

EFEITO DO TEMPO DE EXTRAÇÃO SOBRE O TEOR E RENDIMENTO DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS INTEIRAS DE *Piper divaricatum* (PIPERACEAE)

EFFECT OF EXTRACTION TIME ON ESSENTIAL OIL CONTENT AND YIELD OF WHOLE LEAVES FROM *Piper divaricatum* (PIPERACEAE)

EFFECTO DEL TIEMPO DE EXTRACCIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE ACEITE ESENCIAL Y EL RENDIMIENTO DE HOJAS ENTERAS DE *Piper divaricatum* (PIPERACEAE)

Rafael Cappellari^{1*} ; Mireli Trombin de Souza³ ; Michele Trombin de Souza² ; Diones Krinski^{4*} 

¹Estudante de Ciências Biológicas, Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Universitário Professor Eugênio Carlos Stieler, Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil; Doutora, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ/UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil; ³Doutora, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade (PPGFs/UFPR), Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil; ⁴Doutor, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor Adjunto do Curso de Ciências Biológicas da UNEMAT, Campus Universitário Professor Eugênio Carlos Stieler, Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil.

*Autor correspondente: rafael.c@unemat.br

Recebido: 30/03/2026 | Aprovado: 02/05/2026 | Publicado: 11/05/2026

Resumo: Os óleos essenciais (OEs) podem ser extraídos de diferentes locais das plantas, e geralmente o processo de destilação utiliza a água ou o seu vapor para facilitar a extração/liberação do OE das células secretoras ou de armazenamento. Todavia, a busca por estratégias simples para extração de OEs tem sido impulsionada por fatores como o elevado tempo de destilação e possibilidade de degradação térmica do material vegetal. Assim, o objetivo deste trabalho foi testar diferentes tempos de hidrodestilação para obtenção do OE de folhas frescas inteiras de *Piper divaricatum* provenientes de Tangará da Serra/MT. Para isso, folhas foram coletadas numa população nativa de um remanescente florestal e levadas aos laboratórios da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Tangará da Serra/MT, onde foram colocadas em balões de fundo redondo de 2L contendo 1L de água destilada para hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger modificado nos diferentes tempos de extração/tratamentos (4, 3, 2 e 1h) em triplicatas de 100g. Os OEs obtidos foram quantificados e os dados analisados estatisticamente (ANOVA e teste *Scott-Knott* a 5%). Os resultados mostraram maiores valores de teor e rendimento de OE obtidos a partir de 3h de extração. Esta informação é importante, porque reduz o tempo geralmente indicado para extrações de OE de outras espécies de *Piper*, evita o desperdício de água e reduz o consumo de energia. Entretanto, sugerimos que outras pesquisas sejam realizadas em outras regiões geográficas para se verificar se esse padrão se mantém, além de mais estudos com *P. divaricatum*.

Palavras-chave: Metabólitos secundários. Técnicas de destilação de óleo essencial. Tangará da Serra. Mato Grosso.

Abstract: Essential oils (EOs) can be extracted from different locations on plants, and the distillation process usually uses water or your vapor to facilitate EO extraction/release from secretory or storage cells. However, the search for simple strategies for EO extraction has been driven by factors such as the long distillation time and the possibility of thermal degradation of the plant material. Thus, the objective of this work was to test different hydrodistillation times to obtain the EO of whole fresh leaves of *Piper divaricatum* from Tangará da Serra/MT. For this, leaves were collected from a native population of a forest remnant and sent to the laboratories of the Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Tangará da Serra/MT, where they were placed in 2L round-bottomed flasks containing 1L of distilled water to hydrodistillation in a modified Clevenger type apparatus at different extraction times/treatments (4, 3, 2 and 1h) in triplicate of 100g. The OEs obtained were quantified and the data analyzed statistically (ANOVA and 5% Scott-Knott test). The results showed higher values of EO content and yield obtained after 3h of extraction. This information is important because it reduces the time generally indicated for EO extractions from other *Piper* species, avoids wasting water and reduces energy consumption. However, we suggest that further research be carried out in other geographic regions to verify if this pattern is maintained, in addition to further studies with *P. divaricatum*.

Keywords: Secondary metabolites. Essential oil distillation techniques. Tangara da Serra. Mato Grosso.

