

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DO ÓLEO ESSENCIAL OBTIDO DOS FRUTOS DA *PIMENTA DIOICA* FRENTE ÀS CEPAS *AEROMONAS CAVIAE*, *AEROMONAS HYDROPHILA*, *ENTEROCOCCUS FAECALIS* E *KLEBSIELLA PNEUMONIAE*

CHEMICAL COMPOSITION AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF THE ESSENTIAL OIL OBTAINED FROM THE FRUITS OF *PIMENTA DIOICA* AGAINST THE STRAINS *AEROMONAS CAVIAE*, *AEROMONAS HYDROPHILA*, *ENTEROCOCCUS FAECALIS* AND *KLEBSIELLA PNEUMONIAE*

GOMES, Paulo Roberto Barros^{1*}; SOUZA, Rômicy Dermondes²; SANTOS, Túlio da Fonseca¹; LOUZEIRO, Hilton Costa³; MARINHO, Silvio Carvalho⁴; FONTENELE, Maria Alves⁵; MOUCHREK FILHO, Victor Elias⁴

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. Diretoria de Ensino, Pesquisa e Extensão, Paragominas. Brasil

² Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Brasil

³ Universidade Federal do Maranhão. Departamento de Engenharia Aeroespacial. Brasil

⁴ Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Tecnologia Química. Brasil

⁵ Universidade Federal do Maranhão, Coordenação de Licenciatura em Ciências Naturais, São Bernardo. Brasil

*Autor correspondente
e-mail: prbgomes@yahoo.com.br

Received 12 July 2025; received in revised form 05 November 2025; accepted 06 November 2025

RESUMO

Introdução: Determinadas bactérias, como *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis* e *Klebsiella pneumoniae*, estão ligadas a diferentes tipos de infecções que podem afetar tanto o trato intestinal quanto a pele, além de provocar complicações mais graves, como pneumonias, septicemias e infecções do trato urinário. Essas doenças tornam-se ainda mais preocupantes em pacientes hospitalizados ou com baixa imunidade, o que evidencia a importância de se buscar alternativas eficazes para prevenção e tratamento.

Objetivo: Neste trabalho, investigou-se a composição química óleo essencial dos frutos da *Pimenta dioica* obtido por hidrodestilação e a atividade biológica contra quatro diferentes cepas *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis* e *Klebsiella pneumoniae* do óleo e do padrão eugenol. **Métodos:** Os frutos da espécie *Pimenta dioica* foram coletados na cidade de São Carlos, São Paulo. Após a colheita, esses frutos foram submetidos à secagem a temperatura ambiente e, posteriormente, triturados em um moinho elétrico. A extração do óleo essencial aconteceu por hidrodestilação e o produto foi caracterizado por cromatografia gasosa acoplada ao Espectrômetro de Massa (CG/EM) para identificação dos componentes majoritário presentes. Após a extração e identificação, o do óleo essencial e o padrão do componente majoritário foram testados contra as bactérias *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis* e *Klebsiella pneumoniae* pelo o método de Bauer Kirby. **Resultados e Discussão:** Os resultados mostraram que o principal composto identificado no óleo essencial da *Pimenta dioica* foi o eugenol e que este e o óleo essencial inibiram o crescimento bacteriano, exibindo halos de inibição com dimensões entre 11 e 28 mm, indicando atividade antibacteriana contra os microorganismos testados. Para explicar a atividade biológica observada, estudos anteriores sugerem que a penetração do óleo ocorreu pelo rompimento da camada lipídica e a desestabilização da estrutura celular das bactérias, enquanto o eugenol promoveu o vazamento dos componentes celulares a partir do rompimento da membrana plasmática. **Conclusão:** O óleo essencial dos frutos da *Pimenta dioica* e o padrão eugenol agem como agente antimicrobiano e podem complementar os antibacterianos sintéticos no combate a doenças bacterianas.

Palavras-chave: *Pimenta dioica*, frutos, óleo essencial, eugenol, microorganismos

ABSTRACT

Background: Certain bacteria, such as *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis*, and *Klebsiella pneumoniae*, are associated with various types of infections that may affect the intestinal tract and skin,

as well as cause more severe complications, including pneumonia, septicemia, and urinary tract infections. These conditions are particularly concerning in hospitalized or immunocompromised patients, highlighting the need for effective strategies for their prevention and treatment. **Aim:** In this study, the chemical composition of the essential oil from *Pimenta dioica* fruits obtained by hydrodistillation was investigated, as well as its biological activity against four different strains: *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis*, and *Klebsiella pneumoniae*, both for the oil and the eugenol standard. **Methods:** The fruits of the *Pimenta dioica* species were collected in the city of São Carlos, São Paulo. After harvesting, the fruits were dried at room temperature and subsequently ground in an electric mill. The essential oil was extracted by hydrodistillation, and the product was characterized by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC/MS) to identify the major components present. Following extraction and identification, both the essential oil and the standard of the major component were tested against *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis*, and *Klebsiella pneumoniae* using the Bauer–Kirby method. **Results and Discussion:** The results showed that the main compound identified in *Pimenta dioica* essential oil was eugenol, and that both eugenol and the essential oil inhibited bacterial growth, exhibiting inhibition zones measuring between 11 and 28 mm, indicating antibacterial activity against the microorganisms tested. To explain the observed biological activity, previous studies suggest that oil penetration occurred by disrupting the lipid layer and destabilizing the bacterial cellular structure, while eugenol promoted the leakage of cellular components through disruption of the plasma membrane. **Conclusion:** *Pimenta dioica* essential oil and the eugenol standard act as antimicrobial agents and can complement synthetic antibacterials in combating bacterial diseases.

