



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Crescimento Urbano e Suas Implicações para o Tempo e Clima da Região Metropolitana de Belém do Pará

Bergson Cavalcanti Moraes¹, Giordani Rafael Conceição Sodré², Ana Claudia Duarte Cardoso³, Antônio Rodrigues da Silva Júnior⁴.

¹Dr. Em Ciências Agrárias, professor no Instituto de Geociências e no Programa de Pós- Graduação em Gestão de Risco de Desastre na Amazônia da Universidade Federal do Pará (UFPA). <http://orcid.org/000-003-0052-1570>

²Dr. em Ciências Ambientais, Meteorologista no Instituto de Geociências e professor no Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco de Desastre na Amazônia da Universidade Federal do Pará.

³Dr. em Arquitetura, Professora no Instituto de Tecnologia, no programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e no Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Pará

⁴Policial Militar no Batalhão de Polícia Ambiental do estado do Pará, Mestre em gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, Doutorando em Geografia no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Pará

Artigo recebido em 09/12/2021 e aceito em 14/06/2022

Resumo

A Amazônia Oriental sofreu mudanças ambientais significativas nas últimas décadas. Tal circunstância influencia a dinâmica das cidades com aumento do calor, e consequente desconforto térmico, aumento das enchentes urbanas e movimentos de massa, em função da maior concentração da precipitação e alteração dos espaços urbanos (impermeabilização do solo, retirada da cobertura vegetal, etc.). Nesta perspectiva, o presente estudo quantificou a evolução da perda de áreas verdes nas últimas décadas (1985 a 2020), caracterizou a climatologia e sua variabilidade, para detectar possíveis sinais de alterações no microclima da Região Metropolitana de Belém. Foram utilizados dados de crescimento urbano e dados climatológicos - de precipitação e temperatura do ar com frequência mensal - e as duas bases foram divididas em três períodos iguais de 12 anos. O crescimento urbano foi mais intenso entre 1985 a 1996, onde 283,37 km² de áreas naturais foram convertidos em áreas antropizadas, integralizando em todo o período 551,73 km². Os municípios de Castanhal e Santa Isabel foram os que mais contribuíram para esse cenário e consequentemente foram os mais impactados pelas alterações do microclima, indicando que a frequência de eventos intensos de precipitação, dias e noites mais quentes, além de períodos chuvosos mais intensos e períodos secos mais secos pode estar relacionado com a expansão incremental da malha urbana.

Palavras-chave: variabilidade climática, antropização, eventos extremos.

Urban Growth and Its Implications for Weather and Climate in the Metropolitan Region of Belém do Pará

ABSTRACT

The Eastern Amazon has undergone significant environmental changes in recent decades. This circumstance influences the dynamics of cities with increased heat, and consequent thermal discomfort, increase urban floods and mass movements, due to the greater concentration of precipitation and alteration of urban spaces (waterproofing of the soil, removal of vegetation cover, etc.). The present study aimed to quantify the evolution of the loss of green areas in the last decades (1985 to 2020), to characterize climatology and its variability, and finally to detect possible signs of changes in the microclimate of the Metropolitan Region of Belém. Urban growth data and climatological data of precipitation and air temperature were used, with monthly frequency, both bases being divided into three equal periods of 12 years. Urban growth was more intense between 1985 and 1996, when 283.37 km² of natural areas were converted into anthropized areas, totaling 551.73 km² throughout the period. The municipalities of Castanhal and Santa Isabel were the ones that contributed the most to this scenario and, consequently, were the most impacted by microclimate changes, indicating that the frequency of intense precipitation events, warmer days and nights, in addition to more intense rainy periods and periods drier droughts may be related to the disorderly growth of the urban grid.

Keywords: climate variability, anthropization, extreme events.

Introdução

O século XXI já é considerado o século urbano, e o Brasil está inserido em uma das regiões mais urbanizadas no mundo - a América Latina, onde mais de 80% da população é urbana (Mendes, 2020a). Nas duas últimas décadas, os problemas herdados da urbanização do século XX – tais como migração para as cidades, fragmentação e segregação espacial, têm sido ressignificados diante das alterações do clima no planeta e da necessidade de estabelecer novas condições de governança. Isto se deve ao fato das cidades tanto sofrerem com os impactos provocados pelas alterações climáticas como contribuírem para a intensificação do processo global (Espíndola e Ribeiro, 2020).

Estudos sobre o quanto políticas urbanas e metropolitanas incorporaram a discussão sobre mudanças climáticas em capitais e metrópoles brasileiras, demonstram que este tema ainda carece de aprofundamento e/ou difusão. As estratégias de gestão de uso e ocupação do solo ainda estão demasiadamente comprometidas com os interesses de geração de lucro a partir da produção da cidade, deixando questões relativas à justiça ambiental, ao acesso a serviços públicos e ecossistêmicos em segundo plano (Bogo, 2020; Canil et al., 2020; Espíndola e Ribeiro, 2020). Enquanto no contexto internacional persegue-se a integração entre urbanização, clima, condições de tempo e serviços ambientais, dentro e além das cidades (Baklanov et al., 2018).

Este descaso com a desarticulação entre urbanização e aspectos ambientais é particularmente relevante na Amazônia Oriental - região formada pelos estados do Pará, Amapá, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins, e que sofreu maior intervenção de grandes projetos federais, na fase de colonização da Amazônia pelo Brasil. O desenvolvimentismo brasileiro criou um simulacro de sociedade industrial na região, baseado em atividades extrativas que tinham como sua primeira etapa de implantação o desmatamento associado à transformação da terra em mercadoria (Cardoso e Ventura Neto, 2020).

Desde os anos 1960, um intenso processo de urbanização foi desencadeado pelas políticas federais

que promoveram grande migração para à região norte, e que resultaram em migração rural – urbana a partir dos anos 1980. A interrupção dos investimentos nas frentes de obra e nos assentamentos de reforma agrária e a reestruturação produtiva do território, que era coberto de floresta, foram duas faces de um processo que levou a população nativa a se mover para mais próximo ou para dentro das cidades (Cardoso et al., 2018; Cardoso e Ventura Neto, 2020). Contudo, esta nova lógica de urbanização foi estabelecida repetindo o modelo de desenvolvimento urbano-industrial comandado por centros econômicos do país, com formação de grandes urbanas contínuas, sem atenção para as especificidades socioeconômicas, culturais e ambientais da região.

Hetcht, Pezzoli e Saatchi (2016) destacam a pouca atenção para a incorporação da cobertura vegetal como parte da solução do problema das emissões de CO₂, alertando para o quanto a discussão sobre a preservação do verde é política. Os autores alertam sobre o quanto o caso amazônico segue à revelia deste debate. Mesmo após os acordos internacionais para prevenção do aquecimento global, não se discute o protagonismo da floresta e das águas para as formas nativas de ocupação do território (por pequenos assentamentos dispersos entre interstícios de mata manejada), e sobre o quanto poderiam oferecer repertórios adequados para o enfrentamento das alterações no clima (Oliveira e Cardoso, 2021).

Além disso, nos últimos anos o desmatamento foi intensificado, para ampliar a homogeneização do território, com clara desvalorização de formas de vida capazes de manter a floresta viva (INPE, 2021; Costa et al, 2021). Exatamente aquelas que se organizam espacialmente nas áreas que são reclamadas tanto por novos usos produtivos quanto pela expansão urbana das cidades de maior porte (Oliveira e Cardoso, 2021).

Tal fenômeno de expansão urbana constitui-se em periferação improvisada das cidades, a partir de processos incrementais, constituídos por parcelamento de antigas glebas rurais, ocupação informal ou mesmo implantação de conjuntos habitacionais, em áreas afastadas das manchas

urbanas consolidadas, sem atenção às características ambientais e ecossistêmicas (Cardoso et al, 2020).

