

Avaliação comparativa dos extratos aquoso e etanólico de *Erythrina mulungu*:

Composição química e atividades biológicas

Comparative evaluation of the aqueous and ethanolic extracts of *Erythrina mulungu*: Chemical composition and biological activities

Evaluación comparativa de los extractos acuoso y etanólico de *Erythrina mulungu*: Composición química y actividades biológicas

Recebido: 02/02/2026 | Revisado: 07/02/2026 | Aceitado: 08/02/2026 | Publicado: 09/02/2026

Girlaine Santos da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1379-0297>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: girlaine.santos@ufpe.br

Mariana Alves Henrique

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1061-6717>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: mariana.ahenrique@ufpe.br

Severino Alves Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8092-4224>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: severino.alvesjr@ufpe.br

Glória Maria Vinhas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5073-609X>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: gloria.vinhas@ufpe.br

Resumo

Extratos vegetais são amplamente utilizados como fontes de compostos bioativos, especialmente fenóis, flavonoides e alcaloides, cuja extração depende diretamente do tipo de solvente empregado. O presente estudo teve como objetivo comparar os extratos aquoso e etanólico obtidos da casca de *Erythrina mulungu*, avaliando suas características químicas e funcionais por meio de análises de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), teor de fenólicos totais, atividade antimicrobiana e atividade antioxidante. O extrato aquoso apresentou menor diversidade química e baixa bioatividade, com teor fenólico de 7,64 mg GAE/g, halos antimicrobianos inferiores a 14 mm e 14,70% de inibição no ensaio de DPPH. Em contraste, o extrato etanólico exibiu composição mais complexa, com picos cromatográficos associados a alcaloides eritrínicos e fenóis lipofílicos, além de bandas adicionais no FTIR compatíveis com carbonilas, éteres e aminas. Esse extrato apresentou teor fenólico de 729,68 mg GAE/g, halos de 21,50 mm (*E. coli*) e 35,75 mm (*S. aureus*), além de elevada atividade antioxidante (92,82%). Os resultados demonstram que o etanol promove extração mais eficiente de metabólitos bioativos, enquanto o extrato aquoso apresenta composição mais restrita. Assim, a escolha do solvente influencia diretamente o perfil químico e o desempenho biológico dos extratos de *Erythrina mulungu*, reforçando a importância da seleção adequada do método de extração em estudos fitoquímicos.

Palavras-chave: *Erythrina mulungu*; Extratos vegetais; Compostos bioativos.

Abstract

Plant extracts are widely used as sources of bioactive compounds, especially phenols, flavonoids, and alkaloids, whose extraction depends directly on the type of solvent employed. This study aimed to compare the aqueous and ethanolic extracts obtained from the bark of *Erythrina mulungu*, evaluating their chemical and functional characteristics through High-Performance Liquid Chromatography (HPLC), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), total phenolic content, antimicrobial activity, and antioxidant activity analyses. The aqueous extract showed lower chemical diversity and reduced bioactivity, with a phenolic content of 7.64 mg GAE/g, antimicrobial halos smaller than 14 mm, and 14.70% inhibition in the DPPH assay. In contrast, the ethanolic extract exhibited a more complex composition, with chromatographic peaks associated with erythrinic alkaloids and lipophilic phenols, as well as additional FTIR bands consistent with carbonyls, ethers, and amines. This extract presented a phenolic content of 729.68 mg GAE/g, halos of 21.50 mm (*E. coli*) and 35.75 mm (*S. aureus*), and high antioxidant activity (92.82%). The results demonstrate that

ethanol promotes a more efficient extraction of bioactive metabolites, whereas the aqueous extract shows a more restricted composition. Thus, solvent selection directly influences the chemical profile and biological performance of *Erythrina mulungu* extracts, reinforcing the importance of choosing an appropriate extraction method in phytochemical studies.

Keywords: *Erythrina mulungu*; Plant extracts; Bioactive compounds.