Keywords: *Pimenta dioica*, fruits, essential oil, eugenol, microorganisms.

1. INTRODUÇÃO:

As bactérias *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis* e *Klebsiella pneumoniae* causam uma variedade de problemas de saúde. As bactérias do grupo *Aeromonas* são conhecidas por provocar infecções intestinais, que levam a diarreia, podendo ser aguda ou persistente, dor de barriga, vômitos e febre. Elas também causam infecções em ferimentos após o contato com água suja ou um machucado, que podem ir de uma inflamação leve da pele até doenças muito graves, que destroem os tecidos do corpo. Além disso, podem entrar na corrente sanguínea e causar uma infecção generalizada (Pessoa *et al.*, 2022). Já a *E. faecalis* e a *K. pneumoniae* são causas importantes de infecções graves, como infecção urinária, pneumonia e infecção no sangue, que podem evoluir para um quadro de sepse. Essas infecções são especialmente perigosas para pessoas que já estão no hospital ou com o sistema de defesa do corpo enfraquecido (Abbas *et al.*, 2024; Bengoechea & Sa Pessoa, 2019; Rostkowska *et al.*, 2020). Por causa da gravidade dessas doenças, é crucial encontrar maneiras eficazes de combater essas bactérias.

Diante da gravidade das infecções causadas por esses patógenos, o combate às bactérias envolve estratégias preventivas e terapêuticas. As medidas de prevenção, como tratamento de água, higienização das mãos e desinfecção de superfícies, são fundamentais para reduzir a transmissão antes que ocorra a infecção (Krachler & Orth, 2013). No entanto, sua

eficácia depende da aplicação correta e consistente pelos usuários, além de não atuarem contra infecções já estabelecidas. Por outro lado, as intervenções terapêuticas baseiam-se predominantemente no uso de antibióticos, os quais são eficazes no controle de infecções ativas e no alívio dos sintomas. Contudo, seu emprego prolongado está associado ao surgimento de resistência bacteriana, efeitos colaterais adversos e disbiose do microbiota comensal (Gjini *et al.*, 2020; Paterson *et al.*, 2016; Paul *et al.*, 2014). Perante essas limitações, torna-se urgente a investigação de novos agentes antimicrobianos capazes de superar tais desafios.

Em resposta às limitações inerentes às abordagens convencionais, os compostos antibacterianos de origem vegetal surgem como uma alternativa promissora. Derivados de extratos botânicos, óleos essenciais e princípios ativos como flavonoides, terpenos e taninos, esses agentes naturais demonstram potente atividade antimicrobiana, capaz de inibir o crescimento ou mesmo erradicar populações bacterianas (Liang *et al.*, 2022; Mazzei *et al.*, 2020; Ramesh *et al.*, 2025). Sua principal vantagem reside no mecanismo de ação multifatorial, que inclui danos à parede celular, inibição da síntese proteica e interferência na expressão gênica, dificultando significativamente o desenvolvimento de resistência (Elchaghaby *et al.*, 2022; Herman & Herman, 2023; Liang *et al.*, 2022; Song *et al.*, 2022). Adicionalmente, esses compostos podem atuar sinergicamente com antibióticos sintéticos, potencializando seu efeito, permitindo a redução de dosagens e, conseqüentemente, minimizando efeitos colaterais e toxicidade (Herman &

Herman, 2023; Kováč *et al.*, 2022; Liang *et al.*, 2022; Parham *et al.*, 2020; Ramesh *et al.*, 2025) Esse perfil de segurança e eficácia ampliada posiciona os fitoderivados como candidatos viáveis para o desenvolvimento de novas terapias antimicrobianas.

Nesse cenário de busca por alternativas terapêuticas de origem natural, a *Pimenta dioica* (L.), conhecida como pimenta-da-jamaica, destaca-se como um taxon botânico da família Myrtaceae com composição química singular. Seus órgãos vegetais sintetizam um conjunto de metabólitos secundários que conferem um perfil sensorial distintivo, marcado pela complexidade de aromas que remetem à canela, cravo, noz-moscada e pimenta-do-reino, com subtons apimentados, adocicados e de zimbro. Apesar de a literatura consolidar as propriedades farmacológicas das bagas, abrangendo ações antimicrobiana, antioxidante e anti-inflamatória, o potencial biotecnológico dos frutos constitui uma frente de investigação ainda a ser aprofundada. Cultivada em condições tropicais e subtropicais, a espécie permite colheitas sequenciais ao longo do ano, com aplicações consolidadas na gastronomia, na medicina tradicional e como matéria-prima aromatizante. A otimização pós-colheita, por meio de protocolos de secagem e processamento adequados, é determinante para manter a estabilidade de seus compostos bioativos (preservando até 90% do conteúdo original), assegurando padrões de qualidade superior, promovendo a agregação de valor à produção agrícola e incentivando modelos de cultivo alinhados com a sustentabilidade (Premachandran & Murthy, 2022; Rastogi & Murthy, 2024).

