

EFEITO DE FATORES ABIÓTICOS SAZONAIS SOBRE O TEOR E RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL DE *Piper arboreum* (PIPERACEAE)

EFFECT OF SEASONAL ABIOTIC FACTORS ON THE CONTENT AND YIELD OF ESSENTIAL OIL FROM *Piper arboreum* (PIPERACEAE)

EFFECTO DE LOS FACTORES ABIÓTICOS ESTACIONALES SOBRE EL CONTENIDO Y RENDIMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE *Piper arboreum* (PIPERACEAE)

William Cardoso Nunes^{1*} ; Mireli Trombin de Souza² ; Michele Trombin de Souza³ ; Diones Krinski⁴ 

Graduando de Ciências Biológicas, Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Universitário Professor Eugênio Carlos Stieler, Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil; ²Doutora, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ/UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil; ⁴Doutora, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade (PPGFs/UFPeL), Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil; ³Doutora, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor Adjunto do Curso de Ciências Biológicas da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Universitário Professor Eugênio Carlos Stieler, Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil; ⁴Doutor, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor Adjunto do Curso de Ciências Biológicas da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Universitário Professor Eugênio Carlos Stieler, Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil;

*Autor correspondente: william.cardoso@unemat.br

Recebido: 12/03/2026 | Aprovado: 05/04/2026 | Publicado: 14/04/2026

Resumo: O Brasil apresenta várias zonas climáticas, com características específicas o que pode influenciar sobre a fitofisionomia, composição e teor dos metabólitos secundários das plantas dessas regiões. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da sazonalidade (fatores abióticos sazonais) no teor e rendimento dos óleos essenciais (OEs) das folhas de *Piper arboreum*. A coleta ocorreu mensalmente entre ago./2020 e jul./2021 no perímetro urbano do município de Tangará da Serra-MT. As extrações de OE foram realizadas nos laboratórios da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Tangará da Serra/MT. O material vegetal foi submetido à hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger modificado em triplicatas de 100g durante 4 h. Os OEs quantificados foram submetidos a diversas análises estatísticas para verificar possíveis influências dos fatores climáticos sobre a quantidade de OE ao longo do ano. Os resultados mostraram diferenças significativas no teor e rendimento dos OEs de folhas de *P. arboreum* no período avaliado, com maiores valores de OE verificados nos períodos de mudanças de estação (seca/chuva, e chuva/seca). Destaca-se que durante o período chuvoso, as variáveis precipitação e umidade afetaram negativamente a produção de OE na espécie. Concluímos que existem tendências positivas e negativas dos fatores climáticos com o teor e rendimento do OE de *P. arboreum*, com as variáveis precipitação e umidade relativa influenciando negativamente a produção desses OEs, e a temperatura influenciando de forma positiva o rendimento, enquanto a radiação demonstrou-se como uma variável neutra.

Palavras-chave: Precipitação. Sazonalidade. Metabólitos Secundários. Bioprospecção. Tangará da Serra.

Abstract: Brazil has several climatic zones, with specific characteristics that can influence the phytophysiology, composition and content of secondary metabolites of plants in these regions. Thus, the objective of the present work was to evaluate the influence of seasonality (abiotic seasonal factors) on the content and yield of essential oils (EOs) from *Piper arboreum* leaves. The collections took place monthly between Aug./2020 and Jul./2021 in the urban perimeter of the municipality of Tangará da Serra/MT. The EO extractions were carried out in the laboratories of the University of the State of Mato Grosso (UNEMAT), Tangará da Serra/MT. The plant material was submitted to hydrodistillation in a modified Clevenger-type apparatus in triplicate of 100g for 4 h. The quantified EOs were submitted to several statistical analyzes to verify possible influences of climatic factors on the amount of EO throughout the year. The results showed significant differences in the content and yield of EOs from *P. arboreum* leaves in the evaluated period, with higher values of EO verified in the periods of change of season (dry/rain, and rain/dry). It is noteworthy that during the rainy season, the variables precipitation and humidity negatively affected the production of EO in the species. We conclude that there are positive and negative trends of climatic factors with the content and yield of *P. arboreum* EO, with the variables precipitation and relative humidity negatively influencing the production of these EOs, and temperature positively influencing the yield, while radiation showed itself as a neutral variable.

Keywords: Precipitation. Seasonality. Secondary metabolites. Bioprospecting. Tangará da Serra.