Resumen: Los aceites esenciales (AE) se pueden extraer de diferentes lugares de las plantas, y el proceso de destilación

generalmente usa agua o su vapor para facilitar la extracción/liberación del AE de las células secretoras o de almacenamiento. Sin embargo, la búsqueda de estrategias simples para la extracción de AEs ha sido impulsada por factores como el largo tiempo de destilación y la posibilidad de degradación térmica del material vegetal. Así, el objetivo de este trabajo fue probar diferentes tiempos de hidrodestilación para obtener el EO de hojas frescas enteras de *Piper divaricatum* de Tangará da Serra/MT. Para ello, se recogieron hojas de una población nativa de un remanente de selva y se enviaron a los laboratorios de la Universidad del Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Tangará da Serra/MT, donde se colocaron en frascos de vidrio de fondo redondo de 2L que contenían 1L de agua destilada para hidrodestilación en un aparato tipo Clevenger modificado a diferentes tiempos de extracción/tratamientos (4, 3, 2 y 1h) por triplicado de 100g. Los AE obtenidos fueron cuantificados y los datos analizados estadísticamente (ANOVA y prueba de Scott-Knott al 5%). Los resultados mostraron mayores valores de contenido y rendimiento de AE obtenido a partir de 3h de extracción. Esta información es importante porque reduce el tiempo generalmente indicado para las extracciones de AE de otras especies de *Piper*, evita el desperdicio de agua y reduce el consumo de energía. Sin embargo, sugerimos que se realicen más investigaciones en otras regiones geográficas para verificar si este patrón se mantiene, además de más estudios con *P. divaricatum*.

Palabras-clave: Metabolitos secundarios. Técnicas de destilación de aceites esenciales. Tangará da Serra. Mato Grosso.

1 INTRODUÇÃO

A produção dos óleos essenciais (OEs) derivam da atividade metabólica das plantas, os metabolismos primários são reações químicas responsáveis pela criação e utilização dos recursos energéticos que mantém a vida nos organismos (Sakomura *et al.*, 2004), a fotossíntese realizada pelas folhas das plantas é responsável pela síntese de carboidratos, proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, entre eles o óleo vegetal não volátil (Sakomura *et al.*, 2004; De Rezende *et al.*, 2016). O metabolismo secundário também feito pelas folhas, não está ligado com o sistema de produção de energia da célula, mas de um segundo metabolismo que procede o primário (De Rezende *et al.*, 2016), atuando na plasticidade da planta, tornando-a capaz de ser adaptável ao meio, fornecendo resistência aos fatores bióticos e abióticos do ambiente (De Rezende *et al.*, 2016; Corpes, Menezes & Silva, 2017).

Entre os sete principais biomas do Brasil (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal e zonas costeiras) (IPAM AMAZÔNIA, 2015), e em meio às suas riquezas, podemos encontrar diversos tipos de organismos da flora, onde planta possui sua particularidade, cabendo ao homem explorá-la das mais diversas maneiras ou possibilidades (Bizzo, Hovell & Rezende, 2009). Assim, dentre as diversas plantas com potenciais de produção de OEs, 300 espécies de plantas se destacam na produção dos óleos para uso comercial, algumas das plantas são, bergamota, cânfora, cravo-da-índia, cedro, citronela, coentro, eucalipto, grapefruit, hortelã-pimenta, laranja, lavanda, limão, menta japonesa (Bizzo, Hovell & Rezende, 2009; Forzza *et al.*, 2010). Estes OEs podem ser extraídos de diferentes locais da planta, como de flores, folhas, pericarpo do fruto, casca do caule, raízes e rizomas. O Brasil apresenta uma maior taxa de exportação de OEs advindas de plantas cítricas, principalmente a laranja, limão, hortelã-pimenta e outras mentas e cítricos. Mas também apresenta uma taxa de produção de óleos de lavanda, lima, bergamota, cravo-da-índia, gerânio, vetiver e jasmim (Bizzo, Hovell & Rezende, 2009).

Espécies do gênero *Piper* (Família Piperaceae) vêm destacando-se em pesquisas na área da química e prospecção biotecnológica por apresentarem-se capazes de produzir metabólitos secundários e OEs com potencial biotecnológico para diversos fins, como na agricultura sendo estudados devido apresentarem atividade antimicrobiana, inseticida e repelente, ovicida, acaricida, entre outras (Araújo *et al.*, 2012; Brú & Guzman, 2016; Chanprapai & Chavasiri, 2017; Valadares *et al.*, 2018; Krinski, Foerster & Deschamps, 2018; Oliveira *et al.*, 2020). Os OEs deste gênero são obtidos a partir das folhas, ramos e inflorescências, cortados ou inteiros, secos ou frescos,

