

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NA CIDADE DE SÃO PAULO DESDE OS ANOS 1940.

Caio H. R. Santos¹ (IC), Marcelo de P. Corrêa (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá.

Este estudo analisou a variabilidade da incidência de radiação ultravioleta (UV) na cidade de São Paulo entre 1940 e 2024, usando dados fornecidos pelo *Copernicus Data Space Ecosystem*. A análise estatística envolveu a avaliação da série temporal, tendências (lineares e média móvel) e distribuição de doses por década. Os resultados mostram um aumento significativo na incidência de radiação UV, mais evidente nas últimas décadas. Essa tendência crescente representa grande potencial de impacto na saúde da população de São Paulo, incluindo o aumento de doenças oculares e doenças na pele, ressaltando a necessidade de medidas e políticas públicas preventivas.

Palavras-chave: Variação climática; Dermatopatias; Raios solares; Capital paulista.

Introdução

A radiação ultravioleta (UV) é uma parte do espectro eletromagnético que, embora invisível ao olho humano, interage diretamente com o ambiente e organismos vivos. Varia de 0,1 a 0,4 μm e é subdividida em UV-A (0,315 a 0,40 μm), UV-B (0,28 a 0,315 μm) e UV-C (0,1 a 0,28 μm). Enquanto a UV-C é toda absorvida pela camada de ozônio, a UV-A e UV-B atingem a superfície, causando efeitos biológicos (WHO, 2003). A longa exposição à radiação UV tem sido constantemente associada a danos na saúde, especialmente na ocular e da pele. No que tange à saúde ocular, a radiação UV é um fator de risco conhecido para o desenvolvimento de condições como catarata, uma das principais causas de cegueira reversível globalmente, degeneração macular relacionada à idade (DMRI), que afeta a visão central, e pterígio, um crescimento anormal da conjuntiva sobre a córnea. Além dos olhos, a pele é o órgão mais exposto e vulnerável. A radiação UV é o principal fator ambiental para o desenvolvimento de câncer de pele, incluindo melanoma e carcinomas basocelulares e espinocelulares, além de contribuir para o envelhecimento precoce da pele e outras dermatoses. Neste contexto, este estudo visa observar a tendência da incidência de radiação UV em São Paulo a partir de métodos estatísticos, baseados em dados obtidos no *Copernicus Data Space Ecosystem* (<https://cds.climate.copernicus.eu/>).

Metodologia

Para realizar esse estudo, foram utilizados dados de

doses de radiação solar incidente na cidade de São Paulo/SP, fornecidos pelo *Copernicus Data Space Ecosystem* (<https://cds.climate.copernicus.eu/>), utilizando a variável Downward UV radiation at the surface. Esses dados abrangem o espectro de 0,20 a 0,44 μm , representando a faixa de radiação ultravioleta (UV) e parte da luz azul no espectro eletromagnético, e são expressos em watts por metro quadrado (W/m^2). A resolução espacial dos dados é de 0,25° (dados disponíveis a cada 25 km, aproximadamente) e cobrem o período de 1940 até 2024. Para o processamento e a análise dos dados obtidos, além da geração de imagens e a análise estatística, foram utilizados scripts em Python. As imagens geradas têm foco na análise estatística da série temporal da dose de radiação UV e a distribuição de doses de radiação UV por décadas.

Resultados e discussão

A figura 1 mostra a série temporal das doses de radiação UV na cidade de São Paulo, em que há dados num período de 85 anos (1940-2024).

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

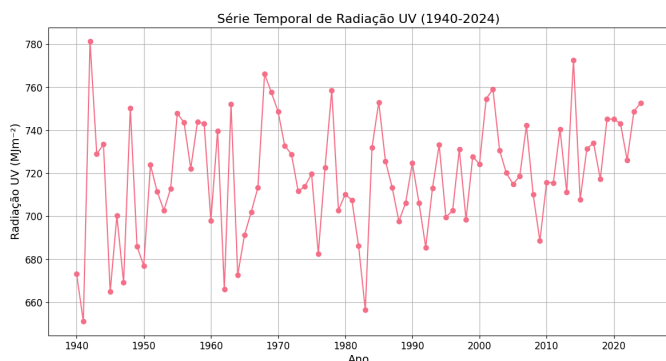


Figura 1 – Série Temporal de Radiação UV

A tendência linear da radiação UV (figura 2) mostra um aumento significativo desde o início do período analisado até o seu fim, especificamente quando analisamos a última metade dos dados (1983-2024) e as últimas duas décadas (2004-2024), indicando um padrão de aumento cada vez maior. A análise da tendência por média móvel (5 anos), ilustrada na figura 2, suaviza as flutuações anuais e destaca a tendência de longo prazo de aumento da radiação UV. Observa-se que, após um período de relativa estabilidade ou pequenas variações nas primeiras décadas, a curva da média móvel demonstra uma elevação mais consistente a partir da segunda metade do século XX.