Resumen: Brasil tiene varias zonas climáticas, con características específicas que pueden influir en la fitofisionomía, composición y contenido de metabolitos secundarios de las plantas en estas regiones. Así, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia de la estacionalidad (factores estacionales abióticos) sobre el contenido y rendimiento de aceites esenciales (AEs) de hojas de *Piper arboreum*. La recolección se realizó mensualmente entre agosto/2020 y julio/2021 en el perímetro urbano del municipio de Tangará da Serra/MT. Las extracciones de AE se realizaron en los laboratorios de la Universidad del Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Tangará da Serra/MT. El material vegetal se sometió a hidrodestilación en un aparato tipo Clevenger modificado por triplicado de 100g durante 4 h. Los AE cuantificados fueron sometidos a varios análisis estadísticos para verificar posibles influencias de factores climáticos en la cantidad de AE a lo largo del año. Los resultados mostraron diferencias significativas en el contenido y rendimiento de AE de hojas de *P. arboreum* en el período evaluado, con mayores valores de AE verificados en los períodos de cambio de estación (sequía/lluvia y lluvia/sequía). Cabe destacar que durante la época de lluvias, las variables precipitación y humedad afectaron negativamente la producción de AE en la especie. Concluimos que existen tendencias positivas y negativas de los factores climáticos con el contenido y rendimiento de AE de *P. arboreum*, con las variables precipitación y humedad relativa influyendo negativamente en la producción de estos AE, y la temperatura influyendo positivamente en el rendimiento, mientras que la radiación se manifestó como variable neutra.

Palabras-clave: Precipitación. Estacionalidad. Metabolitos secundarios. Bioprospección. Tangará da Serra.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa um território de 8,5 milhões km², quase a metade da América do Sul, e dentro dessas proporções consideradas continentais o país abriga várias zonas climáticas – como o trópico úmido no Norte, o semi-árido no Nordeste e áreas temperadas no Sul. Devido ao tamanho do território brasileiro possibilita a formação de zonas biogeográficas distintas como a Floresta Amazônica; Pantanal; Cerrado; Caatinga; Pampas e a Mata Atlântica (Peixoto, Luz & Brito, 2016). Desta forma, a composição da fitofisionomia de cada região brasileira pode apresentar características diferentes umas das outras, compondo uma faixa territorial única, tornando o Brasil uma das regiões do planeta com maior número de espécies endêmicas já catalogadas, além de conter dois biomas brasileiros considerados *hotspots* (Mata Atlântica e Cerrado), que representam áreas naturais do planeta que possuem grande diversidade ecológica em risco de extinção (Peixoto, Luz & Brito 2016; Alves & Moraes, 2019).

Estas regiões apresentam características sazonais bem definidas, no entanto fatores bióticos e abióticos podem influenciar diretamente na composição da fitofisiologia destes biomas. Os fatores bióticos ocorrem a partir da inter-relação entre organismos como bactérias, fungos, plantas e animais, moldando o ecossistema e sua resposta a fatores diversos (Pantoja *et al.*, 2019). Já os fatores abióticos são aqueles que possibilitam a manutenção e proliferação de organismos, sejam animais, plantas, fungos, etc., que devido às condições ambientais viabilizam o crescimento e a manutenção dos mesmos, tais como fatores químicos, físicos e geológicos, luminosidade, precipitação, ciclo circadiano, entre outros (De Moraes, 2009), sendo muitos destes fatores cíclicos e sazonais.

Portanto, a sazonalidade é uma característica que deve ser observada e estudada como peça fundamental nos processos biológicos. A produção de metabólitos secundários, como os óleos essenciais (OEs) produzidos pelos vegetais, podem apresentar mudanças qualitativas ou quantitativas, influenciadas por fatores bióticos e abióticos. Devido a interação desses fatores, afetando de forma positiva ou negativa a quantidade, assim como composição química desses metabólitos, conhecer como ocorrem essas interações, possibilita definir o melhor período do ano para coleta das plantas para a extração de OEs (De Moraes, 2009). Assim, os efeitos da sazonalidade

podem fazer com que os OEs sofram variações ao longo do ano, o que pode definir o melhor período de coleta a fim de uma maior obtenção, e concomitantemente mais princípios ativos de interesse para a indústria (Taveira *et al.*, 2003).

Logo, por serem incipientes as pesquisas na literatura que estudaram a importância da sazonalidade na produção de OE de plantas da família Piperaceae, surge a necessidade de realizar mais estudos para verificar a relação de fatores abióticos sazonais que podem causar interferências na quantidade dos compostos aromáticos, mais especificamente na quantidade de OEs. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi verificar se existe alguma influência da sazonalidade (fatores climáticos) sobre o teor e rendimento dos OEs da espécie *Piper arboreum* Aubl. (Piperaceae).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A coleta de folhas de *P. arboreum* foi realizada em uma população nativa, de indivíduos situados no sub-bosque de um remanescente florestal, em local úmido e com pouca luminosidade, localizado em no entorno da nascente do Córrego Figueira, município de Tangará da Serra/MT (14°38'10" S - 57°29'52" W - altitude 411 m). As coletas foram realizadas no período vespertino, entre 13 e 14 horas sempre na última semana de cada mês durante o período de doze meses, entre agosto de 2020 e julho de 2021. A exsicata da espécie foi identificada pela botânica Profa. Dra. Micheline Carvalho Silva da Universidade de Brasília (UnB) e depositadas no Herbário Tangará na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Universitário Professor Eugênio Carlos Stieler, em Tangará da Serra/MT.

