

13º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2022

ANÁLISE DA DINÂMICA CLIMÁTICA NA REGIÃO NORTE DA CIDADE DE SÃO PAULO

RAQUEL DE A. GUERRINI¹, LUCIANA CAVALCANTI M. SANTOS²

¹ Estudante de Bacharelado em Engenharia de Produção, Graduada em Técnico em Logística, Membro do Grupo de Pesquisa Interdisciplinar em Meio Ambiente, Ensino, Tecnologia e Cidade (AMBIENTEC), Bolsista PIBITI, CNPq IFSP, Câmpus São Paulo Pirituba, g.raquel@aluno.ifsp.edu.br.

² Doutora em Ecologia, Líder do AMBIENTEC, Professora Efetiva, Coordenadora de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação do IFSP, Câmpus Pirituba, luciana.santos@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 2.05.03.00-8 Ecologia Aplicada

RESUMO: As alterações no estado do clima podem ser identificadas por mudanças na média e/ou na variação das suas propriedades e persistem durante uma ampla escala temporal. Considerando que os impactos causados por tais mudanças vêm aumentando nos últimos anos, especialmente nos centros urbanos, o trabalho em questão objetiva caracterizar e analisar, estatisticamente, a dinâmica de variáveis climáticas na região Norte da cidade de São Paulo, entre os anos de 1989 e 2021. Foram obtidos dados de temperatura média compensada e precipitação total por anos referentes a rede de monitoramento convencional e automática Mirante de Santana dentro do período de estudo, através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados foram transferidos para análise estatística no programa *GraphPad Prism*. Observou-se que não houve diferenças significativas de ambos os parâmetros dentro do período proposto. Também, foi possível verificar indícios de aumento da temperatura em estepes, associados a alta variabilidade da precipitação, devido ao crescimento de chuvas intensas e de rápida duração. É neste contexto que se enfatiza a criação de áreas verdes urbanas, buscando assim mitigar os impactos climáticos negativos decorrentes do aumento da temperatura, bem como da instabilidade e intensidade do sistema de precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças climáticas; temperatura; precipitação; impactos ambientais.

CLIMATE DYNAMICS ANALYSIS IN THE NORTHERN REGION OF SÃO PAULO CITY

ABSTRACT: Changes in the state of the climate can be identified by changes in the mean and/or in the variation of its properties and persist for a long period of time. Considering that the impacts caused by such changes have increased in recent years, especially in urban centers, the work in question aims to characterize and statistically analyze the dynamics of climatic variables in the North region of the city of São Paulo, between 1989 and 2021. Compensated average temperature data and total precipitation per year were obtained from the Mirante de Santana conventional and automatic monitoring network within the study period, through the website of the National Institute of Meteorology (INMET). Data were transferred for statistical analysis in the *GraphPad Prism* program. It was observed that there were no significant statistical differences in both parameters within the proposed period. It was also possible to verify evidence of an increase in temperature in steppes, associated with high variability of precipitation, due to the growth of intense and rapid rainfall. It is in this context that the creation of urban green areas is emphasized, thus seeking to mitigate the negative climate impacts resulting from the increase in temperature, as well as the instability and intensity of the precipitation system.

KEYWORDS: Climate changes; temperature; precipitation; environmental impacts.

INTRODUÇÃO

As alterações climáticas referem-se a uma mudança no estado do clima que pode ser identificada por mudanças na média e/ou na variação das suas propriedades e que persistem durante

uma ampla escala temporal. (IPCC, 2014). Pode ocorrer por meio de processos internos naturais ou forças externas, como as emissões antropogênicas de gases do Efeito Estufa (GEE) (PBMC, 2016).

