XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Medição e Monitoramento de Radiação UV: Uma proposta para utilização de equipamento de baixo custo

Medición y Monitoreo de Radiación UV: Una propuesta para el uso de equipos de bajo costo

Measurement and Monitoring of UV Radiation: A Proposal for the Use of Low-Cost Equipment

Clima e Planejamento Urbano

Leal, Lilianne de Queiroz
Doutora, UFCG, Campina Grande/PB, Brasil, lilianne.queiroz@professor.ufcg.edu.br

Leder, Solange Maria
Doutora, UFPB, João Pessoa/PB, Brasil, solangeleder@yahoo.com.br

Pedrini, Aldomar
Doutor, UFRN, Natal/RN, Brasil, aldomarpedrini@ufrn.br

Silva, Francisco Raimundo da
Doutor, INPE, Natal/RN, Brasil, fraimundo@crn.inpe.br

Resumo

O monitoramento da radiação UV é essencial para avaliação dos riscos à saúde, especialmente em áreas urbanas, onde a radiação sofre influência de elementos construídos (edificações) e naturais (vegetação). O artigo tem como objetivo comparar o desempenho de um equipamento de medição de radiação ultravioleta de baixo custo com um equipamento de referência, avaliando a viabilidade no monitoramento em espaços urbanos. Foi desenvolvido um modelo de regressão polinomial entre o Índice Ultravioleta (IUV) e o equipamento de baixo custo, o qual apresentou baixos erros e boa aderência aos valores de referência. Os resultados indicaram que sensores acessíveis, quando calibrados, podem oferecer monitoramento representativo da radiação UV em diversos contextos. A pesquisa destaca a importância de dispositivos portáteis de baixo custo e sugere a integração com tecnologias para aprimorar a confiabilidade dessas medições.

Palavras-chave: Radiação UV. Medições. Calibração. Baixo custo.

Resumen

El monitoreo de la radiación UV es esencial para evaluar los riesgos para la salud, especialmente en áreas urbanas, donde la radiación está influenciada por factores como edificaciones y vegetación. El presente artículo tiene como objetivo comparar el desempeño de un dispositivo de medición de radiación UV de bajo costo con un equipo de referencia, evaluando su viabilidad para el monitoreo en contextos urbanos. Se desarrolló un modelo de regresión polinómica entre el Índice Ultravioleta (IUV) y el equipo de bajo costo, el cual presentó bajos errores y una buena adherencia a los valores de referencia. Los resultados indican que los sensores accesibles, cuando son calibrados, pueden ofrecer monitoreos representativos de la radiación UV. La investigación destaca la importancia de dispositivos portátiles de bajo costo y sugiere la integración con nuevas tecnologías para mejorar la confiabilidad de estas mediciones.

Palabras clave: Radiación UV. Mediciones. Calibración. Bajo costo.

Abstract

The monitoring of UV radiation is essential for assessing health risks, especially in urban areas, where radiation is influenced by factors such as buildings and vegetation. The aim of this article is to compare the performance of a low-cost UV radiation measuring device, evaluating its feasibility for monitoring in urban environments. A polynomial regression model was developed between the Ultraviolet Index (UVI) and the low-cost equipment, which showed low errors and good adherence to reference values. The results indicate that affordable sensors, when calibrated, can provide representative UV radiation. The research highlights the importance of portable, low-cost devices and suggests integrating them with emerging technologies to improve the reliability of these measurements.

Keywords: UV radiation. Measurements. Calibration. Low cost.

1. Introdução

De comprimento de onda curta (entre 100 e 400 nm), a radiação ultravioleta (UV) faz parte do espectro eletromagnético classificada em três faixas: UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm) e UVC (100–280 nm). A banda UVC e aproximadamente 90% da UVB são absorvidas pela camada de ozônio e elementos da atmosfera superior, como na estratosfera. A banda UVA compõe o maior espectro que atinge a superfície da Terra, com mínimo impacto de componentes atmosféricos (van der Leun, 2004, EPA, 2024). Responsável pelas transformações biológicas e fotoquímicas no corpo humano, os raios UV estabelece um papel fundamental para a saúde, com ações permanentes causadas pela exposição casual ou excessiva (WHO, 2002). Com propriedades mutagênicas e cancerígenas, a exposição demasiada é um fator recorrente que, muitas vezes, se desconhece os riscos associados, como danos ao DNA da pele, na forma de eritema ou queimaduras (Mullenders, 2018), em casos mais graves, em câncer (Autier; Doré, 2020, Benvenuto-Andrade *et al.*, 2005; Silva, 2016) e nos olhos (Delcourt *et al.*, 2014).