Neste sentido, embora a discussão sobre a preservação da Amazônia seja importante no debate sobre mudanças climáticas (IPCC, 2022), ainda há carência de estudos sobre o impacto do desmatamento no microclima dos assentamentos humanos da região, e sobre a contribuição dessas alterações para o clima global.

Estudo sobre o impacto da remoção de vegetação em áreas tropicais africanas já demonstra forte associação desta com a perda de umidade e com alterações do clima em áreas urbanas, relacionadas à ocorrência de problemas de saúde nas pessoas que moram nas áreas mais adensadas e precárias (Kabano et al., 2021). E estudos sobre o clima urbano para áreas não tropicais, também apontam mudança do clima urbano, em especial do regime de chuvas, em decorrência da ação humana, potencializando o risco de desastres (inundações, deslizamentos, secas) em extensas áreas urbanizadas (Júnior, 2018).

Estes estudos seguem os resultados de Luna et al. (2019), sobre a maior vulnerabilidade a eventos críticos e extremos nas cidades e seus entornos, impactando diretamente as condições de conforto ambiental, capacidade de resposta aos perigos naturais e a dinâmica de vida. Em 2022, a observação empírica das situações enfrentadas em cidades brasileiras como Petrópolis, Recife e Ouro Preto, ou nas cidades do Sul da Bahia, amplamente divulgadas na mídia e ligadas às enchentes e deslizamentos, confirmam a necessidade de ampliação da investigação sobre a evolução do clima em cidades brasileiras.

O clima urbano pode ser interpretado como um sistema aberto que conta com estruturas internas e se mantém pelo processo de troca de matéria e energia atmosférica, que altera o balanço de energia local entre radiação e irradiação solar (Nascimento Jr, 2019). A interdependência das estruturas e dos processos em sua organização é funcional, complexa e subdividida em três subsistemas, Termodinâmico, Físico-Químico e Hidrometeorológico, e em três canais de percepção, Conforto térmico, Poluição atmosférica e Meteoros de impacto (Júnior, 2018).

Oliveira e Silva (2019) ressaltam que no contexto Amazônico, os impactos das mudanças do

clima são sentidos por meio de secas mais severas e períodos de intensas precipitações. Os fenômenos hidrometeorológicos em geral são acompanhados por desastres, com dimensões sociais e ambientais nas áreas de produção improvisada; e são mais numerosos no período chuvoso, entre os meses de janeiro a maio, em comparação com as regiões Sudeste e Sul, onde os desastres são mais frequentes no decorrer do ano (De Oliveira e Silva, 2019).

Neste panorama, este texto toma como objeto de estudo a Região Metropolitana de Belém (RMB), conforme instituída pela Lei Complementar 76/2011, para investigar a articulação entre o sistema Termodinâmico e as alterações da cobertura do solo em áreas urbanas, e observar sua interferência na dinâmica de tempo e clima, relacionadas aos marcadores de conforto térmico e impactos de eventos de precipitação intensa.

A RMB é a principal centralidade da Amazônia Oriental brasileira (IBGE, 2018), e Miranda (2020) demonstra que o processo de conurbação de Belém com Ananindeua e Marituba (duas das cidades da periferia metropolitana) foi acompanhado por uma perda progressiva de vegetação, e que o fenômeno tem sido reproduzido na escala metropolitana. Este fato levou à pergunta que norteou este artigo: qual a relação entre a dinâmica de uso e ocupação do solo e o clima da RMB, nas escalas espaciais e temporais estudadas?

Material e método

Área de estudo

A Região Metropolitana de Belém-RMB é composta por sete municípios (Tabela 1) e teria, segundo estimativas do IBGE para o ano de 2021, 2,55 milhões de habitantes, sendo Belém e Ananindeua os municípios mais populosos, e Santa Bárbara e Benevides os menos populosos. A RMB se estrutura no ano de 1973, com Belém e Ananindeua, tendo sido regulamentada junto com as primeiras regiões metropolitanas brasileiras, por meio da Lei Federal nº 14/1973 (Mendes, 2020b).

O município de Belém ocupa a maior área da RMB, com 1.059,466 km², e agrega as ilhas de Icoaraci, com cerca de 167.035 habitantes, de Caratateua a 18 km do centro de Belém e Mosqueiro,

com uma área de aproximadamente 212 km² e está localizada a 70 km de distância do centro da capital Belém, além das ilhas Cotijuba e Cumbu (Figura 1).

Tabela 1 - Estimativas populacionais para o ano de 2021 e áreas municipais, para a Região Metropolitana de Belém.

NOME DO MUNICÍPIO	POPULAÇÃO ESTIMADA 2021	ÁREA (km ²)
Ananindeua	540.410	190,581
Belém	1.506.420	1.059,466
Benevides	64.780	187.826
Castanhal	205.660	1.029,300
Marituba	135.812	103,214
Santa Bárbara do Pará	21.811	278,154
Santa Isabel do Pará	72.856	717,662
Total RMB	2.499.188	191.204

Fonte: IBGE Cidades 2021.

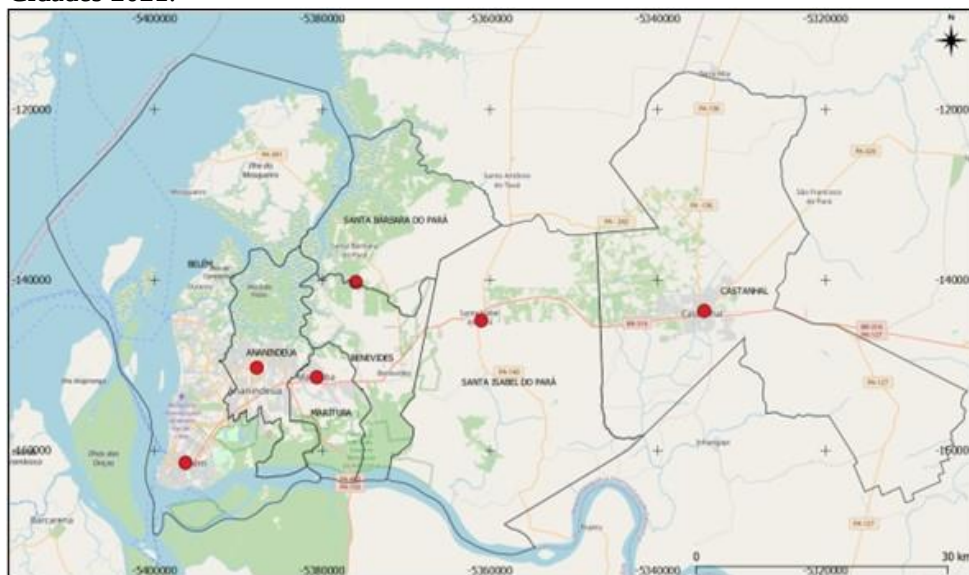


Figura 1. RMB e seus municípios constituintes. Os pontos pretos representam os locais de extração dos dados meteorológicos.

Base de dados
Climatologia

Os dados climatológicos, com frequência mensal, do período compreendido entre os anos de 1985 a 2020, foram utilizados para o presente estudo conforme descrito nos subitens abaixo. Para as análises dos períodos de décadas, as séries foram divididas em três períodos iguais de 12 anos de dados, referenciadas assim como 1º período (1985 a 1996), 2º período (1997 a 2008) e 3º período (2009 a 2020).