2.2 Determinação do teor de umidade e quantificação do OE extraído

Para determinar o teor de umidade (TU%) foram realizados cálculos onde amostras das folhas frescas foram separadas em triplicatas de 20 g para secagem em estufa a 50 °C, até atingirem um peso constante depois de cerca de 15 dias. A equação utilizada para tal foi: $TU\% = (mu - ms) / (mu) * 100$ – onde o TU%= Teor de Umidade; *mu*= massa úmida (g); *ms*= massa seca (g); e 100= fator de conversão para porcentagem. O cálculo de TU% foi usado para os cálculos de rendimento, juntamente com os valores da massa fresca em relação à base úmida (MF BU) e à base seca (MF BS) do material vegetal. A equação $MF BS = ((100 - TU) * MF BU) / 100$ foi utilizada para a correção da massa vegetal à base seca (MF BS).

Para calcular o rendimento do OE foi considerado o volume total de OE obtido das três extrações de 100 g folhas frescas por meio da equação $VO = moe / de$, sendo VO= volume total de óleo essencial obtido de 100 g de material vegetal; *moe*= massa total do óleo essencial extraído (mg); e *de*= densidade do óleo essencial extraído. O volume total dos OEs (mm³) foi considerado como rendimento do OE obtido a partir das extrações de 100g de folhas frescas (RO= volume de óleo em 100g de folhas). A densidade foi calculada por meio da equação $DE = m / v$ (DE= densidade do óleo essencial; *m*= massa calibrada na micropipeta (mg); *v*= volume obtido após pesagem na balança (µL). Para a obtenção dos valores utilizou-se uma micropipeta LabMATE® de 2-20 µL e uma balança de precisão Shimadzu® AY220.

2.3 Dados climáticos

As médias mensais dos fatores climáticos do período de agosto de 2020 a julho de 2021 foram fornecidas pelo Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, sediado na UNEMAT, em Tangará da Serra - MT. Os dados climáticos (médias mensais) utilizados foram temperatura (°C), precipitação (mm); radiação (MJ/m²) e umidade relativa do ar (%).

2.4 Análises estatísticas

Os dados de teor e rendimento dos OEs obtidos das folhas de *P. arboreum* foram submetidos aos pressupostos de normalidade e homogeneidade. Para a análise de todos os resultados foram empregados os tratamentos estatísticos de Análise de Variância (ANOVA), realizada pelo teste F e posterior aplicação do teste de Tukey para a comparação entre médias com o auxílio do software estatístico Assistat versão 7.7 beta (Silva & Azevedo, 2016). Para verificar o possível efeito dos fatores climáticos (temperatura, radiação, umidade relativa e precipitação) sobre o teor e rendimento dos OEs de *P. arboreum* ao longo de 12 meses de avaliação, foi realizado a Análise de Componentes Principais (ACP) e a análise de Correlação com Análise de Performance. Para as variáveis climáticas que apresentaram alguma correlação positiva com o teor e rendimento do OE, também foi realizada uma análise de Regressão Linear Simples. Para as análises de ACP, Correlação e Regressão Linear Simples foi empregado o programa estatístico R (R Core Team 2021).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de agosto de 2020 e julho de 2021 observou-se diferença significativa no teor e rendimento dos OEs das folhas frescas de *P. arboreum* nos diferentes meses de coletas (Tabela 1; Figura 1). A espécie apresentou maiores valores de teor de OE nos meses de outubro de 2020 e maio de 2021, e de rendimento nos meses de setembro/outubro de 2020 e abril/maio de 2021. Enquanto, o período de dezembro de 2020 até fevereiro de 2021 foram os meses com menores valores de OEs encontrado nas folhas de *P. arboreum* (Figura 1).

Tabela 1 - Análise de variância (ANOVA) para teor (%) e rendimento do óleo essencial de folhas *Piper arboreum* ao longo de 12 meses (agosto/2020 - julho/2021). Tangará da Serra/MT, 2022.