Assim, este estudo identifica o componente principal do óleo essencial destilado dos frutos da *Pimenta dioica* e avalia se este e o padrão do composto principal possuem a atividade antibacteriana contra quatro diferentes cepas *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis* e *Klebsiella pneumoniae*.

2. MATERIAL E MÉTODOS:

2.1. Obtenção e extração do óleo essencial

Em outubro de 2003, frutos da espécie *Pimenta dioica* foram colhidos na cidade de São Carlos, São Paulo. Os dados permaneceram arquivados devido a compromissos acadêmicos e pessoais dos pesquisadores, sendo retomados após reorganização das atividades de pesquisa.

Após a colheita, os frutos foram submetidos à secagem em temperatura ambiente. Estes então foram triturados em moinho elétrico (modelo TE 340 da Tecnal) e o material resultante obtido foi acondicionado em recipientes de polietileno até o momento de uso. A extração do óleo essencial foi realizada por meio da técnica de hidrodestilação. Em um balão de fundo redondo de 1000 mL, 30 gramas de amostra foi adicionada em 300 mL de água destilada. O balão de fundo redondo, contendo a mistura, foi conectado a um extrator de Clevenger e aquecido em manta elétrica a aproximadamente 100 °C durante três horas. Após coleta do óleo essencial extraído foi realizada a remoção de impurezas por meio da percolação em uma solução de sulfato de sódio. Por fim as amostras foram acondicionadas em frascos de vidro âmbar e sob refrigeração a fim de evitar a perda de constituintes voláteis.

2.2. Análise cromatográfica CG/EM

A análise cromatográfica CG/EM foi realizada conforme já descrito na literatura (Marinho *et al.*, 2022). Os componentes do óleo essencial foram identificados por meio de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), utilizando um cromatógrafo a gás HP 5890, equipado com um detector de massa HP 5970 de impacto eletrônico, operando com hélio como gás carreador a uma taxa de fluxo de 1 mL/min na coluna. A energia de impacto foi ajustada para 70 eV, com uma temperatura de 300°C. Para as análises, foi injetado 1 µL da amostra previamente diluída em clorofórmio. Os parâmetros cromatográficos foram configurados da seguinte maneira: temperatura inicial de 60°C, final de 300 °C; tempo inicial de 2 minutos, final de 15 minutos; taxa de rampa de 2 °C/min. A identificação dos componentes do óleo essencial foi realizada comparando os espectros obtidos com os dados de substâncias autênticas presentes na base de dados NBS_Reve (com 40.000 registros) e com informações disponíveis na literatura (Adams & Sparkman, 2007).

2.3. Isolamento de bactérias e Testes da atividade antibacteriana

Neste estudo, amostras bacterianas de *Aeromonas caviae* (Gram negativa) e *Aeromonas hydrophila* (Gram negativa) foram obtidas por meio da filtração da água utilizando membranas de éster de celulose (Silva *et al.*, 2014). Posteriormente, as colônias bacterianas foram isoladas em tubos inclinados com Ágar Trypticase Soja (Ágar TSA) e incubadas a 28 °C por 24 horas. Após esse período, uma série de testes

bioquímicos foi conduzida para identificar as espécies. Esses testes incluíram ensaios de oxidase, catalase, coloração de Gram, produção de gás a partir da glicose, produção de indol, resistência ao agente vibriostático O/129, descarboxilação de aminoácidos (lisina, arginina e ornitina), teste em Ágar Tríplice Açúcar e Ferro (Ágar TSI), avaliação de motilidade, redução de nitrato, hidrólise da esculina, teste de Voges-Proskauer, fermentação de carboidratos e crescimento em soluções de cloreto de sódio com concentrações de 3% e 6% (Marinho *et al.*, 2022). Os protocolos seguidos estavam alinhados com as diretrizes de um estudo anterior (Martins *et al.*, 2009) e todos os procedimentos foram realizados de acordo com as normas do *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods* (Palumbo *et al.*, 2001).

A técnica de isolamento e identificação do *Enterococcus faecalis* (Gram positiva) em amostras vegetais foi realizada conforme o procedimento detalhado por Gomes e colaboradores (2008), enquanto a identificação da *Klebsiella pneumoniae* (Gram negativa) seguiu o método descrito por (Puspanadan *et al.*, 2012).

O teste de resistência ao óleo essencial foi conduzido utilizando o método BauerKirby, conforme descrito por Jones e colaboradores (2001). As cepas de testes foram cultivadas em Caldo BHI (*Brain Heart Infusion*) e um inóculo de cada bactéria (0,25mL) foi inoculado na superfície das placas de Ágar contagem padrão (PCA – Merck) usando uma alça de Drigalski. Discos de papel de filtro de 6mm impregnados com 75µL do óleo essencial foram cuidadosamente colocados sobre as placas com o auxílio de uma pinça esterilizada pelo fogo, seguido de uma leve pressão para garantir a aderência dos discos ao meio. As placas foram então incubadas a 37 °C por 24 horas, e a leitura dos halos de inibição foi realizada utilizando uma régua milimetrada. O mesmo procedimento foi repetido para a testar o padrão eugenol e o antibiótico de referência, cefotaxima.