Precipitação

Foi utilizada a base de dados do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), que consiste num conjunto de dados formado por diversas fontes de informações, que são: (I) The Climate Hazards Group's Precipitation Climatology (CHPClim), (II) Observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal (Thermal Infrared, TIR), geoestacionárias quase globais da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Centro de Previsão Climática (CPC) e o National Climatic Data Center Climáticos (NCDC), (III) Campos de Precipitação do Coupled Forecast System da NOAA, versão 2 (CFSv2), (IV) Diversas observações de precipitação através de produtos de estações meteorológicas e outros serviços regionais (Prakash, 2019).

A principal característica desse conjunto de dados está na altíssima resolução espacial de aproximadamente 5 km, próximo ao Equador, cobertura geográfica global de 50°S a 50°N, com o período de dados iniciando em 1981 e se estendendo até os dias atuais, sendo disponibilizado em UCSB (<ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRP/S-2.0/>), em formato NetCDF, GeoTiff e Esri BIL, nas resoluções temporais diários, pentadais, mensais e anuais.

Temperatura do ar

Os dados de temperatura do ar (máxima, mínima e média) foram obtidos junto ao European Centre for Medium Range Weather Forecast Reanalysis (Era5), que pertence ao European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). O ERA5 fornece estimativas de hora em hora de um grande número de variáveis climáticas atmosféricas, terrestres e oceânicas. Os dados

cobrem a Terra em uma grade de 30 km e resolvem a atmosfera usando 137 níveis da superfície até uma altura de 80 km.

Os dados de temperatura do ar e umidade relativa utilizados nesta pesquisa possuem resolução temporal de 3 horas e espacial de 0,25° (aproximadamente 27 km), compreendendo o período de 1985 a 2020.

Dados de cobertura do solo

Para a avaliação da dinâmica de antropização do solo na RMB, foram utilizados os dados disponíveis na plataforma do MapBiomas, que emprega processamento em nuvem e classificadores automatizados, desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine, para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil, utilizando os mapas de Biomas Brasileiros do IBGE de 2004, originalmente na escala 1:5.000.000. Esse mapa foi refinado com base no mapa de fitofisionomias do RADAM na escala 1:1.000.000 e com base nos limites estaduais do IBGE de 2013 na escala 1:250.000.

Os dados de mapeamentos anuais, disponibilizados na plataforma, tem início em 1985 e se estendem até o ano de 2019, e foram gerados com base em imagens Landsat com resolução espacial 30 m e uma generalização espacial que descarta áreas isoladas com menos de 0,5 ha.

Outra característica importante consiste na utilização de todas as imagens disponíveis de cada ano, assim como de índices espectrais, índices de textura e informações de relevo, como forma de aprendizagem de máquina, possibilitando que o classificador diferencie todas as classes mapeadas, objetivando assim a geração de mapas consistentes para a caracterização da dinâmica das mudanças de uso e cobertura vegetal do solo.

Os dados do MapBiomas são públicos, abertos e gratuitos sob licença Creative Commons CC-CY-AS e estão disponíveis em MapBiomas.org <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>.

Análise dos dados

Os dados de antropização foram tratados no software de sistema de informação geográfica QGIS (Quantum GIS). Nesse processo foi extraída a série

temporal, por ponto de pixel, e em seguida realizado o cálculo da dimensão da área afetada.

Para a análise dos dados de precipitação e temperatura do ar, em formato NetCDF, foi aplicada a extração de séries com uso do *software* GRADS (Grid Display Analyst). Esse procedimento consiste na extração das séries temporais de dados climáticos em forma de grid, sobre os pontos de pixels alvos desta pesquisa e convertidos para arquivos de ASCII, sendo analisados em seguida no *software* estatístico SciLab.

As análises consistiram na comparação entre as variáveis climáticas e os padrões do clima, determinado pelo estado médio das séries históricas extraídas, avaliando dessa forma a variabilidade climática e as respectivas persistências estatísticas.

Por fim, foram gerados gráficos de variabilidade anual e decadal dos níveis de antropização, variação de precipitação, da temperatura do ar (média, mínima e máxima) e da ocorrência de eventos intensos de precipitação procurando, assim, identificar sinais de mudança no microclima da região metropolitana de Belém

(RMB).

Resultados e discussão

Antropização da superfície

Ao longo de toda a extensão da RMB, a evolução de um cenário ambiental negativo, nas últimas décadas, em decorrência da transformação do uso e cobertura do solo, tem sido facilmente notada sobre as mais variadas óticas, quer seja através da tecnologia ou simplesmente pelas comunidades locais.

As maiores transformações ocorreram no primeiro período analisado, de 1985 a 1996. Foi observado que mais de 283,37 km² de áreas naturais foram convertidas em áreas antropizadas, somente nesse primeiro período, integralizando assim com os demais períodos decadais um total de 551,73 km² de áreas antropizadas ao longo de todo os anos, o que representa um incremento percentual de 15,47% de transformação de área na RMB (Figura 2).

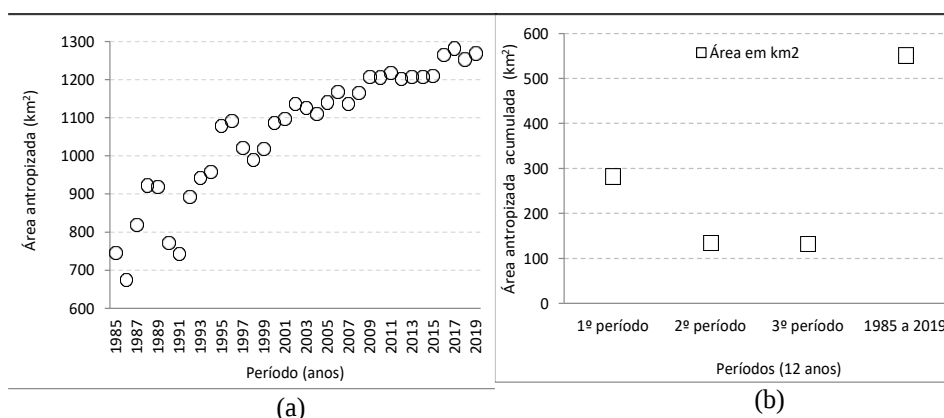


Figura 2. Variação temporal da área antropizada (km²) na RMB. (a) Evolução anual e (b) evolução decadal acumulada (km²).

Segundo Lima et al. (2019), os crescimentos urbano e populacional trazem problemas ambientais e de gestão. Há demanda crescente por habitação, infraestrutura, saneamento, serviços de saúde e educação, entre outros equipamentos. Estas afirmações podem ser confirmadas quando é

observada a situação do saneamento da RMB, principalmente se tratando da coleta e tratamento do lixo produzido.

Pereira e Cunha Júnior (2019) avaliaram os impactos ambientais relacionados ao aterro sanitário de Marituba, que atende a RMB, tais como poluição

hídrica e atmosférica e construção de obras potencialmente poluidoras sem licença ambiental. Detectou-se o aumento de doenças respiratórias, gastrointestinais e de pele, odor e contaminação das piscinas naturais, contaminação do solo e de lençóis freáticos, aumento da degradação ambiental do entorno do aterro, entre outros.

Em relação às componentes meteorológicas, as alterações provocadas pela ação humana alteraram as variáveis do clima local, resultando em novas interações Terra-Atmosfera e aumento de desequilíbrios ambientais pela impermeabilização do solo por materiais condutores de energia térmica (Feitosa et al., 2019). As transformações no uso e ocupação do solo geram mudanças no balanço de energia, resultando em diversos microclimas em uma cidade, conhecido como clima urbano (Barbosa et al., 2020).

Estas características podem ser melhor observadas justamente nos municípios que apresentam maior grau de antropização. Segundo pode ser observado na Figura 3, o município que mais contribuiu para esse cenário negativo foi Castanhal, que ampliou a sua área antropizada em cerca de 32%, seguidos de Marituba, Santa Isabel, Benevides e Ananindeua com incrementos de 20%, 19,5%, 15,3 e 13% respectivamente (Figura 3).