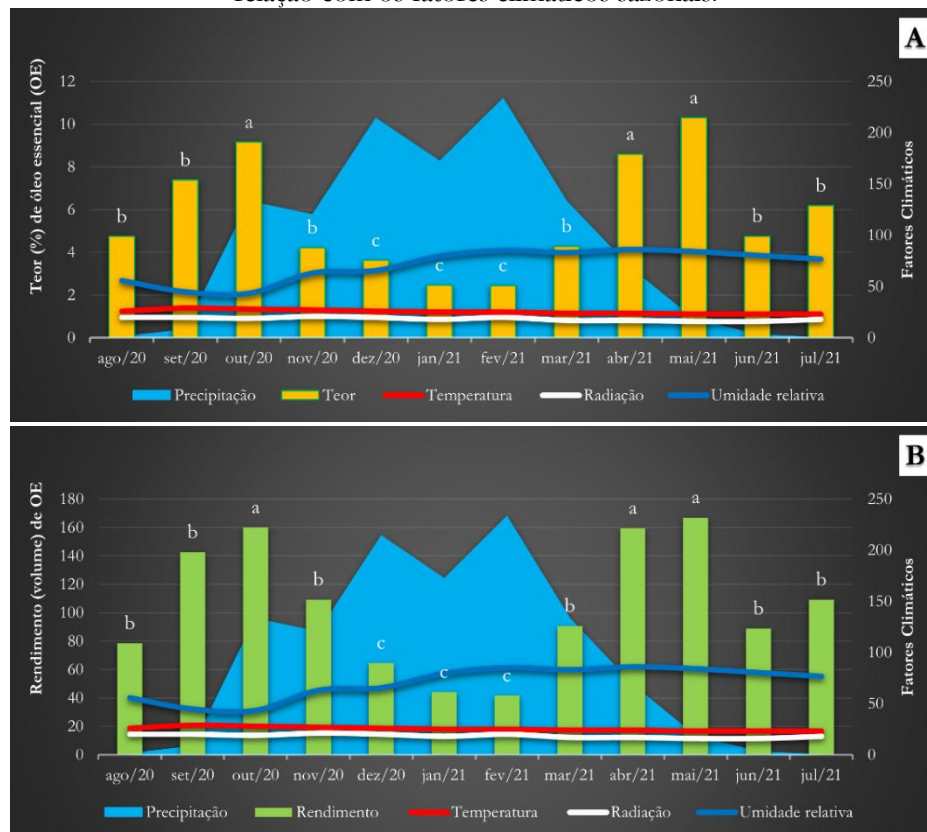
Fonte de variação	G. L.	Valores de F	
		Teor (%)	Rendimento de OE (%)
Meses	11	27.4424 **	26.1539 **
Resíduos	24	-	-
p-valor		<.0001	<.0001
C. V. (%)	-	15.30	14.41

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); G. L.= Grau de Liberdade; C. V.= Coeficiente de Variação.

Na figura 1, também pode-se visualizar que parece haver uma relação tanto do teor e do rendimento do OE de *P. arboreum* com a pluviosidade, mostrando que nos meses com maiores índices pluviométricos foram também os meses com menor teor e rendimento do OE. De Moraes (2009) já relatou que a composição química e a produção dos metabólitos secundários, como os OEs, podem ser determinados tanto por fatores genéticos, como por outros fatores decorrentes seja da interação planta e ambiente, como planta e microrganismos, planta e

planta. Além disso, estudos realizados na última década por vários pesquisadores com diferentes grupos de plantas, inclusive com o gênero *Piper*, têm relatado que diversos fatores ambientais, como clima, solo, estações do ano, forma de plantio, adubação, uso de agrotóxicos, irrigação, tempo e condições ambientais, material da colheita fresco ou seco, técnica de extração, padrões de variação geográfica podem afetar a composição química dos óleos essenciais (Asekun *et al.*, 2007).

Figura 1 - Comparação do teor (A) e o rendimento (B) de óleo essencial de *Piper arboreum* ao longo de 12 meses e sua relação com os fatores climáticos sazonais.

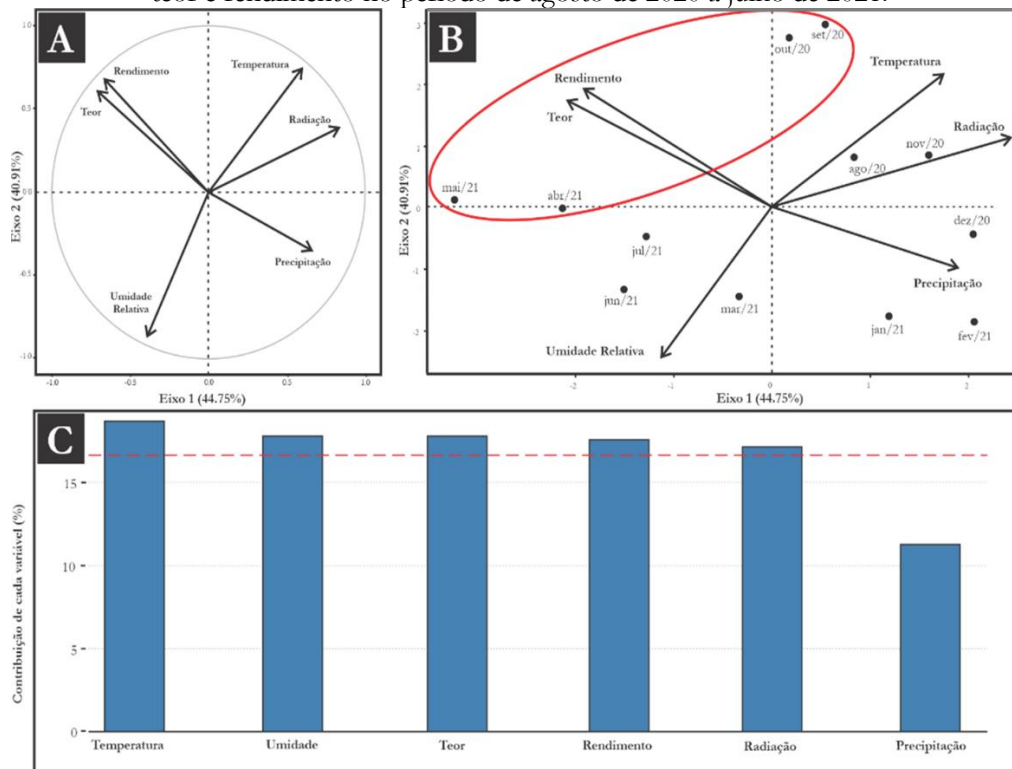


Barras seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott (5%).
Fonte: Os autores (2022).