Eritema solar, conhecido como queimadura de sol, é um tipo de reação inflamatória que ocorre na pele após exposição excessiva a raios UV. A ação espectral do eritema abrange comprimentos de ondas curtos na porção UVB da faixa 280 a 320nm e, já na porção UVA, a resposta é mais evidente com decréscimo gradativo até 400nm. A irradiância eritematosa é um parâmetro para avaliação dos níveis de UV na pele representado pelo Índice Ultravioleta (IUV). O IUV foi estabelecido como padrão internacional pela Organização Mundial da Saúde com diretrizes para exposição solar segura. Este índice é dividido em cinco categorias: IUV inferior a 2, IUV entre 3 e 5, IUV entre 6 e 7, IUV entre 8 e 10 e IUV acima de 10 (11+) denominadas de risco baixo, sem necessidade de proteção; moderado; alto; muito alto e extremo, respectivamente (Tang et al., 2024; EPA, 2004; WHO, 2002).

Quanto ao monitoramento de radiação UV, a resolução fornecida por estações meteorológicas e satélites é insuficiente para descrever a variabilidade espacial que ocorre em locais com maior grau de complexidade, como os espaços urbanos. As características típicas de uma cidade, como gabarito dos edifícios, sombreamento arbóreo, refletividade das superfícies e albedo, resultam em incidência de radiação extremamente complexa, que não é descrito pelas medições convencionais de radiação (Parisi et al., 1999; Grant et al., 2002; Gies et al., 2007). Nesse contexto, o desenvolvimento de dispositivos portáteis e com menor custo de aquisição é uma necessidade, sobretudo para alcançar um monitoramento mais representativo da radiação solar em áreas urbanas (Pramono, 2020; Serrano, 2022).

Sensores UV de baixo custo vem sendo desenvolvidos com intuito de oferecer possibilidades para o aprimoramento de dispositivos portáteis, favorecendo o monitoramento dinâmico da radiação UV com estações móveis. Diferentes métodos de detecção de UV são desenvolvidos, tais como o uso de fibra ótica (Joža, 2012) e módulos de fotodiodos com saída analógica (Serrano, 2022). Neste sentido, este estudo investiga a possibilidade de utilização de um dispositivo compacto, portátil e de baixo custo adequado para monitoramento da radiação solar UV. Assim, o artigo tem como objetivo comparar o desempenho de um equipamento de medição de radiação ultravioleta de baixo custo com um equipamento de referência, avaliando sua viabilidade para aplicação no monitoramento e medição em diferentes contextos.

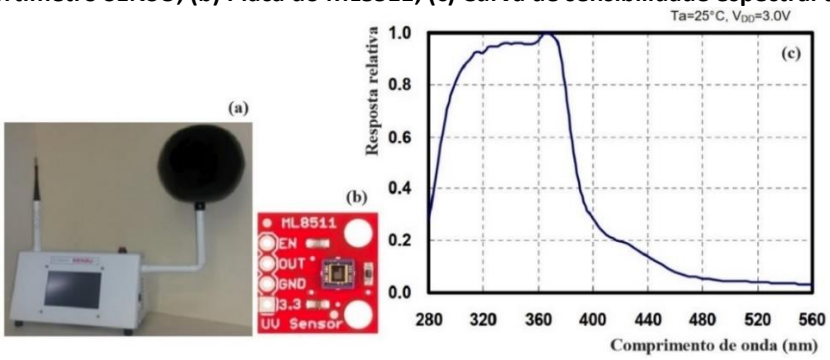
2. Materiais e métodos

2.1. Instrumentos de medição

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, um sensor de radiação UV de baixo custo, em conjunto com um microcontrolador Arduino, foi acoplado no Confortímetro da marca SENSU, desenvolvido pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas dos Materiais – LMPT/UFSC. O sensor ML8511 (LAPIS, 2013; Serrano; Abril-Gago; García-Orellana, 2022) possui um fotodiodo sensível às faixas UVA e UVB e um circuito interno de saída analógica e tensão linearmente relacionada à intensidade UV. A função espectral abrange faixas de 280 a 400nm, com picos entre 308 e 376 e máxima em 365nm. Esta adaptação permitiu que o instrumento SENSU, que originalmente se destinava a medições para outras variáveis climáticas, realizasse também estimativas de radiação UV banda larga. O ML8511 é um sensor 100% aberto, protegido apenas por uma camada de resina. Esta característica limita sua utilização em condições de céu encoberto ou com possibilidade de chuvas (Lapis, 2013; Lapis; Rohm, 2013).