com várias espécies apresentando componentes majoritários importantes em seus OEs, como o safrol em *Piper hispidinervum*, γ -terpineno, α -terpineno e ρ -cimeno em *Piper hispidum*, 3,4metilenodioxi-propiofenoma em *Piper marginatum*, safrol e beta-pipeno em *Piper callosum*, biciclogermacreno, 10-epi- γ -eudesmole óxido de cariofileno em *Piper arboreum*, cis- β -ocimeno e β -cariofileno em *Piper dilatatum*, miristicina em *Piper abutiloides*, asaricina e miristicina em *Piper aduncum*, biciclogermacreno em *Piper amalago*, asaricina em *Piper fuliginum*, (E)- cariofileno, 1-epi-cubenol e cadaleno em *Piper gaudichaudianum*, germacreno β em *Piper tuberculatum*, (E)- cariofileno em *Piper moseni*, germacreno D, valenceno, γ -cadineno, safrol em *Piper divaricatum*, entre outros (Barbosa *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2014; Da Silva *et al.*, 2014; Dos Santos *et al.*, 2018; Krinski, Foerster & Deschamps, 2018; Jaramillo, 2019; Vilhena *et al.*, 2019; De Oliveira *et al.*, 2019; Merlimau, 2020; De Santana *et al.*, 2021).

A espécie *P. divaricatum* G. Mayer 1818, conhecida popularmente como betle, betro, betys, pau-da-angola, jaborandi-manso ou betre, é uma planta comumente encontrada no Brasil exceto nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Tocantins, Piauí, Rio Grande do Norte e Paraíba (Yuncker, 1973; Guimarães & Giordano, 2004; Guimarães & Monteiro, 2006, Guimarães, Medeiros & Queiroz, 2020). Esta espécie possui raízes aromáticas com sabor similar ao gengibre e na medicina popular é utilizada em formato de infusão (chá) no combate de cólicas e dores reumáticas, e as raízes e as folhas cozidas são utilizadas em banhos com a mesma finalidade (Peckolt & Peckolt, 2016). Apresentando potencial na área agrícola no manejo de pragas agindo como pesticida (Krinski, Foerster & Deschamps, 2018; De Souza *et al.*, 2020; Merlimau, 2020; De Santana *et al.*, 2021) e apresenta potencial medicinal, uma vez que, possui efeitos antioxidantes e antifúngicos (Silva *et al.*, 2010; Duarte & Silva, 2017).

Segundo Ferreira (2014), geralmente os processos de destilação de OEs utilizam a água ou o seu vapor para facilitar a extração e liberação das essências das suas células secretoras ou de armazenamento. No entanto, embora estas técnicas básicas de destilação estejam bastante consolidadas, a busca por estratégias simples nas técnicas de extração tem sido impulsionada por fatores como o elevado tempo de destilação e possibilidade de degradação térmica do material vegetal (Lucchesi *et al.*, 2004). Considerando isto, o objetivo deste trabalho foi testar diferentes tempos de hidrodestilação do OE de folhas frescas inteiras de *P. divaricatum* proveniente de Tangará da Serra-MT, e verificar se o teor e o rendimento são afetados pelo tempo de extração.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As extrações das folhas frescas de OE de *P. divaricatum* foram realizadas nos laboratórios do Centro de Pesquisas, Estudos e Desenvolvimento Agro-Ambientais (CPEDA), Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Universitário Professor Eugênio Carlos Stieler, Tangará da Serra/MT.

2.1 Coleta de material

A coleta das folhas frescas de *P. divaricatum* ocorreu em setembro de 2021 de uma população nativa, a partir de espécimes situadas no sub-bosque em um remanescente florestal em Tangará da Serra (14°38'10" S - 57°29'52" W - altitude de 411 m) (Figura 1).

Figura 1 – Planta de *P. divaricatum*, Tangará da Serra/MT.

Fonte: O autor (2021).

2.2 Extração do óleo essencial

Após a coleta das folhas de *P. divaricatum*, elas foram colocadas em balões de fundo redondo com capacidade para 2L contendo 1L de água destilada, e foram submetidas à hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger modificado em triplicatas de 100g nos diferentes tempos de extração/tratamentos (4, 3, 2 e 1h de extração) (Sartor, 2009). Os OEs obtidos depois de cada tempo de extração foram guardados em microtubos de 1,5 μ L para posterior quantificação e verificação de seu teor e rendimento.

2.3 Quantificação do teor de umidade das folhas

Após a coleta das folhas e de *P. divaricatum* também foi realizada a quantificação do teor de umidade (TU) para cada parte vegetal. Para isso, foram separadas triplicatas de 20g de folhas frescas para secagem em estufa a 50 °C, até atingirem o peso constante. O TU foi obtido pela seguinte equação: $TU\% = (mu - ms) / (mu) * 100$. Onde $TU\%$ = teor de umidade; mu = massa úmida (g); ms = massa seca (g); e 100 = fator de conversão para porcentagem. O TU foi posteriormente empregado no cálculo de teor do OE, mais especificamente os valores de massa das folhas e flores frescas em relação à base úmida ($MF BU$) e à base seca ($MF BS$) das folhas. A $MF BS$ foi corrigida por meio da equação: $MF BS = ((100 - TU) * MF BU) / 100$.