E recentemente, uma pesquisa realizada no norte do Estado do Paraná com as espécies *Piper diospyrifolium* (Kunth) Kunth ex C. DC., *Piper gaudichaudianum* Kunth., *Piper mosenii* C. DC e *Piper xylopioides* Kunth, mostrou que a produção dos OEs nas quatro estações variou ao longo do ano (Del Quiqui *et al.*, 2019). Assim, nossos dados também corroboram com a literatura e reforçam que a sazonalidade é um fator que pode interferir na produção do OEs também para a espécie *P. arboreum*. Nota-se então que a literatura tem reforçado a algum tempo que a quantidade de OEs pode sofrer influência dos fatores abióticos (Souza *et al.* 2025). No entanto, a influência de tais fatores pode apresentar uma pequena ou grande contribuição, e neste contexto, como nesse trabalho realizado com a espécie *P. arboreum*, tentou-se verificar se a variação de quatro variáveis climáticas (temperatura, radiação, precipitação e umidade) ao longo de 12 meses que afetam a quantidade do OE da espécie. Como resultado geral a Análise de Componentes Principais (ACP) realizada mostrou que os quatro fatores climáticos analisados, quando somados dentro dos componentes dos Eixo 1 e do Eixo 2 explicaram 85,66% da variação na quantidade de OE de *P. arboreum* ao longo do período estudado, mostrando que teor e rendimento são inversamente proporcionais

a maioria das variáveis analisadas (Figura 2).

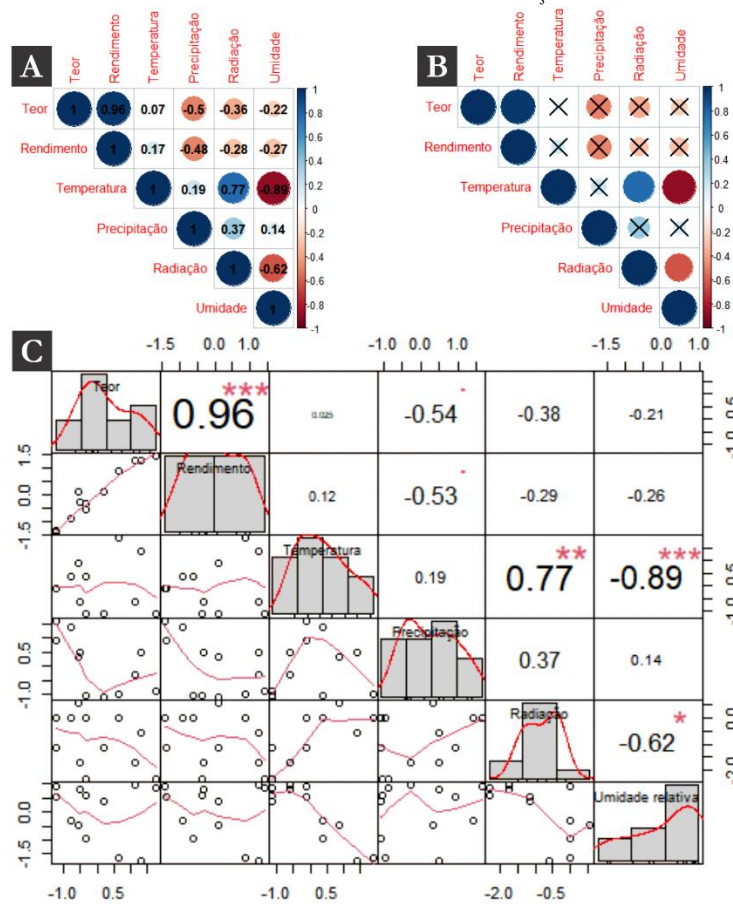
Figura 2 - Análise das Componentes Principais. A) Fatores abióticos (temperatura, precipitação, radiação e umidade relativa) versus teor e rendimento do óleo essencial obtidos das folhas de *Piper arboreum*. B) Meses de maiores valores de teor e rendimento no período de agosto de 2020 a julho de 2021.



Fonte: Os autores (2022).