Observa-se, no entanto, que os municípios de Castanhal e Santa Isabel apresentam uma crescente expansão desde o início da série histórica (1985), enquanto Marituba, que até o momento desta pesquisa está na segunda posição, apresenta uma desaceleração no processo de antropização a partir do ano de 2002.

Os municípios que apresentaram menores incrementos foram o de Belém (Distritos de Mosqueiro, Outeiro e ilhas) e Santa Bárbara, com percentuais de 5,9% e 10%, respectivamente (Figura 3).

Precipitação

Considerando as transformações antrópicas observadas, entende-se que as mesmas provocam alterações no microclima local, sinais de mudança no regime pluviométrico pode ser um importante indicativo a ser observado e analisado. Como nota-se na Figura 4, na qual é possível observar que a RMB apresentou elevada variação espacial e temporal nos

valores de precipitação anual no período de estudo. Os máximos anuais oscilaram em torno de 3800 mm no final dos anos de 1980, sendo a precipitação média desse mesmo período de cerca de 3500 mm e a mínima de 3300. As menores precipitações na RMB foram observadas em períodos de intensas atuações do fenômeno El Niño (1987, 1992 e 2015), com valores anuais oscilando em torno de 2200 mm. O município de Castanhal foi o que apresentou maior variação anual, em comparação aos demais estudados, sendo Belém o que de menor variação (Figura 4).

Dentre os municípios estudados, Castanhal apresentou a maior variabilidade da precipitação (Figura 4-b), com valores oscilando 1600 mm, seguido pelo município de Santa Isabel (1400 mm) entre os anos menos chuvosos e mais chuvosos. Outra característica que pode ser observada é o descompasso da variabilidade pluviométrica em relação ao demais municípios, pois ao mesmo tempo que Castanhal apresenta a menor média pluviométrica de toda a RMB, também possui o maior pico de máxima e de mínima precipitação, indicando que o volume precipitado ocorre em um curto período de forma bem intensa e que o período de estiagem é prolongado, como pode ser observado na Figura 5, onde o município de Castanhal apresentou na escala sazonal o maior pico de máximo do período chuvoso (Figura 5a) e o menor valor mínimo do período mais seco (Figura 5b). Por outro lado, o município de Santa Isabel manteve uma variabilidade semelhante aos demais municípios da RMB (Figura 4b), passando a apresentar sinais de uma maior variabilidade no período sazonal mais seco (Figura 5b). A escala temporal sazonal, dividida entre período chuvoso, que compreende os meses de fevereiro, março e abril, e seco, meses de setembro, outubro e novembro, sendo que, no trimestre chuvoso, o município de Castanhal foi o responsável por apresentar as maiores variações no período chuvoso, com valor em torno de 1137 mm, sendo os valores máximos no trimestre de 1776 mm e mínimos em torno de 639 mm. Já no período seco, o município de Belém e Santa Isabel foram os que apresentaram a maior variação, oscilou em torno de 780 mm, com acumulado trimestre que oscila em torno de 94 mm e 50 mm respectivamente.

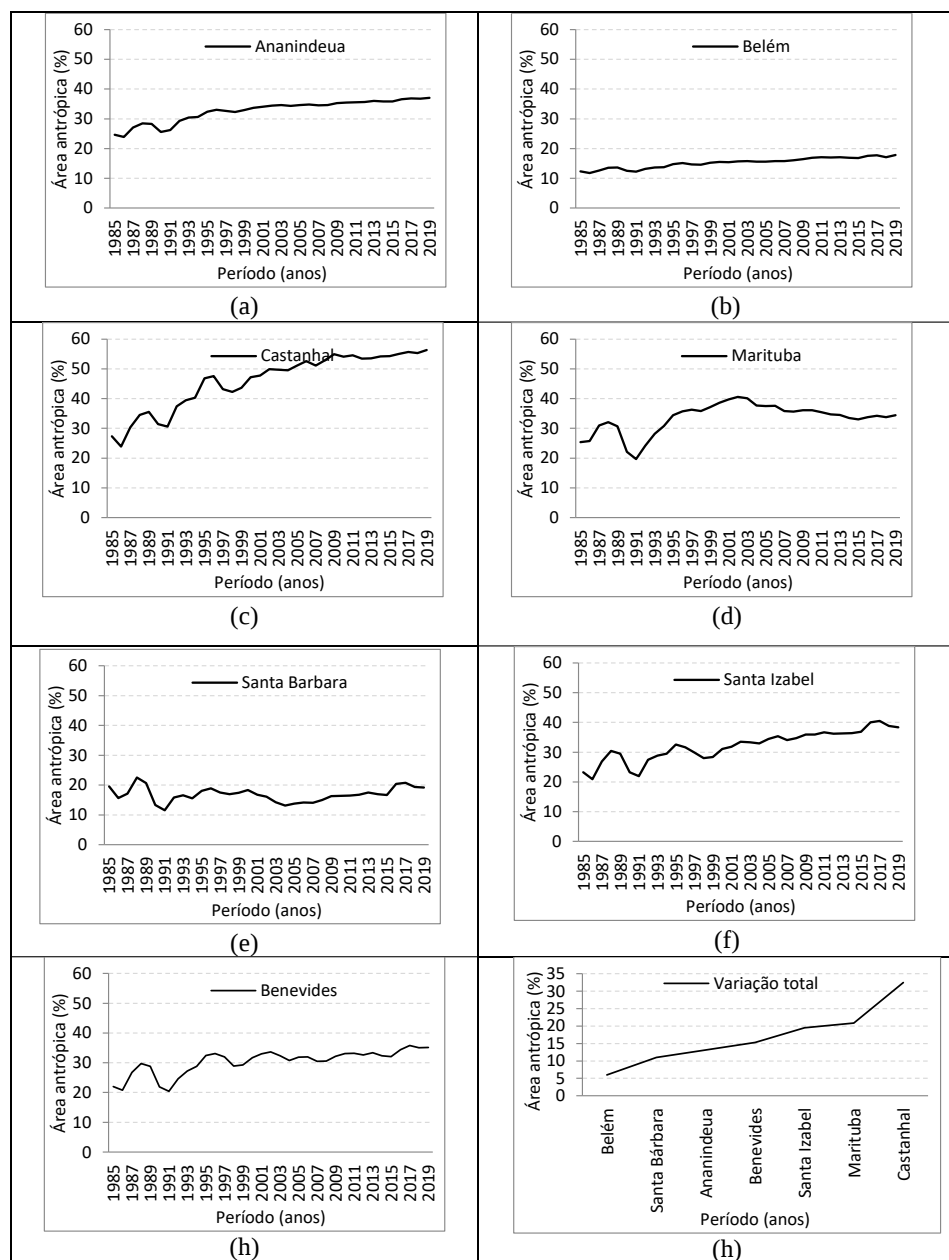


Figura 3. Variação temporal, em percentual, das áreas antrópicas nos municípios da RMB, entre o período de 1985 a 2019. (a) Ananindeua, (b) Belém, (c) Castanhal, (d) Marituba, (e) Santa Bárbara, (f) Santa Isabel, (g) Benevides, e (h) variação total municipal.

