

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

A DINÂMICA CLIMÁTICA NA REGIÃO NOROESTE DA CIDADE DE SÃO PAULO: UMA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA DO AR E SEU REFLEXO NO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS ÁREAS VERDES URBANAS

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: Os impactos das mudanças climáticas são sentidos nos centros urbanos e vêm aumentando nos últimos anos, caracterizando-se principalmente pelo aumento de temperatura, ilhas de calor e inundações. As áreas verdes possuem um papel fundamental na geração de cidades sustentáveis, sendo uma estratégia para adaptação aos efeitos das mudanças climáticas. Este projeto visa avaliar se há uma correlação entre as variáveis climáticas de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, na região noroeste da cidade de São Paulo, entre 1989 e 2021. Para caracterização da dinâmica climática, dados das variáveis climáticas foram obtidos do Banco de Dados Meteorológicos. Foram realizadas análises de correlação estatística de Spearman entre as variáveis climáticas no programa *Graph Pad Prism*. Constatou-se que há correlação positiva e em diferentes graus para cada par de variáveis dentro do período proposto, sendo o par precipitação x temperatura o que apresentou maior coeficiente. Assim, dado os impactos climáticos negativos decorrentes do aumento da temperatura, bem como da instabilidade e intensidade do sistema de precipitação, é que se destaca a importância de áreas verdes, principalmente nas áreas mais urbanizadas

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças climáticas; áreas verdes; correlação; conservação; variáveis climáticas

CLIMATE DYNAMICS IN THE NORTHWEST REGION OF THE CITY OF SÃO PAULO: A CORRELATION ANALYSIS BETWEEN TEMPERATURE, PRECIPITATION AND RELATIVE AIR HUMIDITY AND THEIR IMPACT ON THE CONSERVATION STATE OF URBAN GREEN AREAS

ABSTRACT: The impacts of climate change are being felt in urban centers and have been increasing in recent years, primarily characterized by rising temperatures, heat islands, and flooding. Green areas play a fundamental role in creating sustainable cities, serving as a strategy for adapting to the effects of climate change. This project aims to assess whether there is a correlation between climatic variables of precipitation, temperature, and relative humidity in the northwest region of São Paulo from 1989 to 2021, as well as their impact on the conservation status of urban green areas. To characterize the climatic dynamics, data on climatic variables were obtained from the Meteorological Database. To evaluate the impact on the conservation status of urban green areas, Spearman's statistical correlation analyses were performed between the climatic variables. It was found that there is a positive correlation, to varying degrees, for each pair of variables within the proposed period, with the precipitation x temperature pair showing the highest coefficient. Thus, given the negative climatic impacts resulting from increased temperature, as well as the instability and intensity of the precipitation system, there is a strong emphasis on creating green areas, especially in more urbanized areas.

KEYWORDS: Climate change; Green áreas; Correlation; Conservation; Climatic variables

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 um longo período de tempo (IPCC, 2014). A comunidade de pesquisa científica internacional sobre o clima aponta que as emissões antropogênicas de Gases do Efeito Estufa (GEE) são provavelmente a principal causa do aumento da temperatura desde meados do século XX (PBMC, 2016). Os principais problemas envolvendo mudanças climáticas e cidades são 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). Sem a ação imediata frente à mudança do clima, a temperatura terrestre está projetada para aumentar mais de 3°C até o final do século XXI (PNUD, 2019). Em seu relatório mais recente o IPCC verificou que, segundo cenário atual, há mais de 50% de chance de a temperatura global atingir ou ultrapassar 1,5°C entre 2021 e 2040 (Boehm e Schumer, 2023).

