

EFEITO DA SAZONALIDADE SOBRE O TEOR E O RENDIMENTO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Piper tuberculatum* (PIPERACEAE)

EFFECT OF SEASONALITY ON THE CONTENT AND YIELD OF ESSENTIAL OIL FROM *Piper tuberculatum* (PIPERACEAE)

EFEECTO DE LA ESTACIONALIDAD EN EL CONTENIDO Y RENDIMIENTO DE ACEITE ESSENCIAL DE *Piper tuberculatum* (PIPERACEAE)

Ana Marcela do Nascimento¹ ; Michele Trombin de Souza² ; Mireli Trombin de Souza³ ;
Diones Krinski^{4*} 

¹Bióloga, 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 Fitossanidade (PPGFs/UFPEL), Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil; ³Doutora, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ/UFPR), Curitiba, Paraná, 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: diones.krinski@unemat.br

Recebido: 12/03/2026 | Aprovado: 23/03/2026 | Publicado: 16/04/2026

Resumo: Neste estudo, objetivamos determinar se a sazonalidade afeta o teor e o rendimento do óleo essencial (OE) das folhas e espigas *Piper tuberculatum* (Piperaceae). Para isso, as folhas de *P. tuberculatum* foram coletadas no entorno do Córrego Buriti, Tangará da Serra, MT, entre os meses de outubro de 2020 a setembro de 2021; e após submetidas à hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger modificado por 4 h. Desse modo, foi mostrado que em setembro-21 (0,52%), novembro-20 (0,21%), outubro-20 (0,16%), dezembro-20 (0,16%), março-21 (0,14%) foram os períodos que possuíram maiores teores de OEs; já o rendimento do OEs seguiu o mesmo padrão de variação mensal verificado para o teor, sendo setembro-21 (100,37 mm³), novembro-20 (47,84 mm³) e outubro-20 (37,04 mm³) apresentando maiores valores. Nas análises de Correlação e de análise de Performance foram verificados que os teores e os rendimentos dos OEs de *P. tuberculatum* mostraram uma correlação significativamente forte e positiva (0,99), e que a variável climática de temperatura também é significativamente correlacionada positivamente para o teor (0,72) e rendimento (0,76). Por meio da regressão linear simples pode-se observar que o teor e o rendimento do OE de *P. tuberculatum* aumentaram com o acréscimo da temperatura. Nossos resultados mostram a influência da sazonalidade sobre a produção do OE de *P. tuberculatum* e determinam as melhores épocas de coleta.

Palavras-chave: Fatores abióticos. Temperatura. Metabólito Secundário.

Abstract: In this study, we aimed to determine whether seasonality affects the essential oil (EO) content and yield of *Piper tuberculatum* (Piperaceae) leaves and ears. For this, the leaves of *P. tuberculatum* were collected around the Córrego Buriti, Tangará da Serra, MT, between October 2020 to September 2021; and after submitted to hydrodistillation in a modified Clevenger type apparatus for 4 h. Thus, it was shown that September-21 (0.52%), November-20 (0.21%), October-20 (0.16%), December-20 (0.16%), March-21 (0.14%), however, the yield of EOs followed the same pattern of monthly variation verified for the content, with September-21 (100.37 mm³), November-20 (47.84 mm³) and October-20 (37.04 mm³) showing higher values. In the Correlation and Performance analysis, it was verified that the levels and yields of EOs from *P. tuberculatum* showed a significantly strong and positive correlation (0.99), and that the climate variable temperature is also significantly positively correlated to the content (0.72) and yield (0.76). Through simple linear regression, it can be observed that the EO content and yield of *P. tuberculatum* increased with increasing temperature. Our results show the influence of seasonality on the EO production of *P. tuberculatum* and determine the best collection times.

Keywords: Abiotic Factors. Temperature. Secondary Metabolite.

Resumen: En este estudio, nuestro objetivo fue determinar si la estacionalidad afecta el contenido de aceite esencial (AE) y el rendimiento de las hojas y mazorcas de *Piper tuberculatum* (Piperaceae). Para eso, las hojas de *P. tuberculatum* fueron colectadas en los alrededores del Córrego Buriti, Tangará da Serra, MT, entre octubre de 2020 y septiembre de 2021; y después sometido a hidrodestilación en un aparato tipo Clevenger modificado durante 4 h. Así, se demostró que el 21-