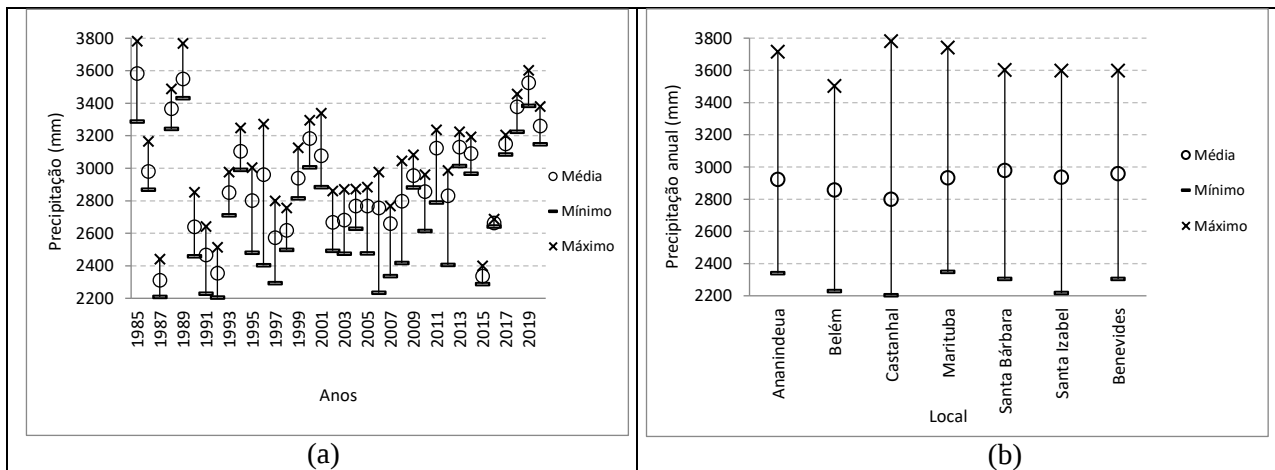


Figura 04. Variabilidade da precipitação anual, na RMB (a) e nos municípios (b), entre os anos de 1985 e 2020.

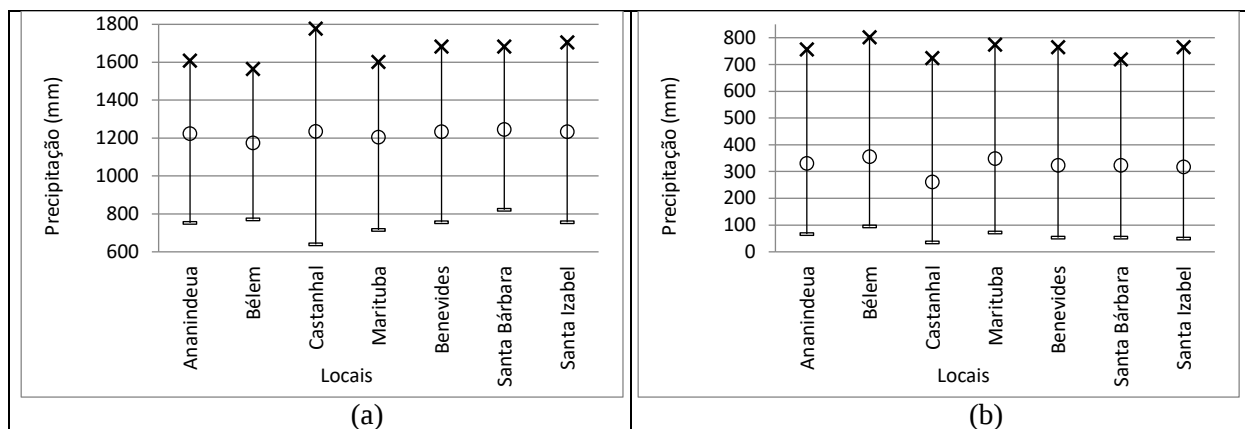


Figura 5. Variabilidade sazonal da precipitação (mm) nos municípios da RMB, nos trimestres chuvoso (a) e seco (b).

Como forma de analisar possíveis sinais de mudanças, nos padrões climatológicos da região e municípios, foi realizada uma avaliação, em termos de percentuais, da contribuição de cada trimestre (chuvoso e seco) nos acumulados totais anuais, em cada período de estudo (cada 12 anos), dividindo assim o período total de dados climatológicos em três períodos iguais (Figura 6)

No trimestre chuvoso, foi observado que em todos os municípios, o acumulado de precipitação sofreu grande mudança, sendo os municípios de Santa Isabel e Castanhal os que apresentaram as maiores mudanças, com incremento

de 4,34% e 4,32%, respectivamente. Ananindeua e Belém foram os municípios que apresentaram as menores variações, com cerca de 2,17% e 2,62%. A variação média para toda a RMB foi de 3,30%.

Já no trimestre seco, foi observado que os padrões de contribuição do acumulado trimestral de precipitação para o acumulado anual foram invertidos, ou seja, diminuíram. Belém, Marituba e Santa Bárbara apresentaram percentuais negativos de aproximadamente 2%, sendo Ananindeua o município que não apresentou variação. A variação média da RMB, nesse período foi de -1,34%.

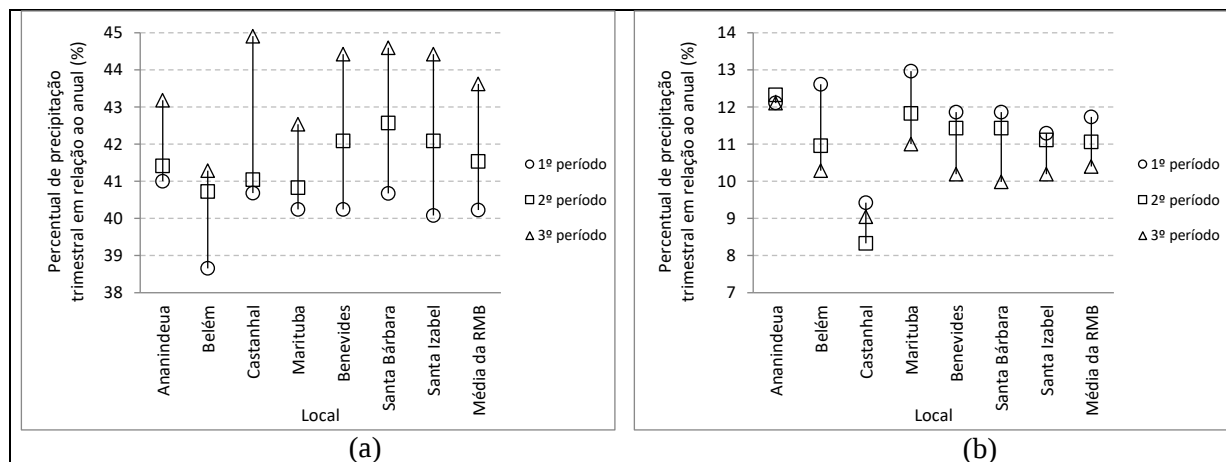


Figura 6. Relação, em percentual, entre o acumulado de precipitação trimestral e o total anual, nos trimestres chuvoso (a) e seco (b), nos três períodos de 12 anos, nos municípios e a área da RMB.

Todos os resultados observados corroboram para uma possível interferência das mudanças na cobertura do solo sobre a variabilidade pluviométrica da área estudada, pois como pode ser notado, os municípios de Castanhal e Santa Isabel apresentaram as maiores áreas antropizadas (32% e 19,5%), sendo que Castanhal teve um avanço 12% potencializando os efeitos locais, apresentando as maiores variabilidades nas escalas sazonal e anual, tanto no volume máximo e mínimo.

Segundo Lima e Monteiro (2020) a ação antrópica no meio ambiente, isolada ou associada a fatores ambientais ou regionais, pode desencadear eventos extremos, sejam eles, hidrológico, climatológico e/ou geológico. Freitas et al. (2021) mostram que alterações na topografia que causam mudanças no microclima regional podem contribuir para a ocorrência de extremos climáticos. Cirino et al. (2019) mostra que alterações na superfície podem alterar o microclima local, contribuindo para as mudanças climáticas intensificando os padrões anômalos das variáveis termodinâmicas (Temperatura e capacidade de armazenamento de água).