2.4 Determinação do teor e rendimento dos OEs

A quantificação dos OEs foi feita utilizando balança analítica, onde foi aferida a densidade dos OEs extraídos, utilizando uma micropipeta (LabMATE® 2-20 μ L) para coletar 20 μ L de OE de cada amostra o qual foi pesado em uma balança de precisão Shimadzu® AY220. 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 (μ L). 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: $VO = m_{oe} / de$, sendo VO = volume total de óleo essencial obtido de 100 g de material vegetal; m_{oe} = massa total do óleo essencial extraído (mg); e de = densidade do óleo essencial extraído.

O volume total dos OEs (mm^3) foi considerado como rendimento do OE obtido a partir das extrações de

100g de folhas e flores frescas ($RO =$ volume de óleo em 100g 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.

2.5 Delineamento Experimental e Análise estatística

O Delineamento experimental foi Inteiramente Casualizado (DIC) com a realização de um bioensaio contendo quatro tratamentos/tempos de extração dos OEs (4h, 3h, 2h e 1h) utilizando folhas frescas inteiras de *P. divaricatum*. Os dados do teor e rendimento para os diferentes tratamentos foram submetidos aos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias. Nas análises foi utilizado o teste F para a Análise de Variância (ANOVA) e quando constatada significância, as médias foram comparadas pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade com o auxílio do software Assistat versão 7.7 beta (Silva & Azevedo, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em nosso estudo a Análise de Variância (ANOVA) mostrou existir diferença significativa no teor e no rendimento entre os OEs obtidos de folhas frescas inteiras de *P. divaricatum* a partir de diferentes tempos de extração (Tabela 1). E ao analisar os diferentes tempos de extração testados, verificou-se que tanto o teor (quantidade de óleo por grama de material vegetal em %) quanto no rendimento (volume de OE extraído em mm^3) apresentaram melhores resultados a partir de 3h de extração (Figura 2). Pode-se notar que as quantidades de OE obtidas foram aumentando com o passar do tempo de extração, mostrando resultados significativamente diferentes a partir de 2h de extração (Figura 2).

Tabela 1 – Análise de Variância (ANOVA) do teor e rendimento de óleo essencial extraído de folhas frescas inteiras de *Piper divaricatum*, Tangará da Serra/MT. 2021.

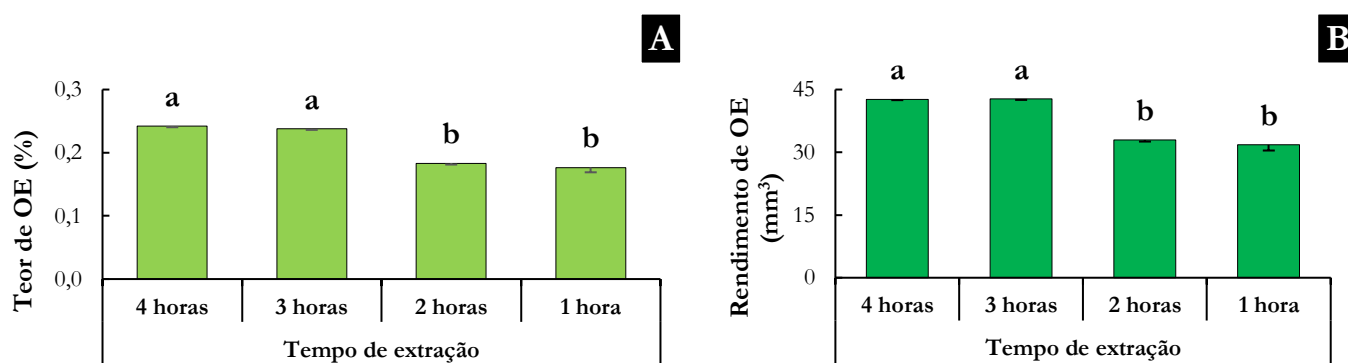
Fonte de variação	G. L.	Valores de F	
		Teor (%)	Rendimento (mm^3)
Tratamentos	3	21.2148 **	21.2680 **
Resíduos	8	-	-
p-valor	-	0.0002	0.0002
C. V.	-	6.23	6.01

Nota: ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) (teste Scott-Knott a 5%).