Resumen

Los extractos vegetales se utilizan ampliamente como fuentes de compuestos bioactivos, especialmente fenoles, flavonoides y alcaloides, cuya extracción depende directamente del tipo de disolvente empleado. El presente estudio tuvo como objetivo comparar los extractos acuoso y etanólico obtenidos de la corteza de *Erythrina mulungu*, evaluando sus características químicas y funcionales mediante análisis de Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC), Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), contenido total de fenoles, actividad antimicrobiana y actividad antioxidante. El extracto acuoso presentó menor diversidad química y baja bioactividad, con un contenido fenólico de 7,64 mg GAE/g, halos antimicrobianos inferiores a 14 mm y un 14,70% de inhibición en el ensayo DPPH. En contraste, el extracto etanólico mostró una composición más compleja, con picos cromatográficos asociados a alcaloides eritrínicos y fenoles lipofílicos, además de bandas adicionales en el FTIR compatibles con carbonilos, éteres y aminas. Este extracto presentó un contenido fenólico de 729,68 mg GAE/g, halos de 21,50 mm (*E. coli*) y 35,75 mm (*S. aureus*), además de una elevada actividad antioxidante (92,82%). Los resultados demuestran que el etanol promueve una extracción más eficiente de metabolitos bioactivos, mientras que el extracto acuoso presenta una composición más limitada. Así, la elección del disolvente influye directamente en el perfil químico y en el desempeño biológico de los extractos de *Erythrina mulungu*, reforzando la importancia de seleccionar adecuadamente el método de extracción en estudios fitoquímicos.

Palabras clave: *Erythrina mulungu*; Extractos vegetales; Compuestos bioactivos.

1. Introdução

Os extratos vegetais são obtidos através da extração de compostos bioativos de diversas fontes vegetais, como folhas, sementes, raízes, frutos, caules e subprodutos da agroindústria. Estas são ricas fontes de moléculas bioativas, como polifenóis (flavonóis, flavanóis, antocianinas, ácido benzóico, lignina, tanino, estilbenos, ácido cinâmico, ácidos fenólicos), terpenóides (terpenos, carotenóides, triterpenos, fitoesteróis, iridóides), organo-enxofres e alcalóides (Awad *et al.*, 2022; Mungwari *et al.*, 2025).

Esses compostos bioativos são amplamente reconhecidos por suas atividades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias, possuindo a capacidade de neutralizar radicais livres, inibir microrganismos e modular respostas biológicas, o que tem impulsionado seu uso em formulações tópicas e em sistemas de liberação controlada (Do Nascimento, 2022; El-Saadony *et al.*, 2025).

Nesse contexto, espécies do gênero *Erythrina* destacam-se por apresentarem um perfil fitoquímico complexo, caracterizado pela presença de alcaloides, flavonoides, terpenos, flavonas, flavanóis, catequinas e xantonas, metabólitos secundários amplamente reconhecidos por suas atividades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias (Lima *et al.*, 2025; Santiago *et al.*, 2022).

Entre essas espécies, a *Erythrina mulungu*, popularmente conhecida como mulungu, é uma angiosperma pertencente à família Fabaceae, amplamente distribuída no Nordeste brasileiro, especialmente em áreas úmidas próximas a margens de rios. Suas cascas concentram grande parte desses compostos bioativos, o que a torna uma fonte particularmente promissora para aplicações biotecnológicas. Além de seu potencial químico, o mulungu apresenta múltiplos usos tradicionais e contemporâneos, incluindo aplicações medicinais, artesanais, madeireiras, ornamentais e como componente de sistemas agroflorestais (Cardoso, 2021; Herlina *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo comparar os extratos aquoso e etanólico obtidos da casca de *Erythrina mulungu*, avaliando suas características químicas e funcionais por meio de análises de Cromatografia Líquida de

Alta Eficiência (CLAE), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), teor de fenólicos totais, atividade antimicrobiana e atividade antioxidante. A comparação entre os dois extratos permite compreender de que forma o solvente influencia a extração de metabólitos bioativos e como essas diferenças se refletem no perfil químico e biológico de cada extrato.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa experimental, laboratorial de natureza qualitativa e quantitativa (Pereira *et al.*, 2018; Risemberg, Wakin & Shitsuka, 2026).