Diante deste fato, analisamos a frequência de eventos intensos de precipitação ocorridos nas últimas três décadas, os resultados mostram que o total de eventos intensos está se intensificando em todos os municípios da RMB (Figura 7 a), nota-se

que entre as décadas de 1991/2000 e 2001/2010 a frequência de precipitações intensas, o que segundo Da Silva Junior et al. (2020) pode ser classificado com uma precipitação acima de 30mm/dia, fica entorno de 130 eventos anuais. A partir da década de 2011 o número de ocorrência eleva-se próximo ou acima de 170 eventos, denotando a intensificação do volume pluviométrico que precipita em um curto espaço de tempo.

Segundo Artaxo (2020), o Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e mais ainda às que se projetam para o futuro, especialmente quanto aos eventos climáticos extremos. Cabe destacar que o crescimento demográfico e da urbanização, ainda em estágio acelerado em muitas regiões do Brasil, podem contribuir para amplificar os efeitos negativos dos eventos extremos sobre o bem-estar das pessoas. Essas evidências reforçam a tese de que o agravamento de um evento está relacionado à vulnerabilidade ambiental dos espaços ocupados pela sociedade (Garcia et al., 2018; De Azevedo Reis et al., 2020).

O Relatório do IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change – Climate Change* apresenta um conjunto de evidências sobre a ocorrência de eventos extremos em várias partes do mundo, especialmente nos países menos desenvolvidos de clima tropical. O relatório destaca que as “mudanças extremas no clima e eventos

climáticos extremos têm sido observados desde a década de 1950” (IPCC, 2022), e desde a década de 1950 o processo de integração espacial (por rodovias) e econômica da Amazônia ao Brasil tem promovido mudanças radicais no uso e cobertura da terra no estado do Pará

A Figura 7b revela que a maior concentração dos eventos de precipitação intensa, entre as três décadas estudadas, ocorreu no período entre 2011-2020. Os municípios com maior grau de avanço na antropização, Castanhal e Santa Isabel, apresentaram taxas de 45% e 44% respectivamente, das precipitações mais intensas ocorrendo na década mais recente.

Este resultado indica que este tipo de evento está ficando cada vez mais comum, resultado compatível com diversas pesquisas realizadas em todo o Brasil, as quais mostram que as áreas mais urbanizadas têm sofrido com as secas, o aumento da temperatura média, a intensidade das precipitações, a ocorrência de ventos intensos (De Azevedo Reis et al., 2020), deslizamentos e movimentos de massa (Tachini et al., 2021).

Por exemplo, como São Paulo, a maior metrópole do país, tem registrado eventos que indicam um aumento na variabilidade climática (Fontão e Zavattini, 2019), como a frequente ocorrência de inundações e de secas (Vargas, 2019).

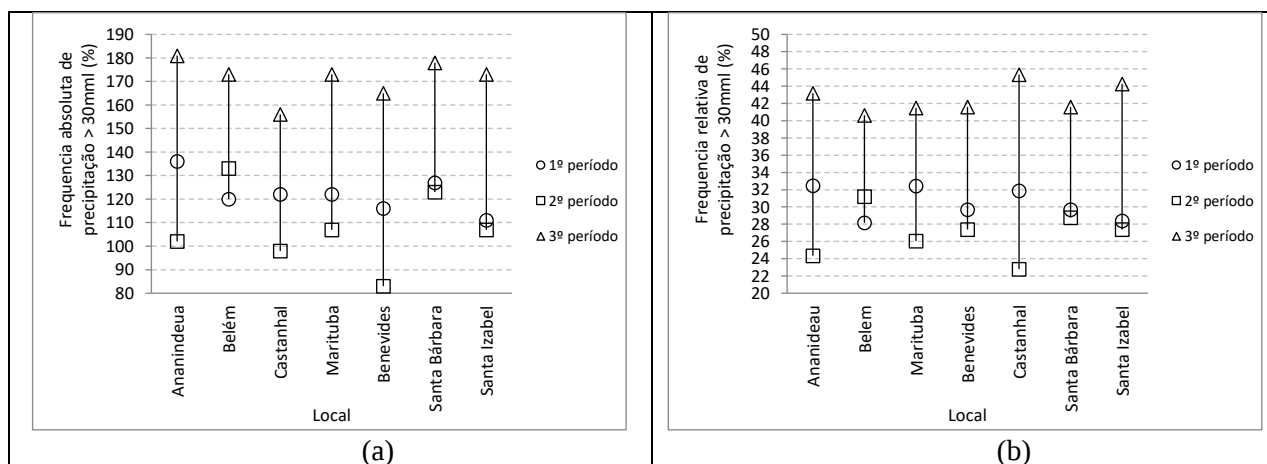


Figura 7. Frequências, absoluta (a) e relativa (%), dos eventos extremos de precipitação (acima de 30mm/dia) ocorridos nos três períodos de 12 anos, nos municípios e a área da RMB.

Segundo Garcia et al. (2018) a identificação e a análise da ocorrência de eventos extremos de precipitação (EEP) em áreas urbanas pode subsidiar a definição de ações para aprimorar a estrutura de gestão ambiental, as políticas ambientais e a capacidade de resposta da sociedade.

Temperatura do ar

Outra variável de extrema importância para a percepção de alterações no clima dos centros urbanos, é a variabilidade da temperatura do ar (Alves, 2019). Como pode ser observado na Figura 8a, a temperatura do ar apresentou padrões

climatológicos relativamente semelhantes, entre os municípios estudados, excetuando Castanhal que apresentou uma amplitude térmica anual de 12,5°C, com máximas que ultrapassam os 34°C e mínimas em torno de 21°C. Ananindeua foi o município que apresentou a menor amplitude térmica, com valores que não ultrapassam os 7°C ao longo do ano, sendo as máximas de 31°C e mínimas de 24°C. Os demais municípios apresentaram amplitude em torno de 10°C.

No entanto, ao observar o quadro de anomalia da temperatura (Figura 8 b), nota-se que Castanhal foi o município que apresentou os maiores

valores de anomalias, para a temperatura máxima, cerca de $1,1^{\circ}\text{C}$ de incremento, e aumento nos valores mínimos de $0,5^{\circ}\text{C}$.

O município de Ananindeua apresentou o maior incremento de temperatura mínima $0,7^{\circ}\text{C}$, indicando que a noites estão ficando mais aquecidas, já a temperatura máxima sofreu o menor incremento entre os municípios de estudo $0,6^{\circ}\text{C}$. Os municípios de Santa Bárbara, Santa Isabel e Marituba apresentaram padrões semelhantes, com cerca de $0,9^{\circ}\text{C}$ de incremento nas temperaturas máximas e $0,5^{\circ}$ nas temperaturas mínimas. A capital Belém foi a única que não apresentou incremento na temperatura mínima, porém, apresentando o segundo maior valor de incremento na temperatura máxima, 1°C .

Segundo Fialho et al. (2021) o processo de urbanização promove fortes impactos no clima local, pois provoca o aumento da temperatura do ar e consequentemente o desconforto térmico, o que resulta na queda da qualidade de vida da população. Da Silva Romero (2020) afirmam que, o crescimento das cidades, conjuntamente ao das populações urbanas, introduz novos elementos físicos e químicos na atmosfera, alterando as condições naturais precedentes e originando o clima urbano. Resultados também observados em todos os municípios desta pesquisa. nos quais as alterações nas temperaturas do

ar (máximas e mínimas), são todas crescentes, indicando aquecimento de toda a região.