septiembre (0,52%), 20-noviembre (0,21%), 20-octubre (0,16%), 20-diciembre (0,16%), 21-marzo (0,14%) fueron los periodos que presentaron los niveles más altos de AE; el rendimiento de AE siguió el mismo patrón de variación mensual verificado para el contenido, con valores superiores el 21 de septiembre (100,37 mm³), el 20 de noviembre (47,84 mm³) y el 20 de octubre (37,04 mm³). En el análisis de Correlación y Desempeño se verificó que los niveles y rendimientos de AE de *P. tuberculatum* mostraron una correlación significativamente fuerte y positiva (0.99), y que la variable climática temperatura también se correlacionó significativamente positivamente con el contenido (0.72) y rendimiento (0.76). Mediante regresión lineal simple, se puede observar que el contenido de AE y el rendimiento de *P. tuberculatum* aumentaron con el aumento de la temperatura. Nuestros resultados muestran la influencia de la estacionalidad en la producción de AE de *P. tuberculatum* y determinan los mejores momentos de recolección.

Palabras-clave: Factores abióticos. La temperatura. Metabolito Secundario.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Piper* pertence à família Piperaceae e é composto por mais de 2.000 espécies, ocorrendo em regiões tropicais e subtropicais da África, América e Ásia. Seus maiores centros de biodiversidade estão localizados na América do Sul, especificamente no Brasil, que contém aproximadamente 290 espécies catalogadas (Dhifi *et al.*, 2016), incluindo a *Piper marginatum* Jacq. Essa espécie é considerada uma fonte de moléculas bioativas usada na medicinal tradicional para o tratamento de doenças gastrointestinais (Brú & Guzman, 2016) e, como, inseticida no controle de pragas agrícolas (Krinski & Foerster, 2016; Krinski, Foerster & Deschamps, 2018; Souza *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2025). Isso se deve à alta diversidade de metabólitos secundários, em particular, os óleos essenciais (OEs), que são localizados no parênquima paliçádico e nas nervuras foliares, sendo presente em idioblastos e tricomas secretores (Gogosz *et al.*, 2016; Jacinto *et al.*, 2018).

Os OEs correspondem a aproximadamente 1% da massa úmida da planta (Camargo, 2018), porém diversos fatores influenciam no teor e rendimento. Entre eles, destaca-se as estações do ano e conforme elas são alteradas realizam mudanças fisiológicas no metabolismo das plantas para amplificar a absorção de CO₂ e reciclagem de água e nutrientes (Dehsheikh *et al.*, 2019). Outros trabalhos citam que a temperatura atua na ativação de enzimas termossensíveis envolvidas na via do ácido mevalônico ou chiquimato (Almeida *et al.*, 2016). Além disso, radiação e a precipitação podem influenciar na produção de OE, direta ou indiretamente, através do aumento da biomassa vegetal (Burbott & Loomis, 1967; Gobbo-Neto & Lopes, 2007). Assim, todos esses fatores associados à época de colheita são importantes e devem ser considerados na avaliação da produção do OE.

Neste sentido, a definição do período em que o material botânico é coletado é de grande relevância, uma vez que a síntese dos metabólitos secundários pela planta depende dos fatores ambientais. Isto se deve ao fato da planta se adaptar às diferenças de cada região particular, como diferentes altitudes, solos, exposição solar, entre outros fatores (Camargo, 2018; Silva *et al.*, 2021). Assim, objetivou-se avaliar o efeito da sazonalidade – a citar precipitação, radiação, umidade relativa do ar, temperatura – sobre o teor e o rendimento do OE de *P. tuberculatum*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido nos laboratórios do Centro de Pesquisas, Estudos e Desenvolvimento Agro-Ambientais (CPEDA), na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Universitário Professor Eugênio Carlos Stieler, Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil.

2.1 Coleta de folhas e espiga de *P. tuberculatum*

Para a obtenção do material vegetal, as folhas de *P. tuberculatum* foram coletadas entre outubro de 2020 a setembro de 2021, sempre no período matutino (antes das 8 h); já as espigas foram coletadas no período reprodutivo das plantas em outubro de 2020, fevereiro e agosto de 2021. Para tanto, as amostras foram selecionadas de aproximadamente 20 plantas de toda uma população, no entorno do Córrego Buriti, região central do município de Tangará da Serra em dois pontos de coleta (Ponto 1: 14°37'30.9"S; 57°29'10.4"W; Ponto 2: 14°37'28.4"S; 57°29'07.6"W).