2.1 Preparação dos Extratos (Aquoso e Etanólico)

2.1.1 Extrato aquoso

O extrato aquoso da casca de *Erythrina mulungu* foi obtido por meio do processo de infusão. Para isso, foram utilizados 6 g de casca seca e triturada da planta para cada 250 mL (24 g/L) de água destilada previamente aquecida. A mistura foi mantida em repouso por 30 minutos para permitir a extração dos compostos bioativos, sendo posteriormente filtrada para remoção de resíduos sólidos. O extrato obtido foi armazenado sob refrigeração até o momento de sua utilização no cultivo da celulose bacteriana.

2.1.2 Extrato etanólico

Para a obtenção do extrato etanólico da casca de *Erythrina mulungu*, foram utilizados 20 g de material vegetal triturado, acondicionados em cartuchos de papel filtro e inseridos na câmara de extração do sistema Soxhlet. Em seguida, foram adicionados 200 mL de álcool etílico em um balão de fundo redondo com capacidade de 250 mL, completando a montagem do sistema. O processo de extração foi conduzido por 4 horas, sob refluxo contínuo.

2.1.3 Determinação da concentração dos extratos

A concentração dos extratos vegetais (g/mL) foi determinada por meio da evaporação de uma alíquota de 1 mL da solução, previamente transferida para um vidro de relógio de massa conhecida. A amostra foi submetida à secagem em estufa com circulação de ar a 70 °C, até a obtenção de peso constante, permitindo o cálculo da massa de sólidos presentes por volume de extrato.

2.2 Caracterizações dos Extratos (Aquoso e Etanólico)

2.2.1 Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

A análise por cromatografia líquida de alta resolução foi realizada com o objetivo de identificar os compostos fenólicos nos extratos de mulungu - etanólico (8000 µg/mL) e aquoso (1700 µg/mL). A identificação dos compostos ocorreu pela comparação dos tempos de retenção obtidos com aqueles descritos na literatura usada como referência no estudo. A análise cromatográfica de fase reversa foi realizada em sistema UFLC Shimadzu com uma fase estacionária Phenomenex C-18 (diâmetro interno de 250 x 4,6 mm). Fase A (água pura CLAE) e Fase B (acetonitrila). O gradiente de eluição cromatográfica inicia-se com 7% de Fase B, atingindo 50% em 36 minutos em um gradiente linear; a razão da fase móvel é então mantida constante (isocrática) em 50% de Fase B até 70 minutos de análise. A partir deste ponto, a Fase B diminui novamente para 7% em 80 min e permanece nesta proporção até 90 min. Vazão: 0,4 mL/min, temperatura da coluna: 30°C e detecção a 280 nm. Volume de injeção: 40 µL (extrato etanólico) -50 µL (extrato aquoso). Tempo de retenção: 90 min.

2.2.2 Determinação de fenólicos totais

Seguindo a metodologia descrita por De Lima *et al.* 2025, foi utilizado o método espectrofotométrico de Folin–Ciocalteu para quantificar compostos fenólicos nos extratos de mulungu. Primeiramente, prepararam-se soluções do extrato etanólico (200 µg/mL) e do extrato aquoso (500 µg/mL). Em tubos de ensaio, adicionaram-se 8 mL de água destilada, 0,5 mL de reagente de Folin–Ciocalteu e 0,5 mL da amostra, agitando-se por 3 minutos. Na sequência, adicionou-se 1 mL de solução saturada de carbonato de sódio. As amostras foram mantidas em repouso por 60 minutos, protegidas da luz, e suas absorbâncias foram medidas a 720 nm. O procedimento foi realizado em triplicata. Como branco, utilizou-se etanol PA, e soluções etanólicas de ácido gálico serviram de padrão para a construção da curva de calibração.

2.2.3 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A técnica foi utilizada com o objetivo de analisar os grupos funcionais dos compostos orgânicos presentes. O equipamento utilizado foi da marca Perkin Elmer - Spectrum 400, operando com acessório de Refletância Total Atenuada (ATR); esse equipamento pertence ao Laboratório de Combustíveis da UFPE (LAC), localizado no LITPEG-UFPE. As condições empregadas foram: região do infravermelho na faixa de 550 a 4000 cm⁻¹ e resolução de 4 cm⁻¹ com 16 scans e acessório ATR.