Os impactos causados pelas alterações no clima já são sentidos nas grandes cidades e têm aumentado nos últimos anos. Tratando-se de áreas densamente urbanizadas, nas quais incide a formação de ilhas de calor, problemas como o aumento de temperatura, aumento no nível do mar, ilhas de calor, inundações, escassez de água e alimentos, acidificação dos oceanos e eventos extremos (PBMC, 2016) tendem a ser mais severos. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) destaca que está prevista uma maior frequência de ondas de calor nos centros urbanos, com maior intensidade e duração (PBMC, 2016). Portanto, sem a ação imediata frente à mudança do clima, a temperatura média global está projetada para aumentar mais de 3°C até o final do século XXI (PNUD, 2019). Em seu relatório especial (IPCC, 2018), o IPCC indica ainda a necessidade de manter esse aumento em valores menores de 1,5°C, pois acima desse limiar, os impactos serão muito mais intensos e difíceis de mitigar. O desenvolvimento de estratégias que busquem reduzir tais impactos depende, porém, do conhecimento acerca do comportamento climático da região em um período de tempo considerável. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo geral caracterizar e analisar, estatisticamente, a dinâmica das variáveis climáticas de precipitação e temperatura na região Norte da cidade de São Paulo, entre os anos de 1989 e 2021, a fim de verificar se houve alteração climática significativa dentro deste intervalo de tempo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo do presente trabalho compreende a região Norte da cidade de São Paulo. A fim de caracterizar e analisar a dinâmica climática do local foram obtidos dados de temperatura média compensada e precipitação total por ano, referentes ao período de 1989 a 2021, através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para tanto, considerou-se a rede de monitoramento convencional e automática Mirante de Santana (região norte da cidade de São Paulo). Os dados anuais de temperatura média e precipitação total foram transferidos para análise estatística no programa *GraphPad Prism*. A fim de avaliar o comportamento estatístico dos dados foram aplicados testes de normalidade e testes de hipótese, como a ANOVA, já definidos pelo programa *GraphPad Prism*. Dado o caráter não paramétrico dos dados, aplicou-se então o teste de Kruskal-Wallis, e adotou-se como medida de tendência central a mediana. A partir dos resultados obtidos, estabeleceu-se uma associação entre os efeitos causados pelas alterações climáticas nas cidades e a importância da criação e conservação de áreas verdes urbanas como forma de mitigá-los.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O clima, como elemento condicionador da dinâmica do meio ambiente, influencia tanto processos físicos, quanto biológicos, sendo considerado um recurso essencial para a manutenção da vida na Terra. Desde meados do século passado, porém, vem apresentando grande variabilidade, principalmente no que se refere ao comportamento de índices climáticos fundamentais, tais como temperatura e precipitação. (FERRARI; VECCHIA; COLABONE, 2012).

Primeiramente, observa-se nos Quadros I e II a estatística descritiva das variáveis precipitação e temperatura ao longo de 33 anos consecutivos, período suficiente para representar um valor médio dos parâmetros sem que a sazonalidade de fenômenos afete a amostra. O teste não paramétrico de Kruskal Wallis indicou que não houve diferença significativa nos dados de mediana de precipitação entre os anos de 1989 e 2021 ($H=10,38$, $p < 0,01$). Entretanto, quando se analisa os dados da estatística descritiva de precipitação (Quadro I), constata-se uma alta variabilidade desse parâmetro, como consequência da discrepância de valores máximos (608,0 mm) e mínimos (0,2 mm), bem como pelos elevados valores de desvio padrão. Correlacionando os dados do presente trabalho com a pesquisa realizada por Marengo et al. (2020), pode-se destacar que a intensidade e frequência de chuva derivadas do cálculo do índice pluviométrico auxiliam a determinar o grau de precipitação do local por dia. Conforme se aumenta o intervalo de tempo a ser estudado para meses ou anos, os dados tornam-se menos precisos, pois a ocorrência e distribuição da chuva, em termos temporais, não é homogênea, como evidenciado pela reportagem da Agência FAPESP (2020) que indica um aumento no número de dias com chuva forte em São Paulo (ALISSON, 2020; MARENGO et al., 2020).

Quadro I. Dados da Precipitação (em mm) por ano de 1989 e 2021, gerados pelo programa *GraphPad Prism* (Fonte: autoral)