2.2 Determinação do teor de umidade

Para determinação do teor de umidade (*TU*), após cada coleta foram separadas triplicatas de 20 g de folhas frescas (e espigas quando a planta estava em período reprodutivo) de *P. tuberculatum* para secagem em estufa a 50 °C, até peso constante (aproximadamente 15 dias). O *TU* foi calculado através da equação: $TU\% = (massa\ úmida - massa\ seca) / (massa\ úmida) * 100$. O *TU* foi utilizado no cálculo de teor do OE, mais especificamente os valores de massa das folhas frescas em relação à base úmida (*MF BU*) e à base seca (*MF BS*) do material vegetal. A massa foliar à base seca (*MF BS*) foi corrigida através da fórmula, $MF\ BS = ((100 - TU) * MF\ BU) / 100$.

2.3 Extração e quantificação do teor e rendimento do óleo essencial de *P. tuberculatum*

O material vegetal coletado foi submetido à hidrodestilação para a extração do OE, em aparelho tipo Clevenger modificado, durante 4 horas (Sartor, 2009). Para quantificação dos teores dos OEs foi aferida a densidade dos OEs extraídos, utilizando uma micropipeta para coletar 20 µL de OE de cada amostra o qual foi pesado em uma balança de precisão. Para calcular a densidade dos OEs utilizou-se a equação: $DE = m / v$, onde *DE* = densidade do óleo essencial; *m* = massa calibrada na micropipeta (mg); *v* = volume obtido após pesagem na balança (µL). A massa total dos OEs também foi quantificada para se obter o volume total de OE em cada tipo de extração, utilizando a seguinte 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. Para quantificação dos teores dos OEs, o volume total dos OEs (mm³) foi considerado como rendimento do OE obtido a partir das extrações de 100 g de folhas e flores frescas (*RO* = volume de óleo em 100 g de folhas). O teor do OE extraído das folhas foi calculado com base na matéria seca ou base livre de umidade (BLU), através da equação: $TO = (moe / ms) * 100$, onde: *TO* = teor de óleo (%); *moe* = massa total do óleo essencial extraído (mg); *ms* = massa seca de 100g de folhas (g); e *100* = fator de conversão para porcentagem.

2.4 Dados meteorológicos

Para caracterizar as condições ambientais do local, os dados climáticos de temperatura, radiação, umidade relativa do ar e precipitação, compreendidos entre outubro de 2020 a setembro de 2021, foram fornecidos pelo Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, sediado na UNEMAT em Tangará da Serra.