Nas grandes cidades, deve-se considerar que os efeitos da mudança do clima devem ser mais severos, pois se tratam de áreas densamente urbanizadas, nas quais incide a formação de ilhas de calor (Voogt e Oke, 2003; Venhari et al., 2017). Nesse cenário, nas últimas décadas, muitos estudos propuseram a criação de diferentes tipos de áreas verdes urbanas como um método para mitigar o aumento das temperaturas nas cidades (Venhari et al., 2017; Turhan e Akkurt, 2018). As áreas verdes possuem um papel fundamental na geração de cidades mais sustentáveis, sendo uma estratégia rápida e barata para adaptação das cidades aos efeitos das mudanças climáticas. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar se há uma correlação entre as variáveis climáticas de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, tomando como base a análise da dinâmica climática na região noroeste da cidade de São Paulo, entre os anos de 1989 e 2021.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados mensais de umidade relativa do ar (UR), temperatura e precipitação foram obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Após coletados, foram tabulados em planilhas do *Excel* e transferidos para análise estatística no programa *GraphPad Prism*. Gerou-se tabelas com os dados médios anuais para caracterização de sua variação ao longo do tempo

No programa indicado, foram realizadas as análises de estatística descritiva dos dados, bem como a aplicação de testes de normalidade, que indicaram a natureza não paramétrica das variáveis analisadas. Foram realizadas análises de correlação simples entre as variáveis climáticas, pelo cálculo do coeficiente de correlação de Spearman, considerando a estatística não-paramétrica, pois são dados não normais e heterocedásticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as análises desta pesquisa, foi considerada a natureza não paramétrica dos dados de precipitação, umidade relativa do ar e temperatura. Diante do exposto, o coeficiente de correlação de Spearman é o que melhor se enquadra para a análise desse tipo de dados. Em relação à análise de correlação das variáveis climáticas, foram abordados todos os 33 anos (1989-2021) para a correlação entre precipitação e temperatura e 31 anos (1989-2019) para UR e precipitação e UR e temperatura, pois devido à falta de registros em 2020 e 2021 para UR, não considerou os dados destes mesmos anos.

A temperatura nas análises representa a variável a ser observada (variável dependente), uma vez que mudanças climáticas são avaliadas e medidas através dos valores desse parâmetro ao longo do tempo. Nos gráficos de dispersão, a temperatura está localizada no eixo y. Já no eixo x, tem-se as variáveis independentes - precipitação e UR - que podem ou não influenciar os resultados de temperatura.

Correlação entre precipitação e temperatura

Na análise de correlação entre precipitação e temperatura, os resultados indicam que há relação estatística significativa entre as variáveis, com base no nível de significância (alpha) de 0,05. O coeficiente de Spearman r foi o maior, dentre as 3 correlações realizadas, sendo igual a 0,6736. O intervalo de confiança adotado foi de 95% (0.6141 a 0.7255) para o coeficiente r . Foi utilizada a regressão não linear polinomial de 2º grau ($R^2= 0,3985$) para se traçar a curva de tendência. O gráfico de dispersão está apresentado na Figura 1 abaixo.

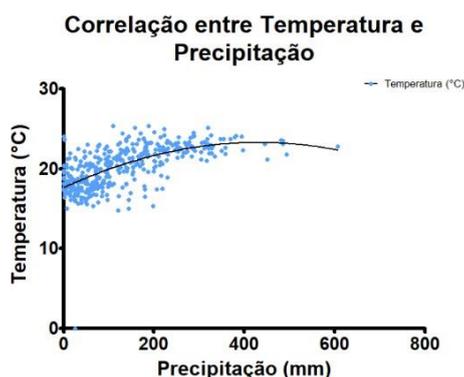


FIGURA 1. Análise de correlação entre Temperatura e Precipitação. Gráfico gerado pelo Programa *GraphPad Prism*.

Um coeficiente de correlação de Spearman de 0,6736 indica uma correlação positiva moderada para forte entre as variáveis precipitação (eixo x) e temperatura (eixo y). Em outras palavras, conforme aumenta o índice de chuvas, a temperatura tende a aumentar também, o que é característico do clima tropical da área de estudo. No caso dessa análise, a temperatura variou entre 14,8°C e 25,3°C. Percebe-se no gráfico que há maior concentração de pontos acima da curva de tendência, e em maior quantidade em níveis baixos de pluviosidade. Conforme a precipitação aumenta, crescem os valores de temperatura de forma linear, ao mesmo tempo que ficam mais dispersos. A partir de 255mm, nota-se uma estabilidade da temperatura, que passa a variar de 20°C a 25°C para maiores níveis de pluviosidade.

