém. Com relação à precipitação média decenal observada em Belém, os aumentos médios foram de 29,3% em 1971-1980, 35,3% em 1981-1990, 28,5% em 1991-2000, 37% em 2001-2010 e 66,4% em 2011-2020 em relação à Manaus.

A expansão urbana juntamente com a diminuição da área verde em ambas as cidades é um fator que tem associação direta com a variabilidade apresentada por variáveis como a temperatura do ar e a precipitação em cidades com forte característica urbana. Desta forma é possível concluir que a expansão urbana, aumento populacional e a mudança no uso do solo são capazes de produzir alterações no microclima local das cidades de Manaus e Belém.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, C.R.; SILVA DIAS, M.A.F.; SOUZA, E.P.; COHEN, J.C.P. Verification of the role of low level jets in Amazon squall lines. **Atmospheric Research.** v.100, p.36-44, 2011.

AYOADE, J. O**. Introdução à climatologia para os trópicos**. 13ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BETTS, R.A.; COX, P.M.; LEE, S.E.; WOODWARD, F.I. Contrasting physiological and structural vegetation feedbacks in climate change simulations. **Nature***,* v.387, p.796-799, 1997.

BETTS, R.A.; COX, P.M.; LEE, S.E.; WOODWARD, F.I. Simulated responses of potential vegetation to doubled-CO2 climate change and feedbacks on near-surface temperature. **Global Ecology and Biogeography**, p.171-180, 2000.

BEZERRA, P.E.S.; MORAES, E.T.I.; SOARES, I.R.C. Análise da temperatura da Superfície e do índice de vegetação no município de Belém na identificação das ilhas de calor. **Revista Brasileira de Cartografia.** v.70, N.3, p.803-818. Set, 2018.

CHASE, T.N.; PIELKE, R.A.; KITTEL, T.G.F.; NEMANI, R.R.; RUNNING, S.W. Simulated Impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter. **Clim. Dyn**. v.16, p.93-106, 2000.

COHEN, J.C.P.; FITZJARRALD, D.R.; D'OLIVEIRA, F.A.F.; SARAIVA, I.; BARBOSA, I.R.S.; GANDU, A.W. Radar-observed spatial and temporal rainfall variability near the Tapajós-Amazon confluence. **RBMET**. v. 29, N. esp. p.23-30, 2014.

COHEN, J.C.P.; SILVA DIAS, M.A.F.; NOBRE, C.A. Environmental conditions associated with amazonian squall lines: a case study. **Mon. Wea. Rev.** v.123, p.3163-3174, 1995.

COSTA, A. C. L. Variações sazonais a ilha de calor urbana na cidade de Belém-PA. In: IX Congresso Latina Americano e Ibérico de Meteorologia. **Anais do IX Congresso Latina Americano e Ibérico de Meteorologia**. 2001.

COSTA, D. P.; SCHMITT, J. A. Geografia Urbana de Manaus: Desafios para mobilidade e circulação. In: **ANAIS DO PLURIS 2010.** THE CHALLENGES OF PLANNING IN A WEB WIDW WORLD. Faro, 2010.

FIALHO, E. S.; IMBROISI, E. G. A influência dos fragmentos verdes intra-urbanos no campo térmico no alto Rio Joana – RJ. In: **ANAIS DO X ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA.** São Paulo/SP, 2005.

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

FISCH, G.; VENDRAME, I. F.; HANAOKA, P.C.M. Variabilidade espacial da chuva durante o experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia. **Acta Amazônica,** v.37 p.583-590, 2007.

FITZJARRALD, DR.; SAKAI RK, MORAES OLL.; DE OLIVEIRA RC.; ACEVEDO OC, MATTHEW. J. Spatial and temporal rainfall variability near the Amazon-Tapajós confluence. **JGR: Biogeosciences**. v.113 (G1) p.1-17, 2008.

FONSECA, J.S.; MARTINS, G.A. **Curso de estatística.** São Paulo. Editora Atlas S.A. 6° Ed, 2011.

GARSTANG, M.; MASSIE, H.L.; HALVERSON, J.; GRECO, S. Amazon coastal squall lines. Part I: Structure and Kinematics. **Mon. Wea. Rev**.v.122, p.608-622, 1994.

GOMES, W.B.; CORREIA, F.W.S.; CAPISTRANO, V.B.; VEIGA, J.A.P.; VERGASTA, L.A.; CHOU, S.C.; LYRA, A.A.; NOBRE, P.; ROCHA, V.M. Water budget changes in the Amazon basin under RCP 8.5 and deforestation scenarios. **Climate Research.** v.80, p.105-120, 2020a.

GOMES, W.B.; CORREIA, F.W.S.; CAPISTRANO, V.B.; VEIGA, J.A.P.; VERGASTA, L.A.; CHOU, S.C.; LYRA, A.A.; ROCHA, V.M. Avaliação dos impactos das mudanças na cobertura da terra e cenário de emissões (RCP 8.5) no balanço de água na bacia do rio Madeira. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.35, n.4, p.689-702, 2020b.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm>. Acesso em: 13 jul. 2021.

IMHOFF, M.L.; ZHANG, P.; WOLFE, R.; BOUNOUA, L. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.504-513, 2010.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia.** Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 20 jul. 2021.