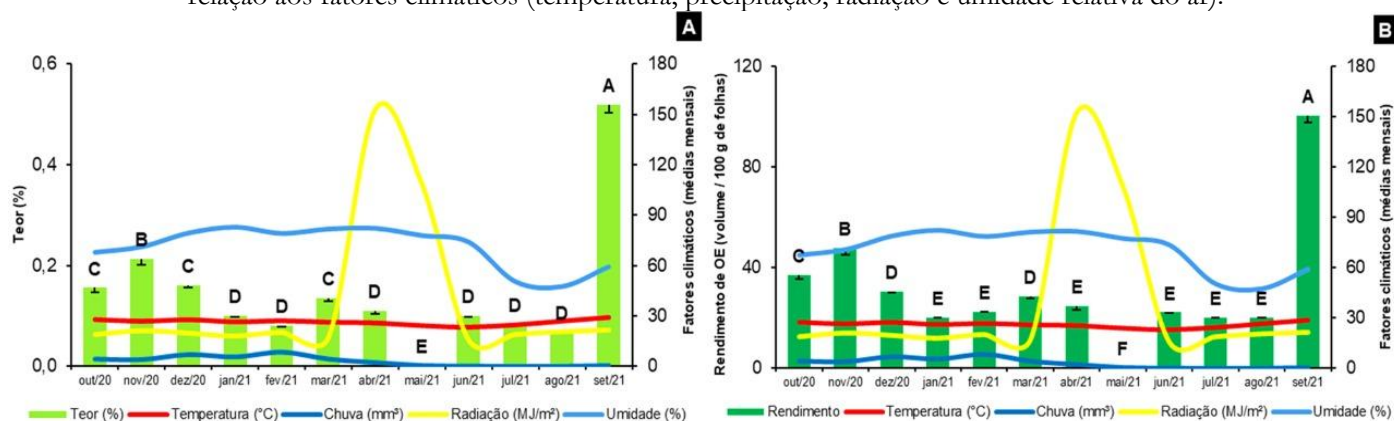
2.5 Análises dos dados

Os dados de teores e rendimentos dos OEs obtidos das folhas e espigas foram submetidos aos pressupostos de normalidade e homogeneidade. Para a análise de todos os dados foi empregada a análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Em seguida, diferentes tratamentos estatísticos foram realizados conforme cada tipo de análise: 1) o teste t de Student foi utilizado para comparar as médias de teor e rendimento dos OEs obtidos de folhas e espigas; e 2) o teste de Scott-Knott foi utilizado para comparar as médias de teor e rendimento dos OEs obtidos entre os diferentes meses de extração. Estas análises foram feitas 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 do ar e precipitação) sobre o teor e rendimento dos OEs de *P. tuberculatum* ao longo de 12 meses, realizou-se uma Análise de Componentes Principais (ACP) e uma 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 utilizado o programa estatístico R versão 4.1.1 (R Core Team, 2021).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química e o teor do OE podem sofrer alterações durante as estações do ano (Morais, 2009). Nesse sentido, ao longo de 12 meses de coleta de *P. tuberculatum* foi verificado que a espécie apresentou diferença significativa no teor do OE de suas folhas, com valores de teores maiores para os meses de setembro-21 (0,52%), novembro-20 (0,21%), outubro-20 (0,16%), dezembro-20 (0,16%), março-21 (0,14%), respectivamente. Ressalta-se o mês de maio-2021, no qual as folhas não produziram OE em quantidade suficiente para quantificação do teor e rendimento (Figura 2 A). O rendimento do OE seguiu o mesmo padrão de variação mensal verificado para o teor, com os meses de setembro-21 (100,37 mm³), novembro-20 (47,84 mm³) e outubro-20 (37,04 mm³) apresentando os maiores valores (Figura 2 B). Possivelmente estas variações tanto no teor quanto no rendimento do OE das folhas de *P. tuberculatum* podem estar relacionadas com a alta da radiação e a ausência de chuva, principalmente com o declínio total do teor e do rendimento do OEs de *P. tuberculatum* observado no mês de maio-21 (Figura 1 A e B).

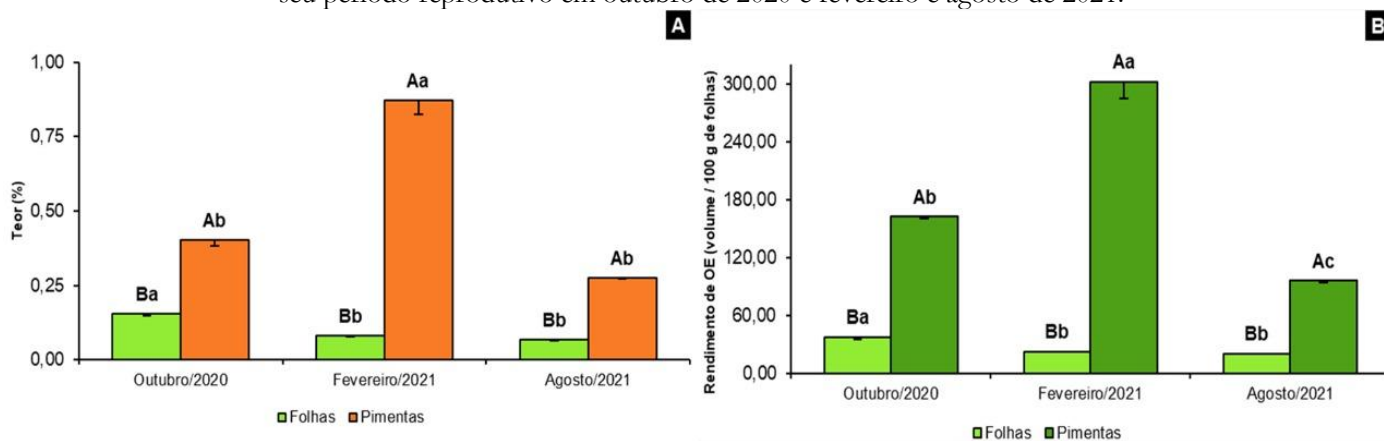
Figura 1 - Análise de 12 meses comparando o teor (A) e o rendimento (B) dos óleos essenciais de *Piper tuberculatum*, em relação aos fatores climáticos (temperatura, precipitação, radiação e umidade relativa do ar).



Fonte: Nascimento *et al.* (2022)

Quando comparados a produção dos OEs apresentados pelas folhas e espigas de *P. tuberculatum*, foram constatados que as espigas mostraram serem mais produtivas em teores e rendimentos dos OEs (Figura 2 A e B). Portanto, no período reprodutivo a maior parte do OE que está na planta fica reservada no fruto. Isso já tem sido relatado para várias espécies, onde diferentes órgãos vegetais podem influenciar não só a quantidade total de metabólitos produzidos, mas também nas proporções relativas dos componentes da mistura (Gobbo-Neto & Lopes, 2007). Além disso, observou que após o período reprodutivo, ou seja, em novembro/2020, março/2021 e setembro/2021, as folhas apresentaram aumento nos valores de teores e rendimentos desses OEs. Isto evidencia, que a produção desses metabólitos secundários foi deslocada para as folhas quando as plantas não possuíam mais espigas (Figura 1 A e B).