A categorização da sensibilidade dos microrganismos aos agentes testados, incluindo o antibiótico de referência, o óleo essencial e o eugenol padrão, foi baseada no diâmetro dos halos de inibição. A classificação foi a seguinte: (-) não sensível para diâmetros menores que 8 mm; (+) sensível para diâmetros entre 9 e 14 mm; (++) muito sensível para diâmetros de 15 a 19 mm; (+++) extremamente sensível para diâmetros acima de 20 mm (Ponce *et al.*, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Resultados

Para determinar o principal componente do óleo essencial extraído dos frutos da *P. dioica*, os cromatogramas obtidos através da análise CG/EM em uma coluna LM100 foram comparados com o banco de dados mencionado na literatura (Adams, 2017). A partir desta análise, como mostrado na figura 1, os picos cromatográficos numerados como 1 e 2 correspondem, respectivamente, aos compostos mirceno e eugenol, sendo que este último apresenta semelhança com o pico e o tempo de retenção (19,48 min) do padrão de eugenol (Figura 2).

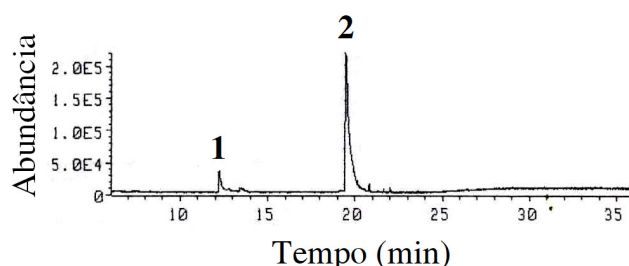


Figura 1. Cromatograma do óleo essencial destilado dos frutos *P. dioica*. Condições fixadas: coluna capilar LM100 de metil silicone entrecruzada (25 m x 0,22 mm i.d.; 0,3 µm de espessura de filme), acoplado a um detector seletivo de massas HP 5970 de impacto eletrônico, com uma energia de 70 eV, temperatura de transferência de 300°C.

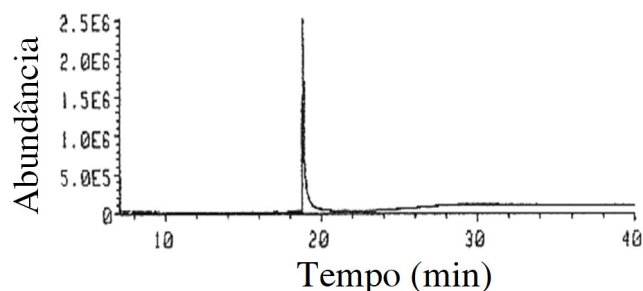


Figura 2. Cromatograma do padrão de Eugenol. As condições estabelecidas incluem uma coluna capilar LM100 de silicone metílico entrecruzado (25 m x 0,22 mm i.d.; 0,3 µm de espessura de filme), conectada a um detector de massas seletivo HP 5970 por impacto eletrônico, operando a uma energia de 70 eV e com uma temperatura de transferência de 300°C.

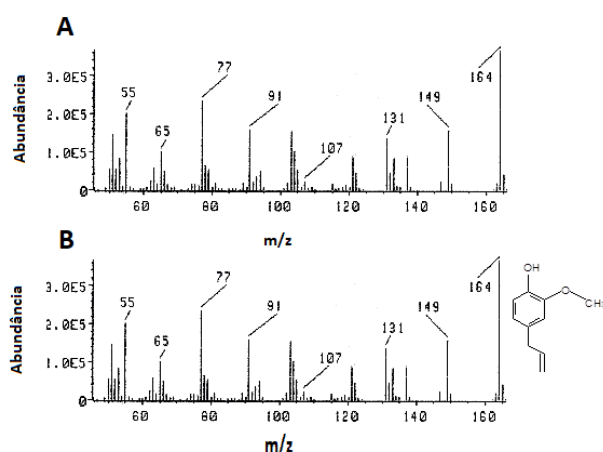


Figura 3. Espectros de massas: (A) Composto do pico 2 do cromatograma da Figura 1; (B) Padrão de eugenol.

Os dados coletados da biblioteca do espectrômetro de massa foram comparados com a literatura de Adams (2007) para a identificação precisa dos compostos observados nos cromatogramas. A partir dessas observações, verificou-se que o espectrograma de massa do pico 2 (figura 1) é semelhante ao espectrograma de massa do padrão de eugenol (Figura 3), sugerindo que o principal composto identificado no óleo é o eugenol, devido à presença do pico do íon molecular em $m/z = 164$ [M+].

O pico em $m/z = 149$ [M-15] representa a perda do radical metila ($CH_3\cdot$). Já os picos em $m/z = 91$ e $m/z = 77$ são típicos, respectivamente, do íon tropílico [$C_7H_7^+$] e do íon [$C_6H_5^+$]. Dessa

forma, os fragmentos principais identificados no espectro de massas são 164 (100); 149 (39); 131 (32); 103 (34); 91 (34); 77 (46) e 55 (39).