De pequena dimensão, é adequado para medições em ambientes internos e externos, utilizado para cálculo de Índice Ultravioleta (Zhang *et al.*, 2013) e efeitos da radiação UV em materiais (Wijatna *et al.*, 2019). O sensor ML8511 no SENSU registra os dados armazenados em unidade USB acoplada no instrumento na unidade de mW/cm². A ficha técnica do fabricante fornece uma conversão da tensão de saída à radiação UV e, em nota de aplicação, inclui o cálculo de conversão dos dados em UV para valores aproximados de índice ultravioleta (IUV) em concordância com o espectro de ação do CIE (*Commission Internationale de l´Eclairage*).

Figura 1 - (a) Confortímetro SENSU; (b) Placa do ML8511; (c) Curva de sensibilidade espectral do Sensor ML8511.



Em procedimento de calibração, as voltagens corrigidas convertem em IUV com erros de ±1%, onde SS(λ) e Ery (λ) equivalem ao Espectro de Irradiância Solar e ao Espectro de ação eritemal de McKinlay-Diffey, respectivamente (Equação 1). Para conversão em Índice UV, assumiu-se que a radiação UV total é a irradiação medida pelo sensor onde k1 = 0,00071 e k2 = 0,05220 são fatores médios eritemal para UVA (320-400nm) e UVB (280-320nm), respectivamente. Sendo assim, é possível converter a radiação UV total em Índice ultravioleta (Equação 2).

$$\boldsymbol{UV = \int SS\,(\lambda) * Ery\,(\lambda) * 0,04}$$ **(Equação 1)**

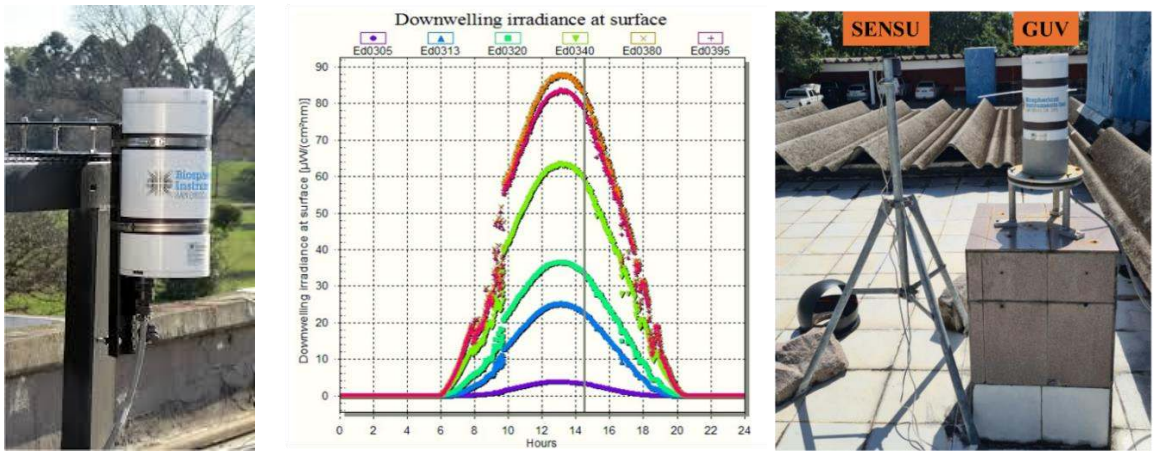
$$\boldsymbol{UVI = 0,04 * UVtotal\,(0,94 * k1 + 0,059 * k2)}$$ **(Equação 2)**

Vale destacar que o sistema em avaliação é um dispositivo de baixo custo, quando comparado aos equipamentos utilizados em estações meteorológicas. No entanto, podem complementar e auxiliar o preenchimento de lacunas de pesquisa que avaliam a radiação UV em diferentes condições ambientais. É importante notar que pode haver diferenças na exatidão e precisão das medições em dispositivos de baixo custo em comparação com instrumentos mais onerosos. Nesse contexto, existem estudos que tratam do projeto e construção de instrumentos baseados em Arduino utilizando o Sensor ML8511 e destacam sua viabilidade e eficácia, contribuindo para o aprimoramento de dispositivos mais acessíveis (Ghaisyani, 2020; Hlaing, 2020; Miura *et al.*, 2007; Olatunde *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2013).