Com o aumento das temperaturas globais, a evaporação da água tende a aumentar, ocasionando uma maior disponibilidade de vapor d'água na atmosfera. A partir disso, há uma intensificação dos ciclos de precipitação, resultando em eventos de chuva mais frequentes e extremos em temperaturas mais quentes (IPCC, 2021), como evidenciado no gráfico da figura 1.

Embora exista uma tendência clara de que maiores índices de pluviosidade estão associados a temperaturas mais elevadas, alguns pontos de *outliers* observados podem estar associados a outros parâmetros como o grau de desenvolvimento da vegetação e umidade relativa do ar.

Correlação entre umidade relativa do ar e temperatura

Para a correlação entre temperatura e umidade relativa do ar, com um intervalo de confiança de 95% (0.04523 à 0.2500) e 372 pares de dados, o coeficiente de Spearman resultou em $r = 0,1492$ indicando que há uma correlação positiva fraca entre essas duas variáveis. O gráfico evidencia a concentração dos pontos em uma umidade entre 60% e 85%, resultado que corrobora ao clima subtropical úmido - com um inverno seco e verão chuvoso - característico da região analisada. As áreas com alta umidade do ar, como é o caso de São Paulo, experimentam uma menor amplitude térmica do que as áreas em que a umidade do ar é baixa. A média da temperatura é aproximadamente 20°C para uma umidade que varia a níveis elevados, como mostra a figura 2.

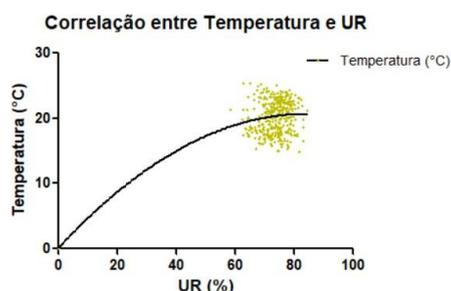


FIGURA 2. Análise de correlação entre Temperatura e Umidade Relativa do ar (UR). Gráfico gerado pelo Programa *GraphPad Prism*.

O gráfico acima indica que, à medida que a umidade relativa aumenta, a temperatura inicialmente sobe até certo ponto - em torno de 70% de UR -, mas depois tende a estabilizar ou diminuir levemente. Isso é consistente com o fato de que ambientes com alta umidade tendem a ter um efeito

regulador na temperatura, reduzindo picos extremos. Vale destacar aqui o efeito ambivalente da UR no clima. Considerando que a capacidade de retenção de vapor d'água do ar cresce exponencialmente com a temperatura, mesmo com a umidade absoluta (quantidade de água presente no ar) aumentando, a umidade relativa pode permanecer estável ou até diminuir em áreas mais quentes. Essa relação também influencia diretamente o clima, pois o vapor d'água é o principal gás de efeito estufa natural e age como um amplificador do aquecimento global, ou seja, um efeito de retroalimentação (feedback) positivo que explica a sensibilidade da temperatura as mudanças de concentração de CO₂ (Skeptical Science, 2016).

Correlação entre precipitação e umidade relativa do ar

A correlação entre essas duas variáveis, assim como as outras, também mostrou significância estatística. Com um intervalo de confiança de 95% (0.3889 à 0.5516), para 372 pares de dados, o coeficiente de Spearman $r = 0,4743$ indicou a existência de uma correlação positiva moderada entre precipitação e UR.

O gráfico da figura 3 apresenta similaridade com o gráfico da figura 2, no que diz respeito aos valores de UR variando entre 60% e 80%. Num primeiro momento, observa-se uma dispersão razoável, especialmente nos valores mais baixos de precipitação, onde há uma grande variação de UR. À medida que a precipitação aumenta (acima de 200 mm), a variação na UR passa a diminuir e os pontos se concentram mais em torno da curva de tendência, como mostra a Figura 3. Isso pode ser atribuído a um fenômeno de saturação, no qual após uma certa quantidade de precipitação, a umidade do ar já está alta e não se altera muito mais com a chuva adicional.