G. L.= grau de liberdade; C. V.= Coeficiente de variação.

Fonte: Os autores (2022).

Figura 2 – Quantidade de óleo essencial (OE) obtidos de folhas frescas inteiras de *Piper divaricatum* após diferentes tempos de extração (4, 3, 2 e 1h). A) Teor de OE (%); B) Rendimento de OE (mm^3).



Nota: Barras seguidas de letras diferente apresentam diferença significativa entre as partes vegetais pelo teste Scott-Knott a 1%
Fonte: Os autores (2022).

Estes dados apontam que dependendo do tempo de extração utilizado, diferentes quantidades de OE podem ser obtidas. Isso pode ser explicado fisicamente, onde com o aumento do tempo que as folhas ficam sendo extraídas sob temperatura constante, a parede celular das plantas, que são formadas por substâncias como a celulose, hemicelulose e a lignina (e dão certa rigidez celular atuando como uma estrutura de sustentação anatômica), vão sendo afetadas durante o processo de extração por hidrodestilação (Costa, 2005; Farinas, 2011; Coelho, 2016; Crivellari, 2016). Segundo Coelho (2016), também podemos compreender os resultados obtidos através dos conceitos de condução de calor da física e da química, onde uma fonte de calor (como a manta térmica utilizada para extração neste trabalho), permitiu aquecer o material orgânico e o calor produzido pelo equipamento foi transferido para a água destilada presente no interior do balão, que por sua vez esquentou o material orgânico. Esta informação vai de encontro com a Lei de Fourier sobre a condutividade térmica entre diferentes materiais, e por sua vez explica que a água aquecida pelo balão aquece subsequentemente as folhas contidas nele (Coelho, 2016). Esses dados corroboram com o observado neste trabalho com folhas de *P. divaricatum*, uma vez que, os maiores valores de OE foram obtidos em tempos mais longos de extração, onde o material vegetal ficou em contato com uma fonte de calor por maior período. Além disso, Menezes-Júnior (1946) relatou a muito tempo, que os vegetais sofrem alterações morfológicas e estruturais quando alocadas em situações de temperatura elevada, onde as paredes celulares que formam a planta perdem parcialmente sua de rigidez, tornando elas maleáveis e suscetíveis a mudanças fisiológicas.

Reiteramos que neste trabalho buscamos entender somente questões relacionadas a otimização do tempo de extração para obtenção do OE de folhas inteiras da espécie *P. divaricatum* em maior quantidade através da hidrodestilação. Ao mesmo tempo que é importante levantar outras questões para estudos posteriores, como por exemplo, realizar pesquisas para obtenção de OE utilizando outras partes da planta como com os frutos, ramos e raízes como realizado em outros estudos (Almeida, 2007; Chaves, 2008; Meireles, 2014). Bem como estudar os efeitos sazonais e do ciclo circadiano desta espécie proveniente de diferentes regiões, além de realizar experimentos realizando a fragmentação do material vegetal, com o intuito de facilitar a remoção do óleo das estruturas glandulares da planta em menor tempo (Busato *et al.*, 2014; Schindler, Silva & Heinzmann, 2018; Santos-Ferreira *et al.*, 2020).

Sugerimos isso, pois embora os estudos com OEs da família Piperaceae serem relativamente recentes, e considerando o que foi exposto neste trabalho, podemos perceber que vários outros estudos que podem ser

realizados, como por exemplo caracterizando o perfil químico, a atividade antimicrobiana e fitoinseticida, a propagação/domesticação, entre outros estudos para o OE de *P. divaricatum*, como já tem sido realizado com várias espécies do gênero *Piper* por vários autores nos últimos anos (Calderari, 2002; Souto, Harada & Souza Maia, 2011; Gomes & Krinski, 2016; 2017; 2018ab; 2019; 2020; Krinski & Foerster, 2016; Sanini *et al.*, 2017; Ferriani *et al.*, 2018; Krinski; Deschamps & Foerster, 2018; Krinski, Foerster & Deschamps, 2018; Ferriani & Krinski, 2019ab; De Souza *et al.*, 2020). Também podem ser realizados estudos a respeito da morfologia e anatomia da *P. divaricatum* como já realizado por Nascimento & Potiguara (1999) com *Piper hispidinervum* para obter informações importantes e relevantes para a compreensão da formação e origem do OE, como a presença de tricomas tectores, secretoras, glândulas reluzentes e células oleíferas abundantes nas folhas. Assim, nota-se que é de suma importância realizar pesquisas futuras para identificar se as estruturas secretoras de OE de *P. divaricatum* são originárias de locais análogos (ou não) das já relatadas para outras espécies da família Piperaceae.