O equipamento de referência utilizado foi o Radiômetro GUV-2511 (*Ground-based Utraviolet Radiometer – Biophere Instruments Inc.*) é um dispositivo de medição projetado para irradiâncias UV proveniente do Sol. Com dimensões de 15cm de diâmetro e 30cm de altura, o instrumento multicanal mede radiações UV em seis faixas espectrais isoladas, de 305 a 395nmm, radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de 400 a 700nm, UVA, UVB e disponibiliza também dados de Índice

UV (Papandrea *et al.*, 2021). Sua maior precisão e acurácia em medições de radiação UV o torna um instrumento de referência confiável para comparações com outros dispositivos (Figura 2).

Figura 2 - (a) Equipamentos de medição GUV-2511, (b) Visualizador do software Logger e (c) intercomparação.



O GUV-2511 opera em software de aquisição de dados (*Logger*) baseado em sistema operacional Windows (*Windows-based Logger data acquisition*) com saída em formato de arquivo MS-ACCESS. Também possibilita a visualização em tempo real e a evolução temporal das irradiâncias pelos canais de 305 a 395nm (Papandrea *et al.*, 2021). Para obtenção das variáveis de medição UV, foi utilizada o modelo de conversão e seus respectivos coeficientes calibrados (*a1*, *a2*, *a3*, *a4* e *e*) em cada um dos canais (Equação 3):

$$\boldsymbol{IUV = a1 * E305 + a2 * E313 + a3 * E320 + a4 * e340}$$ **(Equação 3)**

O equipamento de referência, GUV, está instalado na sede do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de Natal/RN. As medições comparativas foram realizadas no mês de julho de 2023 (Figura 4). As medições foram conduzidas ao longo de cinco dias consecutivos, entre as 8h e 15h, com uma frequência de coleta a cada 1 minuto. Embora fossem previstos dias de medição contínua, fatores como falhas nas medições, dados nulos ou mudanças climáticas inesperadas (chuvas), impactaram nos resultados, totalizando em dois dias de medição contínua e três dias com variações nas condições de coleta.

Os equipamentos SENSU e GUV foram posicionados próximos um do outro para permitir medições simultâneas, a uma mesma altura e livre de obstruções e sombreamento de elementos do entorno, com sensores voltados para cima em direção ao zênite (perpendicular ao nível do solo). As leituras foram registradas e armazenadas em um banco de dados para análise subsequente. A intercomparação

entre os equipamentos permitiu avaliar as discrepâncias nas medições e entender as limitações e possibilidades de cada um deles, ressaltando a importância de investigar a viabilidade na obtenção de dados precisos a partir de dispositivos de baixo custo e mais acessíveis.

2.2. Análise estatística

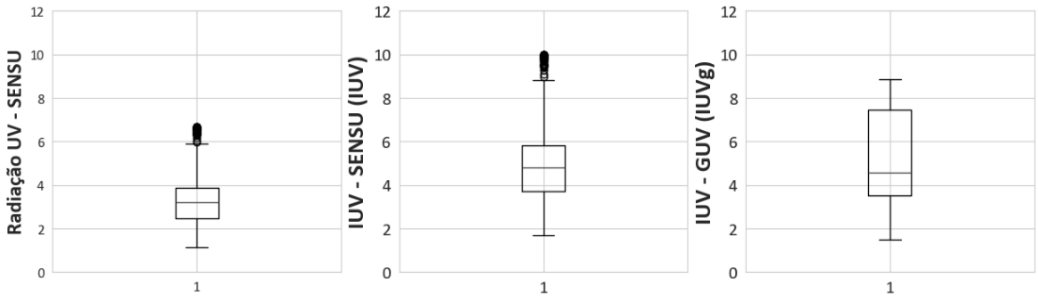
Para o comparativo dos instrumentos de medição empregados na pesquisa, foram conduzidas análises descritivas dos dados para examinar a distribuição e variabilidade. Adicionalmente, foram gerados gráficos boxplot para representar a distribuição e possíveis dispersões dos dados registrados. Testes estatísticos foram realizados visando estabelecer a relação entre o equipamento de medição de radiação ultravioleta de baixo custo, o SENSU-ML8511 adaptado, e o GUV-2511 referência. Teste de normalidade dos dados, aplicando o teste Shapiro-Wilk, e de homogeneidade das variâncias com o teste de Levene. Dado que os pressupostos de normalidade e homogeneidade não foram atendidos, optou-se pelo uso de testes de hipóteses não paramétricos, sendo o coeficiente de correlação de Spearman, como medida não paramétrica para dados não-lineares, e o teste de Mann-Whitney para comparar as medianas entre grupos.As variáveis analisadas compreenderam a radiação UV em mW/cm² e o Índice UV estimado (IUV) no SENSU-ML8511 e Índice Ultravioleta (IUVg) no GUV-2511. A escolha de modelos de regressão polinomial foi fundamentada pela necessidade de capturar possíveis relações não lineares entre as variáveis (Ostertagová, 2012). Esses modelos permitem a incorporação de termos de ordem superior, proporcionando flexibilidade para ajustar-se a padrões de dados mais complexos (Devore; Cordeiro, 2014). Essa abordagem contribuiu para uma validação mais robusta do instrumento de medição de baixo custo em comparação com o referencial de alta precisão (Ghaisyani, 2020; Hlaing, 2020; Serrano; Abril-Gago; García-Orellana, 2022).