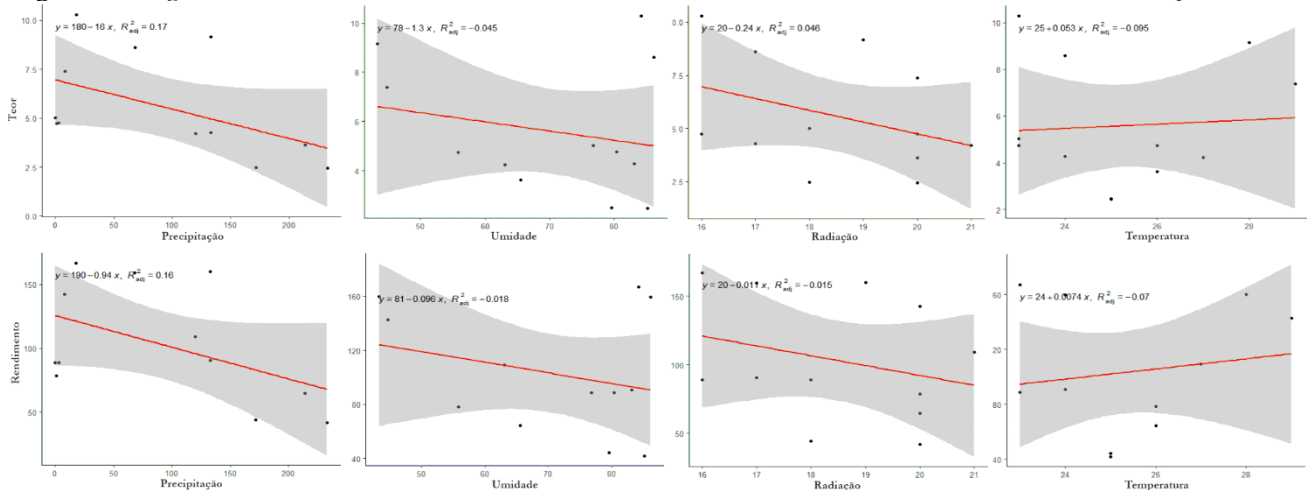
Essas relações foram confirmadas com o emprego da Análises de Correlação e da Análise de Performance, a quais mostraram que o teor e o rendimento dos OEs de *P. arboreum* apresentaram uma pequena correlação positiva somente com a variável temperatura e uma correlação negativa para as demais variáveis, corroborando com os dados da ACP, indicando que embora as variáveis climáticas, não tenham apresentado correlações significativas fortes ou muito fortes sobre a quantidade do OE, elas mostram se existe ou não uma tendência positiva ou negativa das variáveis climáticas sobre o teor e rendimento do OE obtido das folhas de *P. arboreum* (Figura 3). Isso reforça que a variação na quantidade do OE de *P. arboreum* não é influenciada apenas por um único fator, e que uma combinação de fatores pode estar relacionada na produção desse metabólito, como mostrado na figura 5c. As regressões lineares simples realizadas para comprovar as relações e correlações das variáveis climáticas sobre o teor e rendimento do OE de *P. arboreum* apenas reforçaram o que foi demonstrado nas outras análises, indicando apenas que a temperatura tem uma tendência positiva (quase que linear) sobre a quantidade de OE para essa espécie (Figura 4).

Figura 3 - Análise de correlação do teor e rendimento do óleo essencial (A/B) obtido das folhas de *Piper arboreum* em função das variáveis temperatura, precipitação, radiação e umidade relativa. Análise de Performance (C) para cada conjunto de variáveis da análise de correlação.



Círculos em tons de azul indicam correlação positiva e em tons de vermelho indicam correlação negativa na figura A. A marcação 'X', na figura B, mostra as correlações não significativas ($p < 0,001$). *** na figura C indicam a correlação significativa ($p < 0,001$).

Figura 4 - Regressão linear de cada variável climática sobre o teor e rendimento do óleo essencial de *Piper arboreum*.



Fonte: Os autores (2022).

Além disso, o resultado encontrado neste trabalho reforça o que outros estudos já têm demonstrado (Siqueira *et al.*, 1985; Letcham & Gosselin, 1996; Silva *et al.*, 2006; Souza *et al.*, 2020). Ademais, a redução dos teores de OE de *P. arboreum* em alguns meses, principalmente nos períodos com maior intensidade de chuvas, pode ser explicada pelo acionamento do mecanismo natural de fonte-dreno, que acaba degradando parte dos metabólitos

secundários para direcioná-los seus compostos químicos para a manutenção do metabolismo primário (De Moraes, 2009). Essa relação entre fonte e dreno é controlada por fatores ambientais e atua na sinalização de diversos genes que controlam os metabólitos produzidos nos tecidos, sendo determinante na produtividade destes compostos (Tonini, Purgato & Buckeridge, 2010). Este comportamento fisiológico dos vegetais justifica o menor rendimento de OE obtido durante a estação chuvosa para *P. arboreum* como já verificado em outros estudos com outras espécies de plantas (Araújo, 2019).