Figura 2 - Análise do teor e rendimento do óleo essencial das folhas e espigas de *Piper tuberculatum* quando a planta está em seu período reprodutivo em outubro de 2020 e fevereiro e agosto de 2021.



1- Barras da mesma cor entre os meses seguidos de letras minúsculas iguais não diferem significativamente a 5% (Teste Scott Knott).

2- Barras de cores diferentes seguidas de letras maiúsculas diferentes em cada mês apresentam diferença significativa a 1% (Teste T).

Fonte: Nascimento *et al.* (2022)

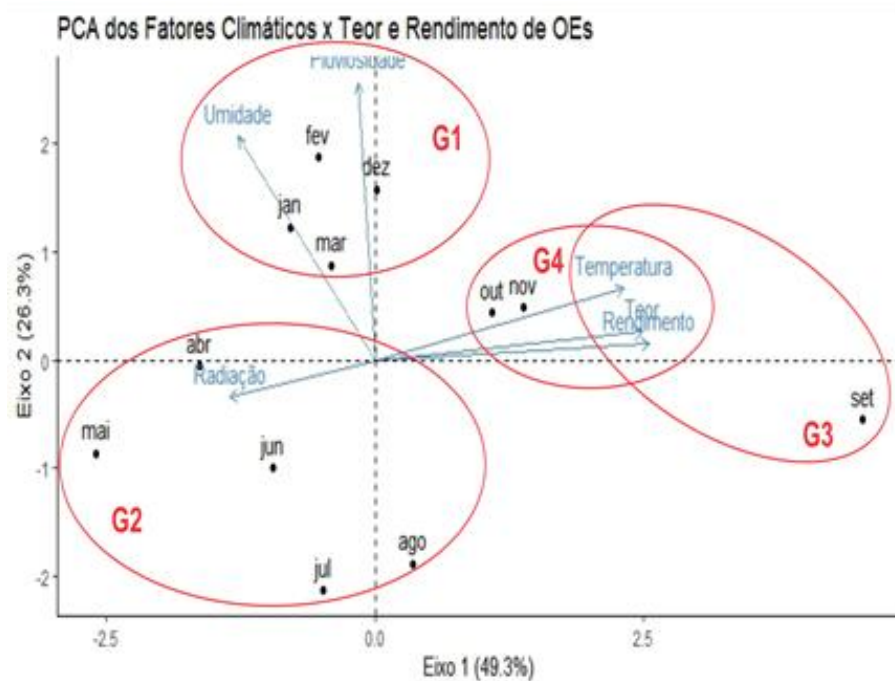
Ao analisar os efeitos dos fatores climáticos com o teor e o rendimento dos OEs através da Análise de Componentes Principais (ACP) foram observados vários agrupamentos relacionados:

- Grupo 1 (G1): agrupa a pluviosidade e umidade com os meses de dezembro/20, janeiro/21, fevereiro/21 e março/21, que é o período de maior incidência de chuvas observado para a região de Tangará da Serra;
- Grupo 2 (G2): agrupa a radiação com os meses de abril/21, maio/21, junho/21, julho/21 e agosto/21, período que as chuvas diminuem e aumenta a radiação (G2);
- Grupo 3 (G3): agrupa a temperatura, teor e rendimento com o mês de setembro/21, período final de seca e início das primeiras chuvas; e
- Grupo 4 (G4): agrupa a temperatura, teor e rendimento com os meses de outubro/20 e novembro/20 (Figura 3).

Os eixos 1 e 2 da ACP corresponderam a 75,6% da variação dos resultados e revelaram que o teor e o rendimento dos OEs de *P. tuberculatum* não são afetados positivamente pelas variáveis de radiação, umidade

relativa do ar e precipitação. Enquanto, a variável climática de temperatura está interferindo positivamente na produção dos OEs de *P. tuberculatum* tanto para o teor quanto para o rendimento (Figura 3).