Para o desenvolvimento do modelo polinomial, procedeu-se com uma estratégia de divisão dos dados em conjuntos de treinamento e teste, destinando 80% dos dados para o treinamento e os 20% restantes para a fase de teste. Os dados de treinamento foram submetidos a uma transformação polinomial. A última etapa consistiu na avaliação do desempenho do modelo utilizando os dados de teste e na validação. As métricas de avaliação, como RMSE (Erro Quadrático Médio da Raiz), o MAE (Erro Médio Absoluto) e o MSE (Erro Quadrático Médio), foram empregadas para medir a precisão do modelo na previsão de novos dados. Para a análise dos resíduos (Cardoso *et al.*, 2023; Hyndman; Athanasopoulos, 2021), foram testados três pressupostos com aplicação dos testes de Durbin-Watson (autocorrelação), Goldfeld-Quandt (homoscedasticidade) e Shapiro-Wilk (normalidade).

3. Resultados e discussões

Na análise da distribuição dos dados, verificou-se uma tendência a não normalidade, uma vez que os resultados do teste Shapiro-Wilk apresentaram p-valor menores que o nível de significância de 0,05. A assimetria também foi identificada com a representação do gráfico boxplot, o qual também indicou a presença de ocorrências discrepantes acima do limite superior, em particular para os dados do instrumento de baixo custo – SENSU (Figura 3).

Figura 3 - Distribuição dos dados levantados no SENSU-ML8511 e GUV-2511



Os resultados dos principais parâmetros estatísticos para variáveis são apresentados na Tabela 1. Os valores médios foram bem semelhantes com pequenas diferenças entre as medianas das variáveis referente aos IUV dos instrumentos. Percebeu-se também valores mínimo e máximos aproximados, com ressalva para os dados atípicos encontrados nas medições do SENSU. A correlação pareada das variáveis, utilizando o teste de Spearman, resultou em 0,84, o que sugere uma associação significativa entre as variáveis, reforçando a força dessa relação não linear. Esses resultados indicam uma correlação alta (acima de 0,80) e positiva entre as variáveis dos dois instrumentos.

Com intuito de verificar possíveis similaridades no comportamento dos dados, foi realizado teste de hipóteses não paramétrico de Mann-Whitney. O comparativo entre IUV e IUVg resultou em um p-valor igual a 0,2079, sendo maior que o nível de significância de 0,05. Desta forma, observou-se que não há evidência suficiente para afirmar que as amostras foram desenhadas de populações diferentes ou não existe diferença estatística entre as medianas dos grupos (Tabela 1).