PRECIPITAÇÃO ENTRE OS ANOS DE 1989 E 2021					
Ano	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	Desvio Padrão
1989	30,4	89,3	359,2	130,9	109,2
1990	39,2	106,9	280,7	118	73,28
1991	26,2	119,9	451,3	160,2	139,9
1992	18,6	179,1	273,7	137,4	87,98
1993	15,2	109,8	265,6	131,9	79,32
1994	1,3	111,4	311,1	118,2	104,5
1995	16,7	86,05	445,5	163,5	146
1996	7,2	124	396,8	168,6	142
1997	10	109,3	313,3	132	93,75
1998	10,1	112,5	394,2	144,2	118
1999	1,4	77,35	369,8	114,7	117,6
2000	6,3	93,2	328,3	121,7	106,9
2001	24,5	113,5	290,1	121,3	84,41
2002	1,3	109	326,5	136,9	109,6
2003	16	72,45	317,2	91,03	85,4
2004	2,7	110,4	335,6	137	107,4
2005	9,5	136	312,1	144,1	100,5
2006	6,4	83,5	607,9	163,9	178,7
2007	0	131,5	278,8	130,4	90,41
2008	0,2	94,2	304,4	130,5	92,49
2009	50,8	166,2	350	163,3	96,52
2010	1,4	100,8	482,2	152,8	142,5
2011	4,2	130,1	485,2	135,4	135,8
2012	0,6	140,1	381,4	154,7	115,9
2013	8,2	100	271,2	111,7	70,68
2014	9,8	77,2	223	109,7	83,47
2015	21,2	131,9	327,8	157,6	112,3
2016	2,4	106,4	249,8	117,4	83,34
2017	1,4	139	485,8	140,9	128
2018	11,6	88,5	256,8	100,6	85,23
2019	5	126,8	320,4	146	111,4
2020	7,4	102,4	493,8	143,8	148,9
2021	16,2	75,6	215	99,1	68,8

Quadro II. Dados da Temperatura (em °C) por ano de 1989 e 2021, gerados pelo programa *GraphPad Prism* (Fonte: autoral)

TEMPERATURA ENTRE OS ANOS DE 1989 E 2021					
Ano	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	Desvio Padrão
1989	14,97	18,83	22,94	19,27	2,75
1990	14,8	21,42	23,83	19,98	3,433
1991	17,45	20,28	22,71	20,07	1,976
1992	15,9	20,18	23,19	19,8	2,369
1993	16,22	20,96	23,18	20,02	2,626
1994	15,58	20,56	24,37	20,13	2,677
1995	17,3	20,32	23,97	20,36	2,091
1996	15,02	20,33	23,68	19,84	2,93
1997	16,55	20,31	23,95	20,41	2,373
1998	16,07	19,95	24,59	20,39	2,837
1999	16,55	18,89	23,73	19,78	2,748
2000	15,29	20,98	22,54	19,95	2,491
2001	17,27	20,97	24,06	20,68	2,585
2002	16,44	21,92	24,14	21,18	2,384
2003	16,07	20,56	25,36	20,42	2,636
2004	16,09	21,04	21,54	19,7	2,141
2005	17	20,83	22,5	20,43	1,845
2006	17,04	20,14	23,74	20,2	2,436
2007	16,12	20,48	23,79	20,36	2,422
2008	16,75	20,43	22,28	19,62	1,933
2009	15,54	19,93	23,74	20,22	2,67
2010	16,63	19,92	24,48	20,22	2,6
2011	15,76	19,84	24,05	19,86	2,598
2012	17,51	20,73	24,14	20,53	2,333
2013	16,64	19,65	23,02	19,98	2,126
2014	17,43	21,03	25,32	21,03	2,622
2015	17,89	21,35	25,14	21,09	2,271
2016	15,3	20,43	24,04	20,37	2,9
2017	16,42	20,95	24,37	20,47	2,47
2018	17	20,34	23,5	20,46	2,112
2019	16,98	21,7	25,1	21,06	2,373
2020	17,55	21,01	22,91	20,48	1,854
2021	15,72	20,24	23,95	20,1	2,519

Assim, acabam sendo pouco perceptíveis as diferenças de intensidade e sazonalidade desse parâmetro em períodos anuais, principalmente em regiões de clima tropical como o Estado de São Paulo, onde as chuvas de verão e invernos secos são comuns. Como resultado, tem-se um comportamento oscilatório da precipitação bastante aparente ao longo dos anos, que pode ser observado na Figura 1 abaixo.

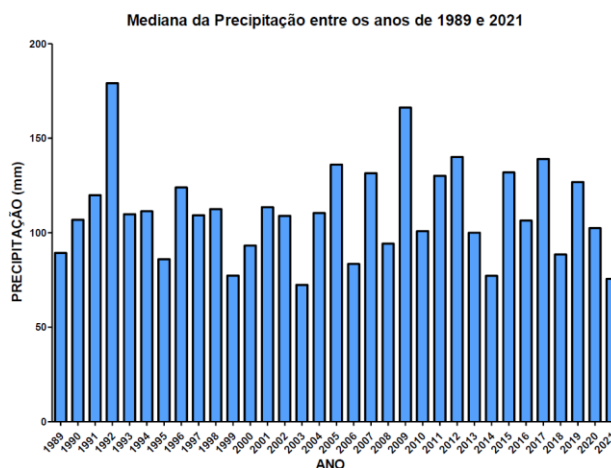


Figura 1. Mediana da Precipitação (em mm) por ano, no intervalo de 1989 a 2021. Gráfico gerado pelo Programa *GraphPad Prism*.