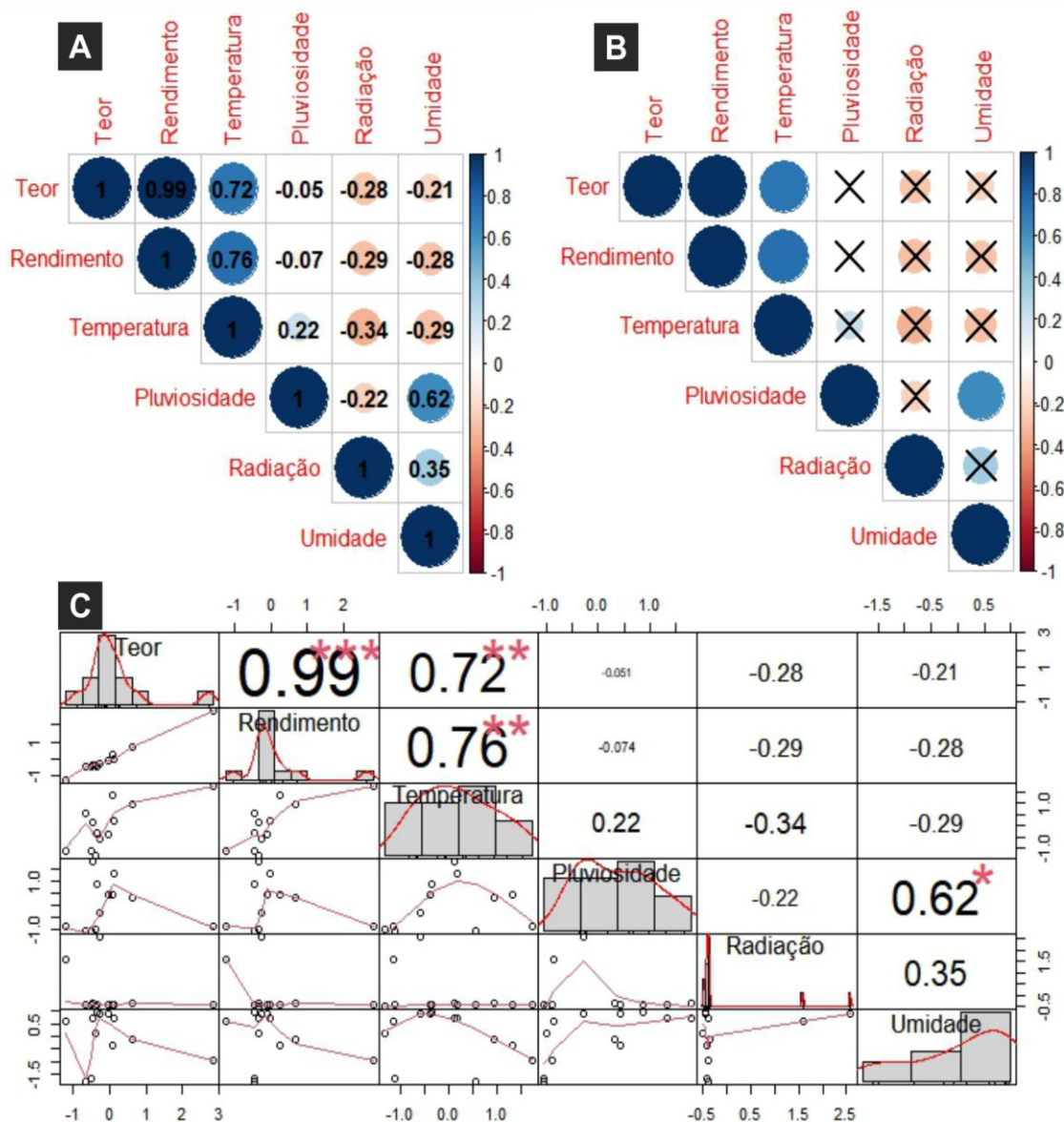
Figura 3 - Análise das Componentes Principais Individuais das coletas mensais realizadas de outubro de 2020 a setembro de 2021 em função das variáveis temperatura, precipitação, radiação, umidade relativa do ar, teor e rendimento do óleo essencial de *Piper tuberculatum*.



Fonte: Nascimento *et al.* (2022)

Nas análises de Correlação e de análise de Performance foram verificados que os teores e os rendimentos dos OEs de *P. tuberculatum* mostraram uma correlação significativamente forte e positiva (0,99), e que a variável climática de temperatura também é significativamente correlacionada positivamente para o teor (0,72) e rendimento (0,76), indicando que em temperaturas mais elevadas ocorre maior produção de OEs. Por outro lado, as variáveis de precipitação, radiação e umidade relativa do ar apresentaram correlação neutra ou negativa com o teor e o rendimento (Figura 4).