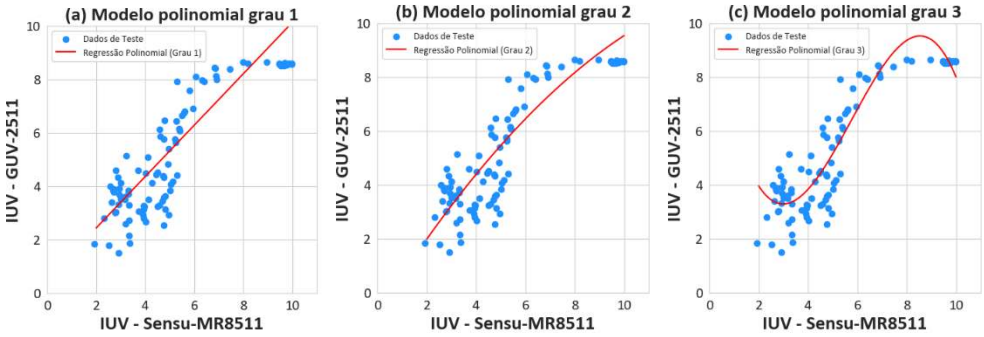
Tabela 1 - Estatística descritiva

	UV	IUV	IUVg
Média	3,35	5,02	5,28
Mediana	3,2	4,80	4,58
Desvio Padrão	1,26	1,25	1,88
Mínimo	1,13	1,69	1,50
Máximo	6,67	9,99	8,84
Shapiro Wilk (P-Valor)	9,35e-15*	9,41e-15*	2,81e-17*
Correlação de Spearman	_	0,84 (Alta)	
Teste de Mann-Whitney (P-valor)	_	0,2079 (P > 0,05)	
Resultado do teste	_	Semelhança estatística	

*Não apresentam distribuição normal

Diante da possível semelhança entre o comportamento dos dados, foram investigadas as relações entre as variáveis Índice UV-SENSU (IUV) e Índice UV-GUV (IUVg) por meio de modelos de regressão. De caráter não-linear, três modelos de regressão polinomial foram testados e verificou-se os resultados obtidos para relação em grau 1, 2 e 3, sendo linear, quadrático e cúbico, respectivamente (Figura 4).

Figura 4 - Modelos polinomiais grau 1, 2 e 3 com conjunto de dados de teste - IUVg e IUV



Sendo: IUV – GUV2511 = IUVg; IUV – Sensu MR8511 = IUV

Após ajuste dos modelos ao conjunto de dados de treinamento com 80% dos registros, o desempenho de cada um foi avaliado adotando métricas como Coeficiente de Determinação (R^2), erro médio absoluto (MAE), Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE), erro quadrático médio (MSE) e raiz do erro quadrático médio (RMSE). Os resultados das métricas indicaram que o modelo polinomial de grau 3 apresentou melhor desempenho e foi escolhido para representar a relação entre os dados de Índice UV extraídos nos instrumentos. Com score de R^2 mais elevado, o modelo cúbico demonstrou que aproximadamente 82,5% da variabilidade nos dados pode ser explicada pela regressão, indicando uma adaptação mais eficaz. Assim, as métricas RSME, MSE, MAE e MAPE

confirmaram a eficácia do modelo de grau 3, com registro dos menores erros e precisão das previsões mais favoráveis em comparação aos demais graus (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultado das métricas de desempenho dos modelos polinomiais - IUV e IUVg

Grau do modelo polinomial	Coeficiente de Determinação (R^2)	RSME	MSE	MAE	MAPE
Grau 1	0,74	1,10	1,23	0,95	0,23
Grau 2	0,78	1,06	1,14	0,90	0,228
Grau 3	**0,83**	**0,91**	**0,83**	**0,73**	**0,20**

As estimativas, os erros padrão, as estatísticas de teste com o p-valor, os intervalos de confiança da constante/intercepto e demais estimadores são apresentados no sumário descritivo do modelo na Tabela 3. A Equação 4 representa a relação matemática entre as variáveis IUV e IUVg formada a partir do modelo de regressão. O coeficiente negativo (-5,49) sugere uma influência significativa na redução do Índice UV. De acordo com a estatística de teste (t), todos os coeficientes foram nulos e significativos com p-valor menor que o nível de significância de 0,05.

Tabela 3 – Descrição do modelo polinomial grau 3 - IUV e IUVg

Tabela 2 - Descrição do modelo polinomial grau 3 - IUV e IUVg

Variáveis	Estimativas	Erro padrão	Estatística de Teste (t)	P-valor (P > |z|)	2,5%	97,5%
Constante	10,65	0,908	11,735	0	8,87	12,44
IUV	-5,58	0,536	-10,415	0	-6,63	-4,53
IUV^2	1,26	0,097	12,959	0	1,07	1,45
IUV^3	-0,07	0,005	-13,471	0	-0,08	-0,06