A sensibilidade microbiana foi avaliada para três cepas de bactérias Gram negativas (*Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Klebsiella pneumoniae*) e uma cepa Gram Positiva (*Enterococcus faecalis*) quanto ao óleo essencial e ao padrão eugenol. Essa avaliação foi realizada a partir das medidas dos halos de inibição, seguindo os critérios estabelecidos por (Ponce *et al.*, 2003). Desse estudo, os resultados revelaram que todas as cepas testadas foram suscetíveis tanto ao óleo essencial quanto ao padrão eugenol, exibindo halos de inibição com dimensões entre 11 e 28 mm. Destaca-se a significativa sensibilidade de *E. faecalis* ao óleo essencial, evidenciada por um halo de inibição de 18 mm, assim como a notável resposta de *A. caviae* ao padrão eugenol, apresentando um halo de inibição de 28 mm. Esses achados reforçam a viabilidade do óleo essencial como uma alternativa promissora para o desenvolvimento de agentes antibacterianos, ampliando assim as possibilidades terapêuticas no combate às infecções bacterianas.

Tabela 1. Sensibilidade das bactérias

Aeromonas caviae, *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis*, *Klebsiella pneumoniae* ao óleo essencial dos frutos da *P. dioica* e o padrão eugenol, utilizando-se o método de difusão em disco.

Bactérias	Cefotaxima	Halos de inibição (mm)	
		Óleo essencial <i>P. dioica</i>	Padrão Eugenol
<i>Aeromonas caviae</i>	25 (+++)	12 (+)*	28 (+++)
<i>Aeromonas hydrophila</i>	24 (+++)	11 (+)	11 (+)
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	17 (++)	17 (++)	14 (+)
<i>Enterococcus faecalis</i>	18 (++)	18 (++)	19 (++)

*Sensibilidade dos microorganismos ao segundo Ponce *et al.* (2003).

3.2. Discussão

Embora os antibióticos sejam eficazes no combate e tratamento de infecções bacterianas, sua utilização apresenta uma desvantagem significativa: a potencialidade no desenvolvimento de bactérias resistentes (Aslam *et al.*, 2018). Nesse contexto, a busca por agentes antibacterianos de origem vegetal a base de óleos essenciais torna-se uma proposta interessante. Pois esses compostos têm a capacidade de romper a parede celular e as membranas celulares das bactérias, resultando na liberação de conteúdo celular, além da interrupção do domínio de ligação às proteínas, inativação enzimática e, por fim, morte celular (Singh *et al.*, 2017), além de diminuir a resistência bacteriana (U. Anand *et al.*, 2019). Logo, a identificação do componente majoritário e avaliação da atividade antibacteriana do óleo essencial permitirá o desenvolvimento de produtos com baixa resistência bacteriana e consequentemente propor uma alternativa aos tratamentos tradicionais.

Neste estudo, determinamos o principal componente do óleo destilado dos frutos da Pimenta dioica utilizando cromatografia gasosa acoplada a um espectrômetro de massa e investigamos sua atividade biológica contra as bactérias *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Klebsiella pneumoniae* e *Enterococcus faecalis* por meio do método de difusão em ágar. A partir dessas análises, verificamos que o óleo essencial é composto majoritariamente por eugenol e demonstra atividade antibacteriana contra os organismos testados, com halos de inibição variando entre 11 e 28 mm.

No primeiro achado, identificou-se a presença predominante de eugenol no óleo, com base na similaridade do cromatograma com o padrão puro de eugenol. Essa predominância já era esperada, uma vez que a literatura científica já relatou a predominância deste composto em plantas da família *Myrtaceae* com variações de 76 a 85% (Barros Gomes *et al.*, 2020; Everton *et al.*, 2021). Embora não tenhamos quantificado essas frações em nosso estudo, fica evidente que esses valores não são uniformes, devido a diversos fatores (período de desenvolvimento da planta, temperatura, altitude, poluição atmosférica, etc.) que alteram a composição do componente principal (Gobbo-Neto & Lopes, 2007).

No segundo achado, concluímos sobre a eficácia do óleo quanto a sensibilidade bacteriana a partir do método Kirby-Bauer. Este é um teste de difusão em disco que avalia a sensibilidade de

determinada bactéria a antibióticos específicos a partir de regiões onde estas não conseguem se desenvolver, formando os halos. Quanto maior o halo, maior é a sensibilidade da bactéria ao antibiótico testado (Anand *et al.*, 2001; Le Page *et al.*, 2016). No estudo em questão, foram testadas as bactérias *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Klebsiella pneumoniae* e *Enterococcus faecalis* onde os resultados demonstraram que essas bactérias foram sensíveis tanto ao óleo essencial quanto ao padrão de eugenol. Essa sensibilidade ao óleo essencial da *P. dioica* corrobora com estudos anteriores (Barros Gomes *et al.*, 2020; Oliveira Everton *et al.*, 2020) que também empregaram métodos semelhantes e constataram a sensibilidade do óleo contra outras bactérias, como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Serratia odorífera*.

Além disso, nos dois estudos mencionados, os autores identificaram a predominância do composto eugenol tanto nas folhas quanto nos frutos do óleo essencial da *P. dioica*. Esse composto parece ser o responsável pela atividade antibacteriana observada. No nosso próprio estudo, essa sugestão foi confirmada quando utilizamos o padrão puro de eugenol e constatamos a sensibilidade das bactérias.