Essa relação fonte-dreno também já foi observada por Prochnow (2015), onde verificou-se os altos valores de OE nas plantas de *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton com no período de crescimento vegetativo dessa espécie, enquanto, no período reprodutivo, com o florescimento das plantas, o metabolismo vegetal drenou os metabólitos secundários para a formação de flores (Taiz & Zeiger, 2013). Além disso, Prochnow (2015) relata que as estruturas reprodutivas, como as flores, também possuem estruturas sintetizadoras de OE e competem com as folhas por elementos precursores destas substâncias voláteis, reduzindo assim a quantidade de OEs presentes nas folhas nos períodos em que a planta está no período reprodutivo (Brant *et al.*, 2008).

Considerando isso, mesmo que não tenha sido considerado como uma variável neste estudo, ressalta-se que foi observado em campo que as plantas de *P. arboreum* iniciaram o período reprodutivo com a liberação das espigas (estruturas reprodutivas) geralmente após o período de chuvas (maio e junho), e terminaram essa fase de desenvolvimento fenológico no início de setembro, ainda no período de seca. Esta característica reforça ainda mais a atuação do mecanismo de fonte-dreno de forma cíclica, onde possivelmente durante o período chuvoso a espécie *P. arboreum* desloca os metabólitos secundários para manter o metabolismo primário durante seu rápido crescimento vegetativo (maior produção de folhas novas), e que com o término das chuvas estas plantas acumulam os OEs nas folhas até o mecanismo fonte-dreno ser novamente acionado para deslocar então estes metabólitos secundários para a formação e desenvolvimento das estruturas reprodutivas.

Desta forma, os dados verificados neste estudo concordam com Kandil *et al.* (2004) os quais indicam que a produção e o acúmulo de metabólitos secundários pelas plantas geralmente aumentam sob influência de algum tipo de estresse, principalmente quando o uso do carbono para o crescimento ou reprodução das plantas é reduzido. Assim, se o crescimento das plantas é limitado em função de alguma restrição ambiental, como o estresse hídrico por exemplo, pode haver o acúmulo de carboidratos em seus tecidos de acordo com a hipótese do balanço de fonte/dreno (Bryant, Chapin & Klein, 1983). Isso corrobora as quantidades de OE verificados nas folhas de *P. arboreum* em função da flutuação da pluviosidade ao decorrer do ano. Assim quando o crescimento da planta cessa, o carbono que não é mais utilizado para manter o metabolismo primário como a produção de folhas e crescimento da planta acaba sendo acumulado e esse carbono excedente poderá ser direcionado para a síntese de metabólitos secundários (Hamilton *et al.*, 2001), aumentando a produção dos OE na planta.

Assim, reitera-se que novas pesquisas devem ser realizadas, principalmente quando vários estudos afirmam que diversos fatores ambientais, como clima, solo, estações do ano, forma de plantio, adubação, uso de agrotóxicos, irrigação, tempo e condições ambientais, material da colheita fresco ou seco, técnica de extração, padrões de variação geográfica podem afetar a produção dos OEs (Sefidkon *et al.*, 2007).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises dos resultados podemos verificar que existem dois períodos no ano de maior produção de OE nas folhas de *P. arboreum*, onde o teor de OE nas folhas de *P. arboreum* foi maior nos meses de outubro de 2020 e maio de 2021 e o rendimento os apresentou maiores valores nos meses de setembro e outubro de 2020 e abril e maio de 2021. Esses períodos de maior produção de OE na espécie ocorreram nos intervalos entre o período chuvoso e seco ao longo do ano, com menores valores de OE sendo observados durante o período chuvoso.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Todos os autores contribuíram na execução de todas as etapas do desenvolvimento do estudo, passando pelas etapas de coleta, extração, quantificação e escrita do trabalho para esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alves, J. M., & Morais, G. A. (2019). Biomass brasileiros, conhecer para proteger. *Anais do SEMEX*, (12).
- Araújo, J. P. (2019) *Bioprospecção e etnofarmacologia da Hedyosmum brasiliense Mart. no litoral do Paraná: potencial biológico de uma espécie nativa da Mata Atlântica*. (Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Territorial Sustentável) - Universidade Federal do Paraná.
- Asekun, O. T., Grierson, D. S., & Afolayan, A. J. (2007). Effects of drying methods on the quality and quantity of the essential oil of *Mentha longifolia* L. subsp. *Capensis*. *Food Chemistry*, 101(3), 995-998.
- Brant, R. S., Pinto, J. E. B. P., Bertolucci, S. K. V., & Albuquerque, C. J. B. (2008). Teor do óleo essencial de cidrão [*Aloysia triphylla* (L'Hér.) Britton] em função da variação sazonal. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 10(2), 83-88.
- Bryant, J. P., Chapin III, F. S., & Klein, D. R. (1983). Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos*, 357-368.
- Del Quiqui, E. M., Deschamps, C., do Amaral, W., Sipriano, R. R., & Machado, M. P. (2019). Yield and chemical composition of essential oil of Piperaceae in one segment of the semi deciduous forest of Paraná state, Brazil, in seasonal samplings. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6(5), 355-367.
- De Morais, L. A. S. (2009). Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Horticultura Brasileira*, 27(2), S3299-S3302.
- Hamilton, J. G., Zangerl, A. R., DeLucia, E. H., & Berenbaum, M. R. (2001). The carbon–nutrient balance hypothesis: its rise and fall. *Ecology letters*, 4(1), 86-95.
- Kandil, F. E., Grace, M. H., Seigler, D. S., & Cheeseman, J. M. (2004). Polyphenolics in *Rhizophora mangle* L. leaves and their changes during leaf development and senescence. *Trees*, 18(5), 518-528.