4 CONCLUSÃO

Concluimos que extração de OE utilizando folhas inteiras de *P. divaricatum* apresentaram diferentes teores e rendimentos nos tempos de extração testados, com maiores quantidades de OEs a partir de 3h de extração.

Conflitos de interesses

Todos os autores estão conscientes da submissão, declarando que não há conflitos de interesse.

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

- Almeida, J. G. L. (2007). *Contribuição ao conhecimento químico de plantas do nordeste: Andira surinamensis e Piper divaricatum*. (Dissertação de Mestrado em Química Orgânica) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Araújo, M. J., Câmara, C. A., Born, F. S., Moraes, M. M., & Badji, C. A. (2012). Acaricidal activity and repellency of essential oil from *Piper aduncum* and its components against *Tetranychus urticae*. *Experimental and Applied Acarology*, 57(2), 139-155.
- Barbosa, Q. P., da Câmara, C. A., Ramos, C. S., Nascimento, D. C., Lima-Filho, J. V., & Guimarães, E. F. (2012). Chemical composition, circadian rhythm, and antibacterial activity of essential oils of *Piper divaricatum*: a new source of safrole. *Química Nova*, 35, 1806-1808.
- Bizzo, H. R., Hovell, A. M. C., & Rezende, C. M. (2009). Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Química Nova*, 32, 588-594.
- Brú, J. & Guzman, J. D. (2016). Folk medicine, phytochemistry and pharmacological application of *Piper marginatum*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26, 767-779.

- Busato, N. V., Silveira, J. C., Costa, A. O. S. D., & Costa Junior, E. F. D. (2014). Estratégias de modelagem da extração de óleos essenciais por hidrodestilação e destilação a vapor. *Ciência Rural*, 44, 1574-1582.
- Calderari, M. T. (2002). *Estudo dos óleos essenciais de Piperaceae do Vale do Itajaí em Santa Catarina*. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- Chanprapai, P., & Chavasiri, W. (2017). Antimicrobial activity from *Piper sarmentosum* Roxb. against rice pathogenic bacteria and fungi. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(11), 2513-2524.
- Chaves, J. H. (2008). *Contribuição ao estudo químico de Piper divaricatum e Schinus terebinthifolius*. (Dissertação de Mestrado em Química), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Coelho, J. C. M. (2016). *Energia e fluidos: transferência de calor (vol. 3)*. Editora Blucher.
- Corpes, R., De Menezes, I. C., Da Silva, J. M. C., & Rodrigues Junior, O. M. (2017). Germinação in vitro e formação de plântulas de *Piper divaricatum* G. Mayer sob diferentes condições de cultivo. In A. T. S. Alfaro, D. G. Trojan (Orgs) *Ciências ambientais e o desenvolvimento sustentável na Amazônia*. (pp. 68-76) Curitiba: Atena.
- Costa, L. C. D. B., Corrêa, R. M., Cardoso, J. C. W., Pinto, J. E. B., Bertolucci, S. K., & Ferri, P. H. (2005). Secagem e fragmentação da matéria seca no rendimento e composição do óleo essencial de capim-limão. *Horticultura Brasileira*, 23, 956-959.
- Crivellari, A. C. (2016). *Caracterização estrutural das hemiceluloses de paredes celulares de cana-de-açúcar* (Tese de Doutorado), Universidade de São Paulo.
- Da Silva, J. K. R., Andrade, E. H. A., Guimaraes, E. F., & Maia, J. G. S. (2010). Essential oil composition, antioxidant capacity and antifungal activity of *Piper divaricatum*. *Natural Product Communications*, 5(3), 1934578X1000500327.
- Da Silva, J. K. R., Silva, J. R. A., Nascimento, S. B., Da Luz, S. F., Meireles, E. N., Alves, C. N., ... & Maia, J. G. S. (2014). Antifungal activity and computational study of constituents from *Piper divaricatum* essential oil against *Fusarium* infection in black pepper. *Molecules*, 19(11), 17926-17942.
- De Oliveira, M. D. L. B., de França, T. A. R., Cavalcante, F. S. A., & Lima, R. A. (2020). O gênero *Piper* no Brasil: o estado da arte da pesquisa. *Biodiversidade*, 19(3).
- De Oliveira, M. S., da Cruz, J. N., Silva, S. G., da Costa, W. A., de Sousa, S. H. B., Bezerra, F. W. F., ... & de Carvalho Junior, R. N. (2019). Phytochemical profile, antioxidant activity, inhibition of acetylcholinesterase and interaction mechanism of the major components of the *Piper divaricatum* essential oil obtained by supercritical CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids*, 145, 74-84.
- De Rezende, F. M., Rosado, D., Moreira, F. A., & de Carvalho, W. R. S. (2016). Vias de síntese de metabólitos secundários em plantas. *Laboratório de Ensino de Botânica*, 93.
- De Santana, M. F., Monteiro, V. B., de Melo, J. P. R., & de Moraes, M. M. (2021). Bioactivity of essential oils for the management of *Tetranychus urticae* Koch and selectivity on its natural enemy *Neoseiulus californicus* (McGregor): A promising combination for agroecological systems. *Acarologia*, 61(3), 564-576.
- De Souza, M. T., de Souza, M. T., Bernardi, D., Krinski, D., de Melo, D. J., da Costa Oliveira, D., ... & 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 and Pollution Research*, 27(12), 13056-13065.
- Dos Santos, W. B., Majolo, C., dos Santos, D. S., Rosa, M. C., Monteiro, P. C., Rocha, M. J. S., ... & Chagas, E. C. (2018). Eficácia *in vitro* de óleos essenciais de espécies de Piperaceae no controle do acantocéfalo *Neoechinorhynchus buttnerae*. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, 12(4), 460-469.