Essa sensibilidade observada tanto no óleo essencial quanto no padrão eugenol é explicada da seguinte forma. Primeiro, devemos entender que as bactérias Gram-negativas possuem uma camada adicional à parede celular, que as protege da ação dos antibióticos. Para que ocorra a penetração é necessário, inicialmente, que essa estrutura seja danificada, através do rompimento da camada lipídica e consequentemente a desestabilização da célula (Brehm-Stecher & Johnson, 2003; Cowan, 1999; Griffin *et al.*, 1999). No caso do composto eugenol, acredita-se que essa penetração ocorra a partir do dano na membrana plasmática, seguindo para a estrutura lipopolissacarídica, alterando a estrutura celular e provocando o vazamento dos componentes intracelulares, devido íon hidróxido livre e a parte hidrofóbica do composto (Ulanowska & Olas, 2021). Embora haja uma similaridade no mecanismo de ação entre o óleo e o padrão, estudos mais aprofundados sobre essas bactérias podem ajudar a explicar a sensibilidade observada. Portanto, esses resultados indicam que o óleo essencial da *P. dioica*, especialmente o eugenol, pode ser uma opção promissora no combate a infecções bacterianas.

Portanto, ainda que os resultados deste estudo em relação a atividade antibacteriana estejam limitados quanto ao método utilizado, a consideração do óleo essencial da *P. dioica* como um potencial complementar ou candidato a substituir os agentes antibacterianos sintéticos deve ser considerado.

4. CONCLUSÕES:

A análise cromatográfica do óleo essencial dos frutos da *Pimenta dioica* mostrou a presença de dois constituintes: eugenol (majoritário) e o mirceno. O pico do componente majoritário do óleo foi similar ao pico do padrão eugenol, confirmando assim a presença deste composto no óleo essencial. Quanto a atividade antibacteriana, conclui-se que o óleo foi ativo contra as bactérias *Aeromonas caviae*, *Aeromonas hydrophila*, *Klebsiella pneumoniae* e *Enterococcus faecalis*.

5. DECLARAÇÕES

5.1. Limitações do estudo

O presente estudo apresenta algumas limitações que devem ser reconhecidas. A amostra bacteriana foi restrita a quatro espécies e não houve quantificação do percentual de eugenol no óleo, tampouco detalhamento do número de replicatas. Os controles negativos foram descritos de forma limitada e não foram aplicados testes estatísticos para validar as diferenças observadas. Além disso, os dados foram obtidos a partir de coletas realizadas em 2003, o que pode ter implicado degradação parcial de compostos voláteis ao longo do tempo. Do ponto de vista metodológico, utilizou-se exclusivamente o ensaio de difusão em disco, sem métodos complementares, e sem padronização completa da concentração do inóculo ou descrição detalhada das condições ambientais de coleta. No aspecto analítico, apenas dois compostos (eugenol e mirceno) foram identificados qualitativamente, sem quantificação precisa, e a comparação com a literatura foi limitada devido ao reduzido número de estudos similares disponíveis.

5.2. Agradecimentos

Os autores agradecem a Bolsa de Pesquisa concedida pela Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA

5.3. Fontes de financiamento

Esta pesquisa foi financiada pela FAPEMA e CNPq. De acordo com as diretrizes éticas do **Periódico Tchê Química**, que não permitem doações de autores com manuscritos em avaliação (mesmo quando há recursos de pesquisa disponíveis), ou em casos de restrições financeiras dos autores, os custos de publicação foram integralmente absorvidos pela revista por meio de nossa política de **Acesso Aberto Platinum**, com o apoio da **Associação Científica Araucária** (<https://acaria.org/>). Essa política visa garantir total independência entre o processo editorial e quaisquer aspectos financeiros, reafirmando nosso compromisso com a **integridade científica** e a **equidade na disseminação do conhecimento**.

5.4. Competing Interests

There is no conflict of interest to declare.

5.5. Open Access

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution, and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

6. REFERÊNCIAS:

1. Abbas, R.; Chakkour, M.; Zein El Dine, H.; Obaseki, E. F.; Obeid, S. T.; Jezzini, A.; Ghsein, G.; Ezzeddine, Z. (2024). General overview of *Klebsiella pneumoniae*: Epidemiology and the role of siderophores in its pathogenicity. *Biology*, 13(2), p.78.
2. Adams, R. P.; Sparkman, O. (2007). Review of identification of essential oil