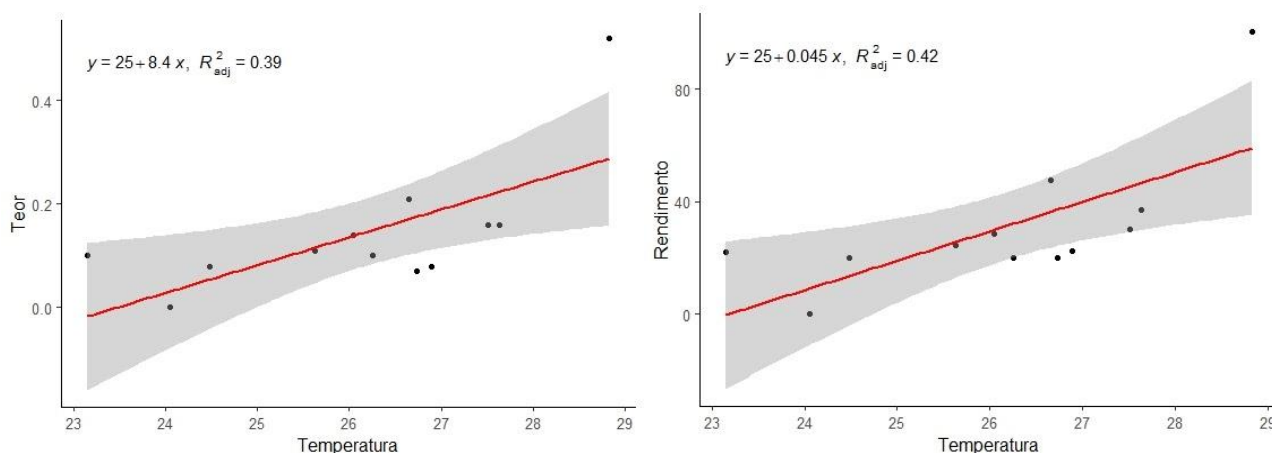
Figura 4 - Análise de Correlação do teor (A) e rendimento (B) do óleo essencial de *Piper tuberculatum* em função das variáveis temperatura, precipitação, radiação e umidade relativa do ar. Análise de Performance (C) para cada conjunto de variáveis da análise de correlação.



* correlação significativa (p entre 0.01 e 0.05); ** correlação significativa (p entre 0.001 e 0.01); e *** correlação significativa (p < 0.001).
Fonte: Nascimento *et al.* (2022)

Como o teor e o rendimento apresentaram correlação positiva significativa com a variável temperatura, foi realizada a Regressão Linear Simples entre estas variáveis para verificar a interação entre os fatores. Como resultado das regressões pode-se observar que o teor e o rendimento do OE de *P. tuberculatum* aumentaram com o acréscimo da temperatura (Figura 5). Os resultados das regressões lineares demonstraram efeito significativo positivo da temperatura sobre o teor e rendimento dos OEs de *P. tuberculatum*, porém somente este fator não foi capaz de explicar grande parte das variações dos dados observados, o que justifica pelos baixos valores de r ($r^2 = 0,39$ e $r^2 = 0,42$ respectivamente). Isso sugere que outros fatores que não foram analisados no presente estudo também podem estar afetando o teor e rendimento dos OEs, como o ritmo circadiano, desenvolvimento das plantas, nutrientes disponíveis no solo, poluição atmosférica, estímulos mecânicos e ataque de patógenos, como já relatado por Gobbo-Neto & Lopes (2007).

Figura 5 - Análise de Regressão Linear Simples com os parâmetros de temperatura (x) e teor (%) e rendimento (y) do óleo essencial de *Piper tuberculatum*.



Fonte: Nascimento *et al.* (2022)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, ao analisar os resultados apresentados dos OEs de *P. tuberculatum* foi evidenciado que os maiores teores de OEs obtidos das folhas seguem os períodos de produção das espigas em outubro-20, novembro-20, dezembro-20, março-21 e setembro-21. Em adição, no ano de 2021 ocorreu um período de seca severa em Tangará da Serra; assim, foi observado que durante os meses finais de estiagem o córrego situado no local de coleta estava secando, e em setembro foram constatadas que as folhas de *P. tuberculatum* também estavam murchando e com aspecto amarelado. Porém, em setembro ocorreram as primeiras chuvas, o que provavelmente ocasionou uma resposta fisiológica nas plantas, causando a síntese e um maior acúmulo de OEs nesse mês.