Segundo Mendes (2020a) o desequilíbrio gerado pela combinação das características estruturais, oriundas dos fluxos que atuam no espaço urbano, mais a dinâmica atmosférica atuante e o ritmo climático são responsáveis por muitas alterações, que são catalisadas na forma de um tipo de tempo individualizado a cada cidade, influenciados pela formação das ilhas de calor, inversão térmica, mudança na direção e velocidade dos ventos, queda da umidade relativa do ar e aumento da concentração de precipitações, sendo que a magnitude desses efeitos depende diretamente das intervenções antropogênicas particulares a cada lugar.

Assim, nota-se que todos os resultados observados sobre variabilidade pluviométrica, elevação da frequência de precipitações intensas e alterações na temperatura do ar indicam que o processo de antropização está criando microclimas locais, fato que fica evidente quando analisamos principalmente o município de Castanhal, que apresentou maior elevação da interferência humana sobre sua superfície e consequentemente apresenta as maiores oscilações das variáveis meteorológicas.

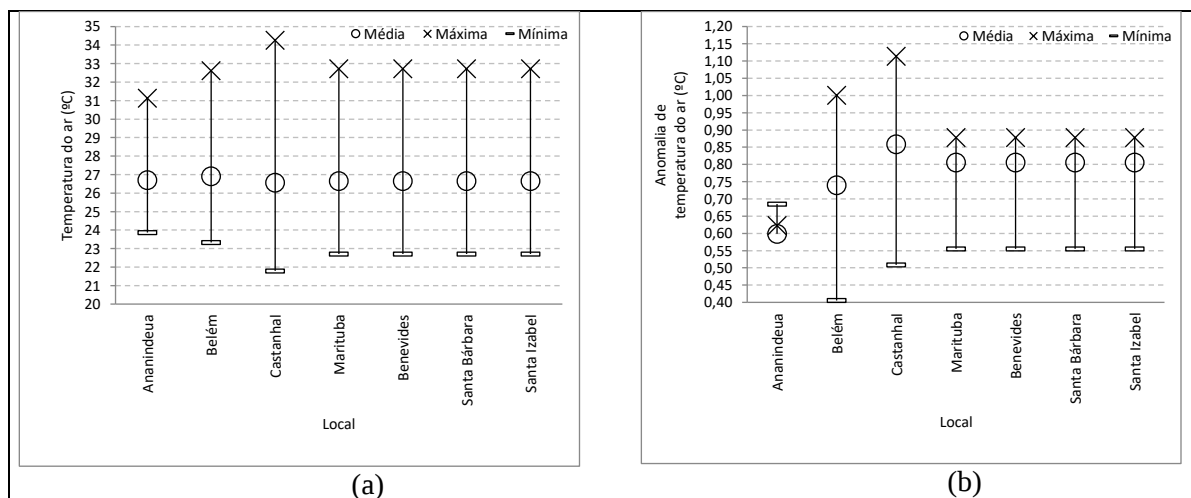


Figura 08. Climatologia de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), figura (a), e (b) anomalias de temperatura do ar máxima, média e mínima, traço horizontal, círculo e xis, respectivamente.

Conclusão

Os dados confirmaram que as mudanças de uso da terra na RMB afetam as mudanças no microclima local; impacto evidenciado pelos sinais tanto na variabilidade da precipitação, frequência de eventos intensos de precipitação e na variabilidade da temperatura do ar (máxima, mínima e média).

Os municípios de Castanhal e Santa Isabel, que estão na borda da RMB, apresentaram a maiores taxas de antropização nos trinta anos de dados analisados, sendo que os mesmos foram responsáveis pelos sinais mais claros de alterações nas variáveis meteorológicas analisadas, estes resultados indicam que áreas expostas a crescente processos de antropização podem desenvolver microclimas com maior frequência de eventos intensos de precipitação, dias e noites mais quentes, além de períodos chuvosos mais intensos e períodos secos mais secos. Contudo, há necessidade de maior desagregação de dados para inferir impacto sobre as formas de vida históricas na região nestes e nos demais municípios.

O estudo revelou que não é possível mensurar a correlação entre uso e cobertura da terra e as variáveis do clima, devido à diferença temporal das bases utilizadas. A análise quantitativa depende da disponibilização de dados mensais ou sazonais sobre as dinâmicas de uso e cobertura (disponibilizadas em dados anuais), para a obtenção de grau de correlação relevante com as alterações climáticas observadas.

Apesar disso, o estudo aponta o estabelecimento de tendência de intensificação de ameaças relacionadas a eventos meteorológicos no cenário ambiental da RMB nas últimas décadas. Com a atual perspectiva de emergência climática, recomenda-se investimento nas simulações do clima futuro, com uso da modelagem climática, para apoiar a tomada de decisão estratégica no que se refere à gestão territorial da RMB, de modo supra municipal, seja no âmbito governamental ou privado.

Uma convergência importante entre estratégias de controle de conversão de uso do solo e a ação de prevenção de desastres poderá advir da produção de cartas de aptidão à urbanização e da elaboração de planos de prevenção de risco, para uma rigorosa gestão territorial dos municípios. E que este e outros instrumentos sejam capazes de dialogar com a modelagem climática e com os sistemas de alerta de ameaças naturais, que hoje estão sob

responsabilidade da Defesa Civil municipal e de organizações militares estaduais. Controlar a expansão urbana incremental será recurso de adaptação climática e de mitigação de perdas econômicas, ambientais e de vidas, pois desastres são via de regra socialmente construídos e não necessariamente naturais.

Agradecimentos

Ao Instituto de Geociências da UFPA, pelo suporte de infraestrutura computacional e apoio às pesquisas através dos Laboratórios de Imagem e Dados de Sensoriamento Remoto da Atmosfera, e o de Risco e Desastres Naturais da Amazônia, do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastre Naturais da Amazônia-PPGGRD.

Referências

- Alves, E. D. L. 2019. Análise das influências geourbanas no clima urbano da cidade de Iporá-Goiás. *Boletim de Geografia*, 37(2), 267-268.
- Artaxo, P. 2020. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *Estudos Avançados* 34, 53-66.
- Baklanov, A.; Grimmond, C.S.B.; Carlson, D.; Terblanche, D.; Tang, X.; Bouchet, V.; Lee, B.; Langendijk, G.; Kolli, R.K.; Hovsepyan, A. 2018. From urban meteorology, climate and environment research to integrated city services. *Urban Climate* 23, 330-341.
- Barboza, E. N.; Neto, F. C. B.; Caiana, C. R. A. 2020. Geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em Fortaleza, Ceará. *Research, Society and Development*, 9(7), 5797-5798.
- Bogo, R. 2020. Plano Diretor Participativo, território e inundações em Rio do Sul/SC. *Cadernos Metrópole* 22(48), 555-578.
- Canil, K.; Lampis, A.; Santos, K. L. D. 2020. Vulnerabilidade e a construção social do risco: uma contribuição para o planejamento na macrometrópole paulista. *Cadernos Metrópole*, 22, 397-416.
- Cardoso, A.C.; Fernandes, D.; Lima, J.J. 2018. Belém: quatro décadas da região metropolitana de Belém, uma variante do processo de metropolização brasileiro. In: Luiz Cesar de