- Letchamo, W., & Gosselin, A. (1996). Transpiration, essential oil glands, epicuticular wax and morphology of *Thymus vulgaris* are influenced by light intensity and water supply. *Journal of Horticultural Science*, 71(1), 123-134.
- Marques, M. C., Silva, A. C. L., Rajão, H., Rosado, B. H. P., Barros, C. F., Oliveira, J. A., ... & Bergallo, H. G. (2016). Mata Atlântica-O desafio de transformar um passado de devastação em um futuro de conhecimento e conservação. *Conhecendo a Biodiversidade*, 1ed. MCTIC, CNPq, PPBio, Brasília, 50-67.
- Pantoja, M., Mota, M. A., & Jardim, M. A. G. (2019). Influência da precipitação pluviométrica na regeneração natural em uma floresta ombrófila densa aluvial, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(04), 1302-1309.
- Peixoto, A. L., Luz, J. R. P., & Brito, M. D. (2016). *Conhecendo a biodiversidade*. Brasília: MCTIC/CNPq/PPBio.
- Pimentel, V. P., Vieira, V. A. M., Mitidieri, T. L., Oliveira, F. F. S., & Pieroni, J. P. (2015). Biodiversidade brasileira como fonte da inovação farmacêutica: uma nova esperança?. *Revista do BNDES*, 43, 41-89.
- Potzernheim, M. C. L., Bizzo, H. R., & Vieira, R. F. (2006). Análise dos óleos essenciais de três espécies de *Piper* coletadas na região do Distrito Federal (Cerrado) e comparação com óleos de plantas procedentes da região de Paraty, RJ (Mata Atlântica). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 16, 246-251.
- Prochnow, D. (2015) *Crescimento, produção e qualidade do óleo essencial de Aloysia triphylla em função da disponibilidade hídrica e sazonalidade*. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012.
- Sartor, R. B. (2009). *Modelagem, simulação e otimização de uma unidade industrial de extração de óleos essenciais por arraste a vapor*. (Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre). <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21924/000737903.pdf?>
- Sefidkon, F., Abbasi, K., Jamzad, Z., & Ahmadi, S. (2007). The effect of distillation methods and stage of plant growth on the essential oil content and composition of *Satureja rechingeri* Jamzad. *Food chemistry*, 100(3), 1054-1058.
- Siqueira, N., Silva, G., Alice, C., & Nitschke, M. (1985). Análise comparativa dos óleos essenciais de *Baccharis articulata* e *Baccharis trimera* espécies espontâneas no rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Farmácia*, 66(3), 36-39.
- Silva, F. D. A. S. & Azevedo, C. A. V. (2016). The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, 11, 3733-3740.
- Silva, F. G., Pinto, J. E. B. P., Cardoso, M. D. G., Nascimento, E. A., Nelson, D. L., Sales, J. D. F., & Mol, D. J. D. S. (2006). Influência do nível de irradiância no crescimento da planta, rendimento e composição do óleo essencial em carqueja. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(1), 52-57.
- Souza, M. T., de Souza, M. T., Bernardi, D., Krinski, D., Melo, D. J., Costa, O. D., Rakes, M., Zarbin, P. H.G., Maia, B. H. L. N. S., Zawadneak, M. A. C. (2020). Chemical composition of essential oils of selected species of *Piper* and their insecticidal activity against *Drosophila suzukii* and *Trichopria anastrephae*. *Environmental Science Pollution Research Internacional*, 27(12),13056-13065.
- Souza, M. T., de Souza, M. T., Schorr, R. R., de Freitas, R. A., de Assis Marques, F., Krinski, D., Maia, B. H. L. N. S., Zawadneak, M. A. C., Ribeiro, L. P., Ferreira, J. P. & Bernardi, D. (2025). Enhancing the performance of *Piper* spp. essential oils by developing chitosan-sodium alginate polyelectrolyte complex against *Drosophila suzukii* with selectivity for non-target parasitoids. *Journal of Pest Science*, 98(4), 2047-2064.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2009). 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

Taveira, F. S. N., De Lima, W. N., Andrade, E. H. A., & Maia, J. G. S. (2003). Seasonal essential oil variation of *Aniba Canelilla*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 31(1), 69-75.

Tonini, P. P., Purgatto, E., & Buckeridge, M. S. (2010). Effects of abscisic acid, ethylene and sugars on the mobilization of storage proteins and carbohydrates in seeds of the tropical tree *Sesbania virgata* (Leguminosae). *Annals of Botany*, 106(4), 607-616.