Outro ponto constatado para *P. tuberculatum*, é que seu período reprodutivo ocorreu três vezes durante o ano (outubro-20, fevereiro-21 e agosto-21), diferentemente da maioria das espécies desse gênero que geralmente produzem estruturas reprodutivas uma vez por ano (Marquis, 1988). Desse modo, ao realizar a comparação da produção dos OEs obtidos das folhas e das espigas de *P. tuberculatum* foi mostrado que no período reprodutivo a planta alocou a maior parte do OE no fruto.

Esses resultados vão de encontro ao relato que a composição química e o teor de óleo essencial podem sofrer alterações durante as estações do ano (Morais, 2009). Portanto, podemos observar que o OEs das folhas de *P. tuberculatum* tem um alto teor e rendimento no período de seca e logo após seu período reprodutivo, e são influenciados principalmente por temperaturas mais elevadas. Além disso, ressaltamos que são necessários mais estudos com os OEs de *P. tuberculatum*, testando por exemplo protocolos que otimizem a obtenção de maiores quantidade de OEs através do processamento das folhas e espigas, através de estratégias como cortar e/ou triturar as estruturas vegetais para realizar as extrações.

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 trabalho.

REFERÊNCIAS

- Almeida, L. F. R., Portella, R. D. O., Bufalo, J., Marques, M. O. M., Facanali, R., & Frei, F. (2016). Non-oxygenated sesquiterpenes in the essential oil of *Copaifera langsdorffii* Desf. increase during the day in the dry season. *PLoS One*, 11(2), e0149332.
- Brú, J., & Guzman, J. D. (2016). Folk medicine, phytochemistry and pharmacological application of *Piper marginatum*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26, 767-779.
- Burbott, A. J., & Loomis, W. D. (1967). Effects of light and temperature on the monoterpenes of peppermint. *Plant Physiology*, 42, 20-28.
- Camargo, R. G. D. (2018). Variação sazonal e regional dos óleos essenciais de *Piper marginatum* Jacq. (Piperaceae). (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná).
<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/66362/R%20-%20D%20-%20REBECA%20GABRIEL%20DE%20CAMARGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dehsheikh, A. B, Mahmoodi Sourestani, M., Boveiri Dehsheikh, P., Vitalini, S., Iriti, M., & Mottaghipisheh, J. (2019). A comparative study of essential oil constituents and phenolic compounds of Arabian Lilac (*Vitex Trifolia* var. *Purpurea*): An evidence of season effects. *Foods*, 8(2), 52.
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: A critical review. *Medicines*, 3(4), 25.
- Gobbo-Neto, L., & Lopes, N. P. (2007). Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química nova*, 30, 374-381.
- Gogosz, A. M., Boeger, M. R. T., Negrelle, R. R. B., & Bergo, C. (2012). Anatomia foliar comparativa de nove espécies do gênero *Piper* (Piperaceae). *Rodriguésia*, 63, 405-417.
- Jacinto, A. C. P., de Souza, L. P., Nakamura, A. T., Carvalho, F. J., Simão, E., Zocoler, J. L., & Bergo, C. L. (2018). Formação de idioblastos e produção de óleo essencial em cultivo irrigado de *Piper aduncum*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 447-452.
- Krinski, D., & Foerster, L. A. (2016). Toxicidade de óleos essenciais das folhas de espécies de Piperaceae sobre ovos de percevejo do colmo do arroz, *Tibraca limbativentris* (Hemiptera: Pentatomidae). *Ciência e Agrotecnologia*, 40(6), 676-687.
- Krinski, D., Foerster, L. A., & Deschamps, C. (2018). Ovicidal effect of the essential oils from 18 Brazilian *Piper* species: controlling *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera, Erebidae) at the initial stage of development. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 40.
- Marquis, R. J. (1988). Phenological variation in the neotropical understory shrub *Piper arielanum*: causes and consequences. *Ecology*, 69(5), 1552-1565.
- Morais, L. A. S. (2009). Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Horticultura Brasileira*, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. S3299-S3302, ago. 2009. CD-ROM. Suplemento. Trabalho apresentado no 49. Congresso Brasileiro de Olericultura, Águas de Lindóia, SP.

R Core Team. (2021). R: *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna (Online): <https://http://www.r-project.org/>

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>

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, T. D., de Souza, M. T., de Souza, M. T., Cipriano, R. R., Bizzo, H. R., & Deschamps, C. (2021). Essential oil variation in Brazilian *Varronia curassavica* Jacq. in response to drying and edaphoclimatic conditions. *Journal of Agricultural Science*, 13(8).

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., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.