- Queiroz Ribeiro; Marcelo Gomes Ribeiro. (Org.). *Metrópoles brasileiras: síntese da transformação na ordem urbana 1980 a 2010*. 1ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 23-46. Disponível em: https://observatoriodasmetrolopes.net.br/arquivo/s/biblioteca/abook_file/metrolopes_brasileiras2018.pdf#page=25. Acesso em 09/06/2022.
- Cardoso, A. C. D.; Lima, J. J. F.; Ponte, J. P. X.; Ventura Neto, R. S.; Menezes, R. 2020. Morfologia urbana das cidades amazônicas: a experiência do Grupo de Pesquisa Cidades na Amazônia da Universidade Federal do Pará. *Urbe. Revista Brasileira De Gestão Urbana JCR*, 12, 1-18.
- Cardoso, A. C. D.; Neto, R. D. S. V. 2020. Desenvolvimentismo e mercantilização da terra: transição e resistência das várzeas paraenses. *Novos Cadernos NAEA*, 23(1). Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/8143>. Acesso em: 08/06/2022.
- COSTA, F. et al. Complex, diverse, and changing agribusiness and livelihood systems in the Amazon. Chapter 15 *The Amazon we want. Science Panel for the Amazon, Sustainable Development Solutions Network/ UN*, 2021. Disponível em <https://www.theamazonwewant.org/Chapters-in-Brief/>, acesso 07/06/2022.
- Cirino, L. D. S.; Vitorino, M. I.; De Holanda, B. S. 2019. Análise climática da variabilidade natural e antrópica para uma metrópole amazônica. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, 6(2), 3-26.
- Da Silva Junior, M. A. B.; Da Fonseca Neto, G. C.; Cabral, J. J. S. P. 2020. Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife-PE. *Revista de Geografia (Recife)* 37(1). Disponível em: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.239373>. Acesso em: 09/06/2022.
- Da Silva Romero, C. W.; Silva, H. R., Marques, A. P.; De Macedo, F. L.; Faria, G. A.; Alves, M. C. 2020. Relação entre as ilhas de calor e uso e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando o sensoriamento remoto. *Geociências*, 39(1), 253-268.
- De Azevedo Reis, G.; Ribeiro, A. J. A.; Da Silva, C. A. U. 2020. Diagnóstico de Vulnerabilidade Socioambiental em áreas urbanas utilizando inteligência geográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13(2), 767-781.
- De Oliveira, M. A. F. N.; Silva, L. C. P. 2019. As Alterações Climáticas Do Planeta E Os Impactos Na Biodiversidade Amazônica. *Educação Ambiental em Ação*, 18(69). Disponível em: <http://revistaea.org/artigo.php?idartigo=3792>. Acesso em: 09/06/2022.
- Espíndola, I; Ribeiro, W. 2020. Cidades e Mudanças Climáticas: desafios para os planos municipais brasileiros. *Cadernos Metrópole* 22(48), 365-395.
- Feitosa, S. M. R.; Gomes, J. M. A.; Neto, J. M. M.; De Andrade, C. S. P. 2019. Consequências da Urbanização na Vegetação e na Temperatura da Superfície de Teresina-Piauí. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 6 (2), 58-75.
- Fialho, E. S.; Furtado, J. B.; Xavier, T. C. 2021. Análise do (des) conforto térmico da cidade de Viçosa (MG) no ano de 2014. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 25, 23. Disponível em: <https://doi.org/105902/14146509446846>. Acesso em: 08/06/2022.
- Fontão, P. A. B.; Zavattini, J. A. 2019. Variabilidade das chuvas anuais na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e no Sistema Cantareira: classificação e frequência dos anos-padrão (Variability of annual rainfall in São Paulo Metropolitan Region (RMSP) and Cantareira System: classification and frequency of the standard-years). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(2), 457-469.
- Freitas, R. F. M. D.; Azerêdo, J. D. F. F. A. D.; Carvalho, L. T. D.; Costa, R. F. D. 2021. Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano. *revista brasileira de estudos urbanos e regionais*, 23. Disponível em: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202108pt>. Acesso em 08/06/2022.
- Garcia, J. R.; Miyamoto, B. C. B.; Maia, A. G. 2018. Eventos extremos de precipitação: identificação e análise da bacia hidrográfica do Rio Jundiá, São Paulo, Confins [En ligne], 37. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.15586>.
- HECHT, S. B.; PEZZOLI, K.; SAATCHI, S. Chapter 10. Trees have already been invented:

- carbon in woodlands. Collabra, [S. l.], v. 2, n. 1, art. 24, p.1-34, Dec. 2016. Disponível em: <https://www.collabra.org/articles/10.1525/collabra.69/>. Acesso em: 06/07/2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/ Coordenação de Geografia. 2020. Regiões de influência das cidades: 2018. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.33618>. Acesso em 07/06/2022.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / DETER. 2021. Estimativa de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal para 2021 é de 13.235 km². São José dos Campos. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias-obt-inpe/estimativa-de-desmatamento-por-corte-raso-na-amazonia-legal-para-2021-e-de-13-235-km2>. Acesso em 09/06/2022.
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em 07/06/2022.
- Júnior, L. N. 2018. O clima urbano como risco climático: contribuição da Geografia do Clima aos estudos sobre os climas das cidades. Geo UERJ, (33), 36827. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2018.36827>. Acesso em 07/06/2022.
- Kabano, P.; Lindley, S.; Harris, A. 2021. Evidence of urban heat island impacts on the vegetation growing season length in a tropical city. Landscape and urban planning, 206, 103989. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103989>. Acesso em: 09/06/2022.
- Lima, S. M. S. A., Lopes, W. G. R., Facanha, A. C. 2019. Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana 11. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180037>. Acesso em 06/06/2022.
- Luna, V. F.; Gomes, J. F.; Silva, C. C. J.; Silva, J. M. O. 2019. Ilhas de Calor na Zona Urbana do Crato-Ceará na Perspectiva do S.C.U (Sistema Clima Urbano) Sob o Nível Termodinâmico. Revista GeoUECE 8(14), 371-387.
- Mendes, M. 2020a. Mudança global do clima e as cidades no Antropoceno: escalas, redes e tecnologias. Cadernos Metrôpole, v. 22, n. 48, pp. 343-363. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2020-480>, acesso em 07/06/2022.
- Mendes, L. A. S. 2020b. A Produção do Urbano e do Imobiliário na Região Metropolitana de Belém. Confins 44. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.26489>. Acesso em 06/06/2022.
- Miranda, T. 2020. A Ilusão da Igualdade. Natureza, justiça ambiental e racismo em Belém. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Pará. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1UU9SJ131vPc3ppwhRK6FMm0xEk3gsahk/view>. Acesso em 06/06/2022.
- Nascimento Júnior, L. 2019. O Clima Urbano Como Risco Climático. Geo UERJ 34, 40956. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.40956>. Acesso em: 06/06/ 2022.
- Oliveira, K. D.; Cardoso, A. C. D. 2021. A espacialidade do modo de vida-Análise morfológica de comunidades rurais e tradicionais na região do Baixo Tocantins (PA). Novos Cadernos NAEA, 24(3). Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/9747>. Acesso em 07/06/2022.
- Pereira, C. M. P.; Cunha Júnior, A. S. 2019. Grandes Intervenções Urbanas e Impactos Socioambientais: Reflexões Sobre O Caso Do Aterro Sanitário De Marituba/Pa. Rev. de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade, Goiânia 5(1), 25-43.
- Prakash, S. 2019. Performance assessment of Chirps, Mswep, Sm2rain-Cci, and tnpa precipitation products across india. Journal of Hydrology 571, 50-59. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.036>.

Acesso em 07/06/2022.

Tachini, M.; Severo, D. L.; Dos Santos Silva, H.
2021. Análise das correlações entre as chuvas
acumuladas e os deslizamentos em Blumenau-

SC. Geosul 36(79), 457-472.

Vargas, M. C. 2019. A “crise hídrica” na grande São
Paulo (2014-2015): vulnerabilidade climática e
déficit de governança. Antropología Americana
4(8), 87-116.