IPCC AR6 (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S. L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J.B.R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU AND B. ZHOU (Eds). **Climate Change 2021:** The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021, 41 pp.

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

LOMBARDO, M.A. **A ilha de calor nas metrópoles - O exemplo de São Paulo**. São Paulo: Huciteck. 224 p, 1985.

LU, L.; DENNING A. S.; SILVA DIAS M. A. F.; SILVA DIAS P.; LONGO M.; FREITAS S. R.; SAATCHI, S. Mesoscale circulations and atmospheric CO2 variations in the Tapajós region, Pará, Brazil. **JGR**. V.110 (D21102). p.1-17, 2005.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Clima da região amazônica. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; JUSTI DA SILVA, M.G.A.; SILVA DIAS, M.A.F. **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2009. p.197-207.

MESQUITA, R.L.C.; RAMOS DA SILVA, R. Insights of meso and micro-scale processes for the Caxiuanã forest region from high resolution simulation. **RBMET.** 2012, v.27, n.2, p.253-261, 2012.

MOLION LCB. Climatologia dinâmica da região amazônica: Mecanismos de precipitação. **RBMET**. v.2, p.107-117, 1987.

MOLION, L. C. B.; DALLAROSA, R. L. G. Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis? **Climanálise – Boletim de Monitoramento de Análise Climática**, v.3, n.5, p.40-42, 1990.

NOBRE, C.A.; SELLERS, P.J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **J. Clim**., v.4, p.957-988, 1991.

NOBRE, P.; CHOU, S.C.; MAIA, A.; FREITAS, E.; SAMPAIO, G.; IRACEMA, F.A.C.; CEBALLOS, J.; GAN, M.A.; COSTA, M.H.; BOTTINO, M.J.; CAMARGO, R.; FIGUEROA, S.N.; SOARES, W. **Avaliação de modelos globais e regionais climáticos.** v.1, p. 280-304, 2014.

PONTES, A. D. L. **Análise dos casos de precipitações intensas na transição entre a estação seca e chuvosa de 2002 em Rondônia.** Dissertação (Mestrado em Ciências

Atmosféricas), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. 134p.

PONTES, A.K.S. SILVA, P.V.C. SANTOS, J.T.S. SOUSA, A.M.L. Temperatura em superfície urbana usando sensor TIRS-Landsat 5 e 8: estudo de caso em Belém-PA. **Revista Brasileira de Iniciação cientifica**, Itapetininga, v.4, n.9, 2017.

ROCHA, V.M. Avaliação dos impactos das mudanças climáticas na reciclagem de precipitação da Amazônia: Um estudo de modelagem numérica. **XII – Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica.** Goiânia/GO, 2016.

ROCHA, V.M.; CORREIA, F.W.S.; FONSECA, P.A.A. Reciclagem de precipitação na Amazônia: Um estudo de revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, p.59-70, 2015.

ROCHA, V.M.; CORREIA, F.W.S.; GOMES, W.B. Avaliação dos impactos da mudança do clima na precipitação da Amazônia. Utilizando o modelo RCP 8.5 Eta-HadGEM2-ES. **Revista Brasileira de Geografia Física.** v.12, n.06, p.2051-2065, 2019.

ROCHA, V.M.; CORREIA, F.W.S.; SILVA, P.R.T.; GOMES, W.B.; VERGASTA, L.A.; MOURA, R.G.; TRINDADE, M.S.P.; PEDROSA, A.L.; SILVA, J.J.S. Reciclagem de precipitação na Bacia Amazônica: O papel do transporte de umidade e da evaporação da superfície. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.32, n.3, p.387-398, 2017.

ROCHA, V.M.; SILVA, P.R.T.; GOMES, W.B.; VERGASTA, L.A.; JARDINE, A. Reciclagem de precipitação na Amazônia: Um estudo utilizando as reanálises do Era-Interim (ECMWF). **Revista do Departamento de Geografia.** Universidade de São Paulo. v.35, p.71-82, 2018.

SILVA DIAS, M.A.F.; SILVA DIAS, P.L.; LONGO, M.; FITZJARRALD, D.R.; DENNING, A.S. River breeze circulation in eastern Amazonia: observations and modeling results. **Theoretical. Appl. Climatology.** v.78 n.1, p.111-121, 2004.

SOUSA JUNIOR, F.; PINHEIRO, H.; SANTOS JUNIOR, M. Cidade de Manaus: **Análise da diferença de temperatura entre áreas com vegetação e desmatamento (2013-2017).** V SEMINÁRIO INTERNACIONAL EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE DA AMAZÔNIA. Campus Universitário da UFAM, Manaus 14 a 17 de agosto de 2018.

SOUZA, D.O. **Influência da ilha de calor urbana nas cidades de Manaus e Belém sobre o clima local.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2012. 219 páginas. Tese de doutorado.

UNFPA. **The state of world population 2007: Unleashing the potential of urban growth.** United Nations Population Fund, United Nations Publications, 2007.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações.** UFV, 2006. p.427-429.

ZHAO, M.; PITMAN, A.J.; CHASE, T. "The impact of land cover change on the atmospheric circulation". **Clim. Dyn**., V.17, p.467-477, 2001.

Recebido em setembro de 2021.

Revisão realizada em outubro de 2021.

Aceito para publicação em novembro de 2021.