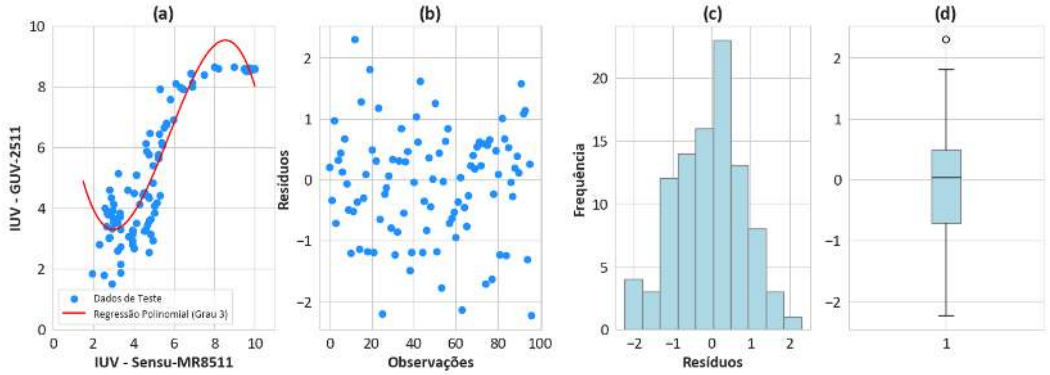
A equação do modelo é dada por:

$$\mathbf{IUV_g = 10,65 - 5,57 * IUV + 1,26 * IUV^2 - 0,07 * IUV^3 + \varepsilon} \quad \text{(Equação 4)}$$

Após a aplicação do modelo polinomial, procedeu-se para a análise dos resíduos com intuito de avaliar a qualidade e a validade do modelo. Foram verificados três pressupostos da regressão, sendo eles: a independência, homoscedasticidade e a normalidade. O teste de Durbin-Watson foi utilizado para verificar a presença de autocorrelação nos resíduos, enquanto o teste de Goldfeld-Quandt foi empregado para avaliar a homoscedasticidade. Na sequência, o teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para avaliação da normalidade dos resíduos, complementado pelos gráficos de histogramas e boxplot (Figura 5). Os resultados dos testes aplicados aos resíduos do modelo demonstraram ausência de autocorrelação significativa, com estatística de teste equivalente à 2,08 (Durbin-Watson com valor próximo ao 2). Quanto à homoscedasticidade (Goldfeld-Quandt – Estatística de teste = 0,9766 e p-valor = 0,5308), o

resultado sugere que não há evidência significativa contra a homoscedasticidade, concluindo que a variância dos resíduos é constante.

Figura 5 – (a) Modelo polinomial grau 3, (b) Observações vs. Resíduos, (c) Histograma e (d) boxplot dos resíduos



Na Figura 5(b), é possível notar que existe uma tendência na dispersão dos pontos em relação a linha horizontal zero, concentrados entre -2 e 2. Ainda, os resíduos se aproximam de uma distribuição normal com p-valor acima do nível de significância de 0,05 (Shapiro-Wilk – p-valor = 0,5683). Essa análise, corroborada pelos resultados dos testes estatísticos expostos, evidenciou a adequação dos resíduos aos pressupostos do modelo. Isso assegura que a regressão não apenas se ajustou aos dados de treinamento, mas também que os resíduos apresentaram comportamento condizente, fortalecendo a confiança na interpretação e generalização do modelo.

4. Considerações finais

Os resultados deste estudo indicaram que o modelo de regressão polinomial entre o Índice Ultravioleta (IUV) e o Índice Ultravioleta medido pelo equipamento de baixo custo se mostrou eficaz, com baixos erros e boa aderência aos valores de referência. A calibração do equipamento portátil, baseada em regressões estatísticas, permitiu reduzir discrepâncias, tornando-o uma alternativa viável para o monitoramento da radiação UV. Apesar das limitações dos sensores utilizados, o modelo permitiu estimativas precisas da radiação UV a fim de que possa ser aplicado em diferentes contextos urbanos. Esse resultado é significativo, pois a radiação UV nas cidades é influenciada não só pelos edifícios e árvores, como também pelo albedo das superfícies, realidade distinta das estações meteorológicas. Sensores portáteis calibrados oferecem uma alternativa para ampliação da cobertura espacial nas medições.