- Duarte, C. K., & Silva, A. D. (2017). Qual o óleo vegetal de uso culinário mais indicado para indivíduos com dislipidemia?. *Journal of Applied Pharmaceutical Sciences*, 4(2), 43-53.
- Farinas, C. S. (2011). A parede celular vegetal e as enzimas envolvidas na sua degradação. São Carlos: *Embrapa Instrumentação, Documentos*.
- Ferreira, A. R. A. & Ferreira (2014). *Uso de óleos essenciais como agentes terapêuticos*. (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) Universidade Fernando Pessoa.
- Ferriani, A. P., & Krinski, D. (2019a). Effect of cuttings defoliation and different substrates on the vegetative propagation of the monkey-pepper (*Piper aduncum* L.) (Piperaceae). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(1), 130-136.
- Ferriani, A. P., & Krinski, D. (2019b). Propagation of pariparoba (Piperaceae) by different types of stem cuttings and substrates. *Acta Biológica Catarinense*, 6(3), 75-80.
- Ferriani, A. P., Gomes, E. N., Krinski, D., & Deschamps, C. (2018). Vegetative propagation of *Piper aduncum* L.(matico) using cuttings of varying lengths and different substrates. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 23(3).
- Forzza, R. C., Leitman, P. M., Costa, A., Carvalho Jr, A. A. D., Peixoto, A. L., Walter, B. M. T., ... & Souza, V. C. (2010). *Catálogo de plantas e fungos do Brasil*. v. 2.
- Gomes, E. N., & Krinski, D. (2016). Propagação vegetativa de *Piper amalago* L. (Piperaceae) em função de tipos de estaca e substratos. *Revista Cultura Agronômica*, 25(2), 199-210.
- Gomes, E. N., & Krinski, D. (2017). Propagação vegetativa de *Piper umbellatum* L. (Piperaceae) em função de substratos e comprimentos de estacas. *Scientia Agraria*, 17(3), 31-37.
- Gomes, E. N., & Krinski, D. (2018a). Enraizamento de estacas apicais, medianas e basais de *Piper aduncum* L. em diferentes substratos. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 17(3), 435-439.
- Gomes, E. N., & Krinski, D. (2018b). *Piper crassinervium* Kunth vegetative propagation: influence of substrates and stem cuttings positions. *Applied Research & Agrotechnology*, 11(3), 51-59.
- Gomes, E. N., & Krinski, D. (2019). Enraizamento de estacas caulinares de *Piper crassinervium* Kunth sob diferentes concentrações de ácido indolbutírico. *Revista de Agricultura Neotropical*, 6(1), 92-97.
- Gomes, E. N., & Krinski, D. (2020). Efeito do ácido indolbutírico no enraizamento de estacas foliares e caulinares de pariparoba (*Piper umbellatum* L.). *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 13(2), 661-678.
- Guimarães, E. F., & Giordano, L. C. D. S. (2004). Piperaceae do Nordeste brasileiro I: estado do Ceará. *Rodriguésia*, 55, 21-46.
- Guimarães, E. F., & Monteiro, D. (2006). Piperaceae na reserva biológica de Poço das antas, Silva Jardim, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia*, 57, 569-589.
- Guimarães, E. F.; Medeiros, E. V. S. S. & Queiroz, G. A. (2021). *Piper* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB12772>
- IPAM AMAZÔNIA (Brasil) (2021). *Bioma*. In: Glossário. IPAM AMAZÔNIA. <https://ipam.org.br/glossario/bioma>