Pode-se verificar que houve extremos de precipitação nos anos de 1992 e 2009 (Figura 1). Após 2003, ano com menor valor de mediana, também é possível perceber que esse parâmetro variou um pouco mais acima do que os anos anteriores. Considerando que a temperatura média da Terra tem crescido gradativamente, diversos fenômenos climáticos estão saindo do seu equilíbrio natural e as oscilações deste tipo de parâmetro, antes bem determinadas, passaram a ficar cada vez mais inconstantes. O aumento de chuvas intensas de volumes acima de 100 mm, concentradas em poucos dias e com maior tempo seco entre elas, vem resultando num aumento do volume total de precipitação em São Paulo nos últimos anos.

Assim como ocorreu com a precipitação, os dados de temperatura média compensada também não indicaram diferença significativa entre os anos de 1989 e 2021 ($H=11,89$; $p<0,01$). Trata-se de um

parâmetro que apresenta pouca variabilidade se comparado com o índice de chuva, em especial quando analisado em períodos mais extensos (Quadros I e II). Enquanto os efeitos da precipitação são sentidos instantaneamente, a diferença da temperatura é percebida a longo prazo. No município de São Paulo, durante o período estudado, tal variável oscilou entre um valor mínimo de 14,80°C, em 1990, e um valor máximo de 25,36°C em 2003 (Quadro II). Pode-se identificar que as menores temperaturas mínimas estão concentradas em anos mais antigos, entre 1989 e 2004. Já temperaturas acima de 16,55°C aproximadamente estão concentradas em anos mais recentes (Figura 2, Quadro II).

Na Figura 2 é possível identificar os dois anos com as menores medianas de temperatura, mais concentrados no início do período de estudo. São eles: 1989 e 1999. Dos anos 2000 até 2013, tem-se outra faixa de valores, que parece variar um pouco mais acima da faixa anterior correspondente aos anos 90. O mesmo ocorre após 2014, sendo este intervalo o mais elevado. Numericamente, é evidente que a temperatura, diferentemente da precipitação, aumentou em degraus ao longo dos anos analisados, com uma oscilação pouco acentuada.

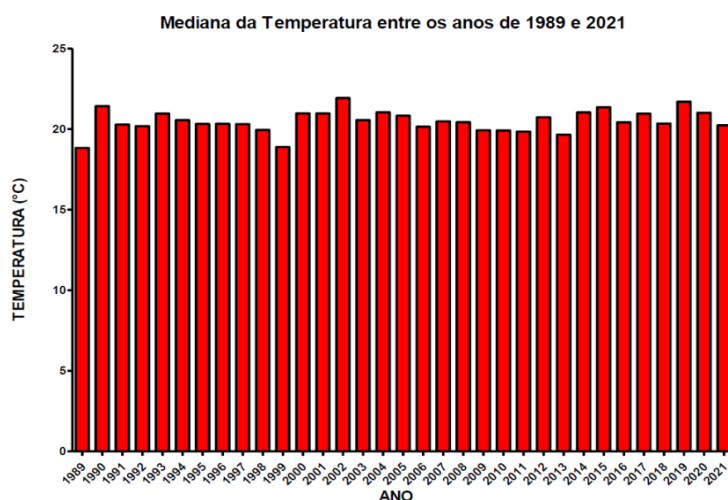


Figura 2. Mediana da Temperatura (em °C) por ano, no intervalo de 1989 a 2021. Gráfico gerado pelo Programa *GraphPad Prism*

O ano de 2003 apresentou a menor mediana de precipitação, aproximadamente 72,45 mm (Quadro I). Em contrapartida, foi o ano com a maior temperatura máxima dentro do intervalo analisado, cerca de 25,36°C (Quadro II), seguido do ano de 2014 com cerca de 25,32°C. Neste último, durante o verão, ocorreu uma das secas mais severas na cidade de São Paulo, evidenciada pelo baixo valor da mediana da precipitação (Figura 1). Trata-se de um evento anormal, considerando que o mês de Janeiro tende a ser mais úmido devido às chuvas de verão características de regiões tropicais. Ao mesmo tempo que altas temperaturas agilizam a formação de nuvens e, por natureza, de chuvas, elas também fazem com que ocorram precipitações intensas e pouco distribuídas no tempo, ocasionando enchentes e deslizamentos de terra.