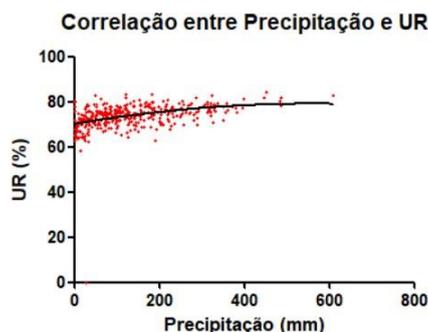


FIGURA 3. Análise de correlação entre Precipitação e Umidade Relativa do ar (UR). Gráfico gerado pelo Programa *GraphPad Prism*.

Com as mudanças climáticas, espera-se que haja uma intensificação dos extremos climáticos. Em algumas regiões, eventos de precipitação intensa podem se tornar mais frequentes, o que impacta diretamente a umidade relativa. Regiões tropicais, como o Sudeste do Brasil, podem experimentar eventos de chuva intensa seguidos por períodos de seca, alterando a dinâmica de umidade e precipitação. O aumento da temperatura global contribui para mais evaporação e ciclos mais rápidos de precipitação, o que pode explicar por que a UR tende a se estabilizar após altos níveis de precipitação (Muller e O'Neill, 2006). Portanto, as análises descritas acima são fundamentais para detecção de mudanças no padrão do clima.

CONCLUSÕES

As análises de correlação de Spearman revelaram que existe uma associação positiva significativa entre as variáveis climáticas, sendo moderada para forte entre precipitação e temperatura, moderada entre UR e precipitação, e fraca entre UR e temperatura, com r igual a 0,6736; 0,4743 e 0,1492 respectivamente. Um coeficiente maior para a relação entre temperatura e precipitação está em consonância com a literatura sobre mudanças climáticas, que sugere que o aumento das temperaturas globais está associado a alterações nos padrões de precipitação. O resultado de ciclos mais rápidos de precipitação pode explicar a estabilização de UR após altos níveis de chuvas. Além disso, devido ao clima subtropical úmido característico da região analisada, há recorrência de eventos de chuva intensa seguidos por período de seca, o que altera a dinâmica de umidade e precipitação e, conseqüentemente, da temperatura local. Dado os impactos climáticos negativos decorrentes do aumento da temperatura,

bem como da instabilidade e intensidade do sistema de precipitação, -uma alternativa para mitigação desses problemas é 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.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

A primeira autora, aluna orientanda, foi responsável por toda a análise e discussão dos dados. Enquanto a segunda autora, professora orientadora, foi responsável pelo fornecimento do banco de dados, orientar o projeto e realizar a correção final. Ambas autoras revisaram o trabalho final e aprovaram a submissão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Pirituba e ao CNPQ por conceder a bolsa de iniciação científica (PIBITI)

REFERÊNCIAS

BOEHM, Sophie; SCHUMER, Clea. 10 Big Findings from the 2023 IPCC Report on Climate Change, WORLD RESOURCES INSTITUTE, 20 mar.2023 Disponível em:

<https://www.wri.org/insights/2023-ipcc-ar6-synthesis-report-climate-change-findings>. Acesso em: 24 mai.2023.

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.

MULLER, R.; O'NEILL, B. C. The effect of land surface changes on climate variability. *Journal of Climate*, v. 19, n. 15, p. 3816-3829, 2006. Disponível em:

<https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/19/15/jcli3816.1.xml>. Acesso em: 08 ago 2024.

IPCC (2021). *Sixth Assessment Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: IPCC.

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.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3): 370-384.

SKEPTICAL SCIENCE. *Skeptical Science - Translation of "A climate sceptic's guide to the IPCC"*. Disponível em: <https://skepticalscience.com/translation.php?a=19&l=10>. Acesso em: 08 ago 2024

TURHAN, C.; AKKURT, G. 2018. Mitigation of urban heat island effect through nature-based solutions: H2020 Urban GreenUp Project. IV. International Anadolu Energy Symposium. 18-20 April 2018, Trakya University, Edirne, 2018.

VENHARI, A. A.; TENPIERIK, M.; HAKAK, A. M. 2017. Heat mitigation by greening the cities, a review study. *Environment, Earth and Ecology*, 1(1): 5-32