- components by gas chromatography/mass spectrometry. *J. Am. Soc. Mass Spectrom.*, 18, p.803–806.
3. Anand, D.; Spargo, J.; Ferraro, M. J. (2001). Antimicrobial susceptibility testing. MGH Division of Laboratory Medicine, 9(1), p.1–4.
 4. Anand, U.; Jacobo-Herrera, N.; Altemimi, A.; Lakhssassi, N. (2019). A comprehensive review on medicinal plants as antimicrobial therapeutics: Potential avenues of biocompatible drug discovery. *Metabolites*, 9(11), p.258.
 5. Aslam, B.; Wang, W.; Arshad, M. I.; Khurshid, M.; Muzammil, S.; Rasool, M. H.; Nisar, M. A.; Alvi, R. F.; Aslam, M. A.; Qamar, M. U. (2018). Antibiotic resistance: A rundown of a global crisis. *Infection and Drug Resistance*, p.1645–1658.
 6. Barros Gomes, P. R.; Ribeiro, J. D.; Guimarães da Costa, M. C.; da Silva Castro, M. W.; Buzar Neto, N.; Melo, A. V.; Oliveira Everton, G.; Costa Louzeiro, H.; Fontenele, M. A.; Souza de Lima, H. (2020). Composição química e atividade antibacteriana do óleo essencial dos frutos da Pimenta dioica. *Rev. colomb. ciencias quím. farm.*, 49(3), p.656–674.
 7. Bengoechea, J. A.; Sa Pessoa, J. (2019). *Klebsiella pneumoniae* infection biology: Living to counteract host defences. *FEMS Microbiology Reviews*, 43(2), p.123–144.
 8. Brehm-Stecher, B. F.; Johnson, E. A. (2003). Sensitization of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* to antibiotics by the sesquiterpenoids nerolidol, farnesol, bisabolol, and apritone. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 47(10), p.3357–3360. DOI: [10.1128/AAC.47.10.3357-3360.2003](https://doi.org/10.1128/AAC.47.10.3357-3360.2003)
 9. Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), p.564–582.
 10. Elchaghaby, M. A.; Abd El-Kader, S. F.; Aly, M. M. (2022). Bioactive composition and antibacterial activity of three herbal extracts (lemongrass, sage, and guava leaf) against oral bacteria: An in vitro study. *Journal of Oral Biosciences*, 64(1), p.114–119.
 11. Everton, G. O.; Pereira, A. P. M.; Mafra, N. S.; Santos Júnior, P. S.; Martins, T. G.; Rosa, P. V.; Gomes, P. R.; Mendes Filho, N. E.; Mouchrek Filho, V. E. (2021). Chemical constituents and bactericidal and fungicide potential of the essential oil of Pimenta dioica Lindl against pathogenic microorganisms. *Revista De Ciencia Y Tecnología*, 36(1), 78–83. DOI: [10.36995/j.recyt.2021.36.010](https://doi.org/10.36995/j.recyt.2021.36.010)
 12. Gjini, E.; Paupério, F. F.; Ganusov, V. V. (2020). Treatment timing shifts the benefits of short and long antibiotic treatment over infection. *Evolution, Medicine, and Public Health*, 2020(1), p.249–263.
 13. Gobbo-Neto, L.; Lopes, N. P. (2007). Plantas medicinais: Fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova*, 30(2), p.374–381.
 14. Gomes, B. C.; Esteves, C. T.; Palazzo, I. C.; Darini, A. L. C.; Felis, G. E.; Sechi, L. A.; Franco, D. B. G. M., and De Martinis, E. C. (2008). Prevalence and characterization of *Enterococcus* spp. isolated from Brazilian foods. *Food Microbiology*, 25(5), p.668–675.
 15. Griffin, S. G.; Wyllie, S. G.; Markham, J. L.; Leach, D. N. (1999). The role of structure and molecular properties of terpenoids in determining their antimicrobial activity. *Flavour and Fragrance Journal*, 14(5), p.322–332.
 16. Herman, A.; Herman, A. P. (2023). Herbal products and their active constituents used alone and in combination with antibiotics against multidrug-resistant bacteria. *Planta Medica*, 89(02), p.168–182.
 17. Jones, R. N.; Ballow, C. H.; Biedenbach, D. J. (2001). Multi-laboratory assessment of the linezolid spectrum of activity using the Kirby-Bauer disk diffusion method: Report of the Zyvox® Antimicrobial Potency Study (ZAPS) in the United States. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 40(1–2), p.59–66.
 18. Kováč, J.; Slobodníková, L.; Trajčíková, E.; Rendeková, K.; Mučaji, P.; Sychrová, A.;