Além de ser relevante para o monitoramento ambiental, o uso de dispositivos de baixo custo pode beneficiar investigações que envolve a saúde pública, permitindo uma compreensão mais precisa da exposição à radiação UV e contribuindo para estratégias de mitigação de riscos, como queimaduras solares e câncer de pele. Futuras pesquisas podem explorar a integração desses sensores com novas tecnologias para aprimorar a confiabilidade das medições e permitir análises mais detalhadas da variabilidade da radiação UV.

Referências

AUTIER, P.; DORÉ, J. F. Ultraviolet radiation and cutaneous melanoma: A historical perspective. **Melanoma Research**, Vol. 30, N. 2, 2020, p. 113–125.

BENVENUTO-ANDRADE, C. *et al.* Sun Exposure and Sun Protection Habits Among High-school Adolescents in Porto Alegre, Brazil. **Photochemistry and Photobiology**, Vol. 81, N. 3, 2005.

CARDOSO, F. C. *et al.* Normality tests: a study of residuals obtained on time series tendency modeling. **Exacta**, 2023.

DELCOURT, C. *et al.* Lifetime exposure to ambient ultraviolet radiation and the risk for cataract extraction and age-related macular degeneration: The alienor study. Investigative **Ophthalmology and Visual Science**, Vol. 55, N. 11, 2014, p. 7619–7627.

DEVORE, Jay L.; CORDEIRO, Marcos Tadeu Andrade. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo: Cengage Learning Edições Ltda., 2014.

EPA. A Guide to UV Index. 2004. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/uvradiation.pdf

GHAISYANI, O. Application of Arduino programming using ML8511: UV sensor hookup guide to learning the effect of ultraviolet's level. *In*: **The 4th International Conference on Mathematics and Science Education** (ICoMSE), 2020. p. 251–255.

HLAING, W. S. W. Construction and data acquisition of UV radiation meter. J. Myanmar Acad. **Arts Sci**, Vol. XVIII, N. 2B, 2020, p. 479–487.

HYNDMAN, R.; ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting: Principles and Practice.** OTexts, 3rd. Ed, 2021.

LAPIS, S.; ROHM, S. S. Ultraviolet Sensor IC with Voltage Output: ML8511 UV Photodiode + Amp, 2013. Disponível em: https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/2/0/6/ML8511_UV.pdf.

MIURA, N. *et al.* Development of Silicon- on- Insulator (SOI) UV Sensor IC. **Oki Technical Review**, Vol. 74, N. 3, 2007, p. 38–39.

MULLENDERS, L. H. F. Solar UV damage to cellular DNA: from mechanisms to biological effects. **Photochemical & Photobiological Sciences**, Vol. 17, N. 12, 2018, p. 1842–1852.

OLATUNDE, O. M. *et al.* Design and Construction of Ultraviolet and Incoming Solar Irradiance Sensing Device. **Iraqi Journal of Science**, Vol. 63, N. 12, p. 5197–5207, 2022.

OSTERTAGOVÁ, E. Modelling using polynomial regression. *In*: **Procedia Engineering**. Elsevier Ltd, 2012. p. 500–506.

PAPANDREA, S. *et al.* Radiómetro solar de banda moderada GUV-2511: Interpretación de los datos y generación de productos. Buenos Aires, 2021. Disponível em: https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1608.

SERRANO, A.; ABRIL-GAGO, J.; GARCÍA-ORELLANA, C. J. Development of a Low-Cost Device for Measuring Ultraviolet Solar Radiation. **Frontiers in Environmental Science**, Vol. 9, 2022.

SILVA, A. A. Outdoor exposure to solar ultraviolet radiation and legislation in Brazil. **Health Physics**, Vol. 110, N. 6, 2016, p. 623–626.

Tang, X.; Yang, T.; Yu, D.; Xiong, H.; Zhang, S. Current insights and future perspectives of ultraviolet radiation (UV) exposure: Friends and foes to the skin and beyond the skin. **Environment International**, Vol. 185, 2024.

VAN DER LEUN, J. C. The ozone layer. **Photodermatology, photoimmunology & photomedicine**, Vol. 20, 2004, p. 159–162.

WHO. **Global solar UV index: a practical guide**. World Health Organization, 2002.

WIJATNA, A. B. *et al.* A Study of the Effects of the Ultraviolet Radiation on Tofu as a Skin Tissue. **Journal of Engineering Science and Technology**, Vol. 14, N. 1, 2019, p. 138–148.

ZHANG, X. *et al.* See UV on Your Skin: An Ultraviolet Sensing and Visualization System. *In*: **Proceedings of the 8th International Conference on Body Area Networks**. 2013.