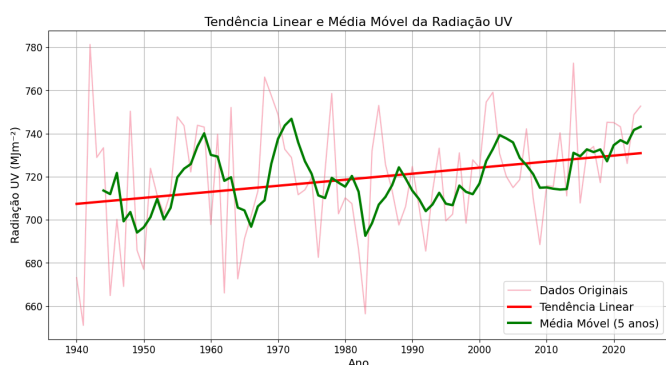


Figura 2 – Tendência e Média Móvel da Radiação UV

A análise de regressão linear para a região de São Paulo mostrou aumento de $0.28 \text{ Jm}^{-2}/\text{ano}$ na dose de radiação UV ao longo do período estudado. O Teste de Mann-Kendall resultou em valor-p igual a $0,0225$, confirmando uma tendência estatisticamente significativa e monotônica crescente na dose de radiação UV para a região de São Paulo ao longo do período de 1940 a 2024. A Figura 2 ilustra a tendência linear geral da radiação UV para o período completo. A investigação da tendência em subperíodos revelou dinâmicas distintas

na incidência de radiação UV. Para a Primeira Metade (1940-1982), a inclinação da regressão linear foi de $0,3398 \text{ Jm}^{-2}/\text{ano}$. valor-p do Teste de Mann-Kendall foi de $0,4511$, indicando que a tendência observada não é estatisticamente significativa para este período. Na Segunda Metade (1983-2024), a inclinação aumentou significativamente para $0.7708 \text{ Jm}^{-2}/\text{ano}$ e o valor-p foi de $0,0105$, o que demonstra uma tendência estatisticamente significativa e crescente. Isso sugere que o aumento na radiação UV se intensificou na segunda metade do período de estudo. A análise mais recente, referente às últimas 2 Décadas (2004-2024), mostrou a inclinação mais acentuada, atingindo $1,5985 \text{ Jm}^{-2}/\text{ano}$ e o valor-p foi de $0,0171$, confirmando uma tendência crescente e estatisticamente significativa. Este resultado é particularmente relevante, pois indica uma aceleração no aumento da radiação UV nos anos mais recentes, o que pode ter implicações mais imediatas para a saúde da população. A Figura 3 mostra o boxplot da variação decadal da dose de radiação UV. Observa-se redução da variabilidade e tendência de aumento nas medianas e nos quartis superiores das doses de radiação UV ao longo das décadas, especialmente a partir da segunda metade do século XX, reforçando que a cada ano, se tornou mais comum termos doses mais elevadas de radiação UV em São Paulo.

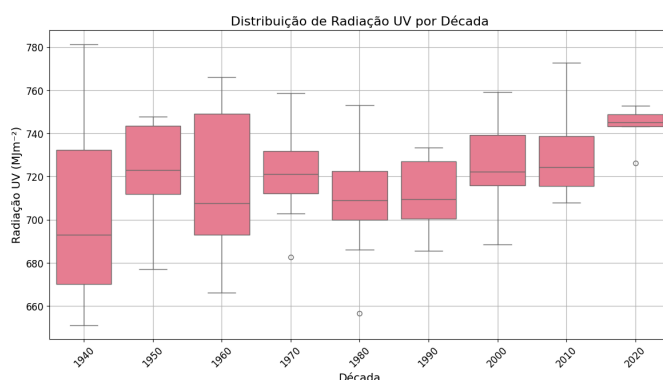


Figura 3 – Distribuição de Radiação UV por Década (1940-2024)

Conclusões

Este estudo mostrou que as doses de radiação UV observadas na cidade de São Paulo aumentaram ao longo do período estudado. As análises de regressão linear e o Teste de Mann-Kendall confirmam essa tendência crescente, com aumento significativo nas duas últimas décadas (2004-2024). Esses resultados mostram que a população de São Paulo tem sido exposta a níveis

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

cada vez mais altos de radiação UV ao longo do tempo, o que contribui para diversos riscos, principalmente à saúde ocular da pele. Doenças como a catarata, degeneração macular relacionada à idade e pterígio, além de câncer de pele, envelhecimento precoce e outras dermatoses podem se tornar ainda mais recorrentes. A continuidade desse estudo deve contemplar a avaliação do conteúdo total de ozônio, presença de poluentes e cobertura de nuvens para que possamos explicar o aumento observado. Além disso, pretende-se analisar dados epidemiológicos de doenças relacionadas à exposição UV para verificar a possível correlação com o aumento da incidência.

Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo suporte institucional e estrutural e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro via bolsa de pesquisa.

Referências

GILBERT, R. O. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Ultraviolet radiation and health. Geneva: WHO, 2003. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation-and-health>. Acesso em: 21 ago. 2025.

AMERICAN ACADEMY OF OPHTHALMOLOGY. UV Radiation and Your Eyes. Disponível em: <https://www.aao.org/eye-health/tips-prevention/uv-radiation-your-eyes>. Acesso em: 21 ago. 2025.

SKINCANCER.ORG. The Dangers of UV Radiation. Disponível em: <https://www.skincancer.org/risk-factors/uv-radiation/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

NATIONAL EYE INSTITUTE (NEI). Cataract. Disponível em: <https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/cataracts>. Acesso em: 22 ago. 2025.

NATIONAL EYE INSTITUTE (NEI). Age-related Macular Degeneration (AMD). Disponível em: <https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/age-related-macular-degeneration-amd>. Acesso em: 22 ago. 2025.

COPERNICUS. Copernicus: European Union's Earth Observation Programme. Disponível em: <https://www.copernicus.eu/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

Tips & Prevention - American Academy of Ophthalmology. Disponível em: <https://www.aao.org/eye-health/tips-prevention/uv-radiation-your-eyes>.