- Bittner Fialová, S. (2022). Therapeutic potential of flavonoids and tannins in management of oral infectious diseases—A review. *Molecules*, 28(1), p.158.
19. Krachler, A. M.; Orth, K. (2013). Targeting the bacteria–host interface: Strategies in anti-adhesion therapy. *Virulence*, 4(4), p.284–294.
 20. Le Page, S.; Dubourg, G.; Rolain, J.-M. (2016). Evaluation of the Scan® 1200 as a rapid tool for reading antibiotic susceptibility testing by the disc diffusion technique. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 71(12), p.3424–3431.
 21. Liang, J.; Huang, X.; Ma, G. (2022). Antimicrobial activities and mechanisms of extract and components of herbs in East Asia. *RSC Advances*, 12(45), p.29197–29213.
 22. Marinho, S. C.; Souza, R. D.; Gomes, P. R. B.; Louzeiro, H. C.; Mouchrek Filho, V. E. (2022). Avaliação da atividade antimicrobiana e da composição química do óleo essencial de *Aniba duckei*. *Periódico Tchê Química*, 19. DOI: https://doi.org/10.52571/PTQ.v19.n41.2022.03_GOMES_pgs_26_34.pdf
 23. Martins, A.; Nascimento, A. R.; Vieira, R.; Serra, J. L.; Rocha, M. (2009). Quantificação e identificação de *Aeromonas* spp. em águas de superfície do estuário do rio Bacanga em São Luís/MA (Brasil). *Boletim Ceppa*, 27, p.107–118.
 24. Mazzei, R.; Leonti, M.; Spadafora, S.; Patitucci, A.; Tagarelli, G. (2020). A review of the antimicrobial potential of herbal drugs used in popular Italian medicine (1850s–1950s) to treat bacterial skin diseases. *Journal of Ethnopharmacology*, 250, p.112443.
 25. Oliveira Everton, G.; Pereira Araújo, R. J.; da Silva dos Santos, A. B.; Serra Rosa, P. V.; de Oliveira Carvalho Junior, R. G.; Teles, A. M.; Barros Gomes, P. R.; Mouchrek Filho, V. E. (2020). Caracterização química, atividade antimicrobiana e toxicidade dos óleos essenciais da *Pimenta dioica* L. (pimenta da Jamaica) e *Citrus sinensis* L. Osbeck (laranja doce). *Rev. colomb. ciencias quím. farm.*, 49(3), p.641–655.
 26. Palumbo, S.; Abeyta, C.; Stelma, G.; Wesley, I.; Wei, C.; Koberger, J.; Franklin, S. K.; Schroeder-Tucker, L.; Murano, E. (2001). *Aeromonas*, *Arcobacter*, and *Plesiomonas*. In: Downes, F. P.; Ito, K. (eds). *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*, 4, p.283–290.
 27. Parham, S.; Kharazi, A. Z.; Bakhsheshi-Rad, H. R.; Nur, H.; Ismail, A. F.; Sharif, S.; RamaKrishna, S.; Berto, F. (2020). Antioxidant, antimicrobial and antiviral properties of herbal materials. *Antioxidants*, 9(12), p.1309.
 28. Paterson, I. K.; Hoyle, A.; Ochoa, G.; Baker-Austin, C.; Taylor, N. G. (2016). Optimising antibiotic usage to treat bacterial infections. *Scientific Reports*, 6(1), p.37853.
 29. Paul, M.; Carmeli, Y.; Durante-Mangoni, E.; Mouton, J. W.; Tacconelli, E.; Theuretzbacher, U.; Mussini, C.; Leibovici, L. (2014). Combination therapy for carbapenem-resistant Gram-negative bacteria. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 69(9), p.2305–2309.
 30. Pessoa, R. B. G.; Oliveira, W. F. de; Correia, M. T. dos S.; Fontes, A.; Coelho, L. C. B. B. (2022). *Aeromonas* and human health disorders: Clinical approaches. *Frontiers in Microbiology*, 13, p.868890.
 31. Ponce, A.; Fritz, R.; del Valle, C.; Roura, S. (2003). Antimicrobial activity of essential oils on native microbial population of organic Swiss Chard (*Beta vulgaris*, type cicla). *Food Science and Technology*, 36, p.579–684.
 32. Premachandran, M. S.; Murthy, P. S. (2022). Ethnobotanical, phytochemical, pharmacological properties and applications of *Pimenta dioica* L. *Journal of Essential Oil Research*, 34(3), p.216–232.
 33. Puspanadan, S.; Afsah-Hejri, L.; Loo, Y.; Nillian, E.; Kuan, C.; Goh, S.; Chang, W.; Lye, Y.; John, Y.; Rukayadi, Y. (2012). Detection of *Klebsiella pneumoniae* in raw vegetables using most probable number-

polymerase chain reaction (MPN-PCR). *International Food Research Journal*, 19(4), p.1757.

34. Ramesh, S. P.; Karajgi, S.; Singh, R.; Naik, P.; Sahoo, U.; Sharma, M. C.; Nainwal, P.; Wal, A. (2025). Herbal antibiotics: A review of traditional medicinal plants with antibacterial properties and their potential for future treatment. *Anti-Infective Agents*, 23(2), p.E080724231696.
35. Rastogi, N. K.; Murthy, P. S. (2024). Implications of dehydration processing on the bio-actives, chemometrics and fingerprinting of allspice (*Pimenta dioica* L.) leaves. *Food Biophysics*, 19(4), p.1157–1176.
36. Rostkowska, O. M.; Kuthan, R.; Burban, A.; Salińska, J.; Ciebiera, M.; Młynarczyk, G.; Durlik, M. (2020). Analysis of susceptibility to selected antibiotics in *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* causing urinary tract infections in kidney transplant recipients over 8 years: Single-center study. *Antibiotics*, 9(6), p.284.
37. Silva, A. C. M. de M.; Nascimento, D. L. do; Machado, R. Z.; Costa, F. N. (2014). Caracterização de *Aeromonas* spp isoladas de amostras de ostras e água por método microbiológico e molecular. *Ciência Animal Brasileira*, 15, p.362–368.
38. Singh, S. B.; Young, K.; Silver, L. L. (2017). What is an “ideal” antibiotic? Discovery challenges and path forward. *Biochemical Pharmacology*, 133, p.63–73.
39. Song, L.; Hu, X.; Ren, X.; Liu, J.; Liu, X. (2022). Antibacterial modes of herbal flavonoids combat resistant bacteria. *Frontiers in Pharmacology*, 13, p.873374.
40. Ulanowska, M.; Olas, B. (2021). Biological properties and prospects for the application of eugenol—A review. *International Journal of Molecular Sciences*. *sciences*, 22(7), 3671.