O Mirante de Santana é a principal estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no município de São Paulo. Os dados utilizados no presente estudo foram provenientes dessa estação. Portanto, para a interpretação da dinâmica dos dados climáticos, também é importante considerar as características da paisagem desse local. O Mirante de Santana encontra-se na Zona Norte da cidade, que abrange diversos bairros, entre as regiões Noroeste e Nordeste. A grande quantidade de áreas verdes reflete positivamente na qualidade de vida na região. Um exemplo são as Unidades de Conservação (UCs), atrativos naturais urbanos, como o Parque da Cantareira (Nordeste), que possui uma das maiores áreas de mata tropical nativa do mundo situada em uma região metropolitana e o Parque Estadual do Jaraguá (Noroeste), que além de abrigar um dos últimos remanescentes de Mata Atlântica, também contém o ponto mais alto da cidade: o Pico do Jaraguá (GUIAZN, 2020). Já o Horto Florestal, conhecido como Parque Estadual Alberto Lofgren (Nordeste), é um dos maiores do país e a primeira grande área de preservação da cidade de São Paulo (GALL, 2019). Portanto, a ausência de registro de significativas nos parâmetros climáticos dentro do período estudado nessa área pode estar associada à qualidade ambiental da paisagem com presença de importantes áreas verdes.

Dado os impactos climáticos negativos decorrentes do aumento da temperatura, bem como da instabilidade e intensidade do sistema de precipitação, é que se enfatiza a criação de áreas verdes, principalmente nas áreas mais urbanizadas. A ação visa não somente mitigar os efeitos causados pela mudança brusca do clima, mas também conscientizar a população da importância da preservação e conservação ambiental no atual contexto.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos a partir da análise estatística pôde-se constatar que não houve diferenças estatisticamente significativas dos parâmetros de precipitação e temperatura dentro do período proposto. Também foi possível verificar indícios de aumento da temperatura em estepes, através dos valores das medianas de cada ano e dos valores máximos e mínimos atingidos, podendo associá-los a alta variabilidade da precipitação presente dentro do intervalo de tempo estudado. Esse comportamento oscilatório das chuvas mostra-se bastante evidente nos gráficos, e é corroborado pela literatura que indica um aumento na frequência de chuvas intensas e de rápida duração. Responsáveis por caracterizar grande parte da dinâmica climática de determinado local, ambos os parâmetros estão diretamente relacionados, logo, devem ser tratados concomitantemente na mitigação dos efeitos negativos decorrentes das mudanças do clima.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSP - Campus Pirituba, pelo suporte para realização da pesquisa, bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de Bolsa de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) ao autor.

REFERÊNCIAS

ALISSON, Elton. Número de dias com chuva forte cresceu em São Paulo nas últimas sete décadas. **Agência FAPESP**, 06, mar, 2020. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/numero-de-dias-com-chuva-forte-cresceu-em-sao-paulo-nas-ultimas-sete-decadas/32683/>. Acesso em: 30 jul. 2022.

CONHEÇA 18 Parques da Zona Norte de São Paulo. **GuiaZN**, 2020. Disponível em: <https://guiazn.net/parques/>. Acesso em: 30 jul. 2022.

FERRARI, Antonio Luiz; VECCHIA, Francisco Arthur da Silva; COLABONE, Rosângela de Oliveira. Tendência e Variabilidade anuais da temperatura e da pluviosidade em Pirassununga - SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, vol.10, n.8, p.30-46, jan./jun. 2012. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/30585>. Acesso em: 04 fev.2022.

GALL, Joana. Horto Florestal e a importância de sua preservação. **Agro2.0**, 2019. Disponível em: <https://agro20.com.br/horto-florestal/>. Acesso em: 30 jul. 2022.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 04 fev.2022.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2018. Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: World Meteorological Organization.

MARENGO, J.A., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Young, A., Barreto, N.J.C. and Ramos, A.M. (2020), Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1472: 5-20. <https://doi.org/10.1111/nyas.14307>.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2016. Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: UFRJ, PBMC, COPPE.

PNUD. 2019. Plataforma Agenda 2030. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/ods/13/>. Acesso em: 07 de janeiro de 2019.