- Jaramillo-Colorado, B. E., Pino-Benitez, N., & Gonzalez-Coloma, A. (2019). Volatile composition and biocidal (antifeedant and phytotoxic) activity of the essential oils of four Piperaceae species from Choco-Colombia. *Industrial Crops and Products*, 138, 111463.
- Krinski, D., & Foerster, L. A. (2016). Toxicity of essential oils from leaves of Piperaceae species in rice stalk stink bug eggs, *Tibraca limbativentris* (Hemiptera: Pentatomidae). *Ciência e Agrotecnologia*, 40, 676-687.
- Krinski, D., Foerster, L. A., & Deschamps, C. (2018). First phytochemical description of essential oils from *Piper cachimboense* (Piperales, Piperaceae). *Acta Amazonica*, 48, 70-74.
- 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.
- Lucchesi, M. E., Chemat, F., & Smadja, J. (2004). Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation. *Journal of Chromatography A*, 1043(2), 323-327.
- Meireles, E. D. N. (2014). *Influência dos metabólitos secundários de Piper divaricatum da região amazônica no controle do Fusarium solani f. sp. piperis causador da fusariose em pimenta do reino*. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém.
- Menezes Junior, J. F. (1946). Investigações sobre alterações da estrutura vegetal pela ação do calor. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 6(2), 183-192.
- Merlimau, M. (2020). Essential oil from Piperaceae as a potential for biopesticide agents: a review. *Food Research*, 4(5), 1-10.
- Nascimento, M. E. D., & Potiguara, R. C. D. V. (1999). Aspectos anatômicos dos órgãos vegetativos de *Piper hispidinervium* C. DC.(Piperaceae) e suas estruturas secretoras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, 15(1), 39-104.
- Peckolt, T., & Peckolt, G. (1888). *História das plantas medicinais e uteis do Brasil* (Dorstenia). 886-896. Rio de Janeiro.
- Sakomura, N. K., Longo, F. A., Rabello, C. B. V., Watanabe, K., Pelícia, K., & Freitas, E. R. (2004). Efeito do nível de energia metabolizável da dieta no desempenho e metabolismo energético de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 1758-1767.
- Sanini, C., Massarolli, A., Krinski, D., & Butnariu, A. R. (2017). Essential oil of spiked pepper, *Piper aduncum* L.(Piperaceae), for the control of caterpillar soybean looper, *Chrysodeixis includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). *Brazilian Journal of Botany*, 40(2), 399-404.
- Santos Ferreira, G. K., Margalho, J. F., Almeida, L. Q., dos Anjos, T. O., Cascaes, M. M., do Nascimento, L. D., & de Aguiar Andrade, E. H. (2020). Avaliação sazonal e circadiana do óleo essencial das folhas de *Piper divaricatum* G. Mey.(Piperaceae). *Brazilian Journal of Development*, 6(6), 41356-41369.
- 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?>
- Schindler, B., Silva, D. T. D., & Heinzmann, B. M. (2018). Efeito da sazonalidade sobre o rendimento do óleo essencial de *Piper gaudichaudianum* Kunth. *Ciência Florestal*, 28, 263-273.
- Silva, F. D. A. S. & Azevedo, C. A. V. (2016). The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, 11, 3733-3740.

Souto, R. N. P., Harada, A. Y., & de Souza Maia, J. G. (2011). Estudos preliminares da atividade inseticida de óleos essenciais de espécies de *Piper* Linneus (Piperaceae) em operárias de *Solenopsis saevissima* F Smith (Hymenoptera: Formicidae), em laboratório. *Biota Amazônia*, 1(1), 42-48.

Valadares, A. C. F., Alves, C. C. F., Alves, J. M., De Deus, I. P., De Oliveira Filho, J. G., Dos Santos, T. C. L., ... & Miranda, M. L. (2018). Essential oils from *Piper aduncum* inflorescences and leaves: chemical composition and antifungal activity against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90, 2691-2699.

Vilhena, C. S., do Nascimento, L. A. S., de Aguiar Andrade, E. H., da Silva, J. K. D. R., Hamoy, M., Torres, M. F., & Barbas, L. A. L. (2019). Essential oil of *Piper divaricatum* induces a general anaesthesia-like state and loss of skeletal muscle tonus in juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*. *Aquaculture*, 510, 169-175.

Yunker, T. G. (1973). The Piperaceae of Brazil II. *Piper-Group V*; Ottonia; Pothomorphe; Sarcorrhachis. v. 3, p. 29-284.