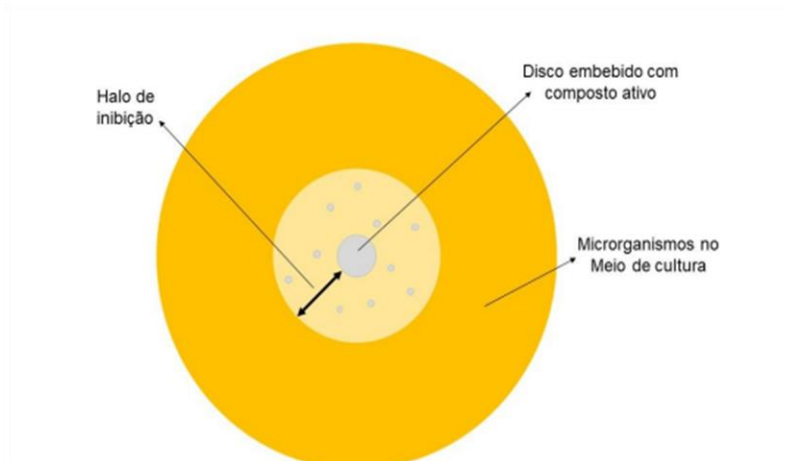
2.2.4 Avaliação da atividade antimicrobiana utilizando o método disco-difusão em ágar

A atividade antimicrobiana dos extratos aquoso e etanólico da casca de *Erythrina mulungu* foi avaliada através do método de disco-difusão em meio sólido. Foram utilizadas culturas jovens das bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, representando microrganismos Gram-negativo e Gram-positivo, respectivamente.

Para o ensaio, foram utilizados quatro discos de papel filtro com diâmetro de 5,2 mm, previamente esterilizados em autoclave a 121 °C por 15 minutos. Cada bactéria foi testada com dois discos, sendo um embebido no extrato aquoso e outro no extrato etanólico. Os discos foram posicionados em placas de Petri contendo ágar nutritivo, previamente inoculadas com 0,1 mL de suspensão bacteriana ajustada à concentração de 10⁻⁴ na escala de McFarland.

As placas foram incubadas em estufa a 30 °C por 48 horas. Após o período de incubação, foi realizada a medição dos halos de inibição com auxílio de um micrômetro digital, permitindo a avaliação da atividade antimicrobiana dos extratos frente aos microrganismos testados. A Figura 1 ilustra o princípio do método de disco-difusão, destacando a formação do halo de inibição ao redor do disco impregnado com o composto ativo.

Figura 1 - Modelo de ensaio de atividade antimicrobiana pelo método disco-difusão em ágar.



Fonte: Cavalcante (2018).

2.2.5 Avaliação da atividade antioxidante (DPPH)

A atividade antioxidante dos extratos da casca de *Erythrina mulungu* foi determinada por meio da metodologia adaptada de Brand-Williams *et al.* (1995), utilizando o radical livre estável 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH). Para a preparação da solução de DPPH, foram pesados 2,5 mg do reagente, dissolvidos em etanol PA até completar o volume de 100 mL em balão volumétrico, com aferição do menisco.

Em seguida, foram adicionados 3,9 mL da solução de DPPH e 100 µL dos extratos em tubos de ensaio protegidos com papel alumínio, a fim de evitar exposição à luz. As amostras foram mantidas em repouso por 60 minutos, em ambiente escuro e temperatura ambiente. Após esse período, as leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro UV/VIS (marca EDUTECH, Brasil), no comprimento de onda de 515 nm.

Os ensaios foram realizados em triplicata, e o controle branco foi obtido substituindo os extratos por etanol PA. A porcentagem de inibição da atividade antioxidante foi calculada com base na seguinte equação 1:

$$\% \text{ inibição DPPH} = \frac{\text{Abs}_{\text{controle}} - \text{Abs}_{\text{amostra}}}{\text{Abs}_{\text{controle}}} \times 100 \quad (1)$$

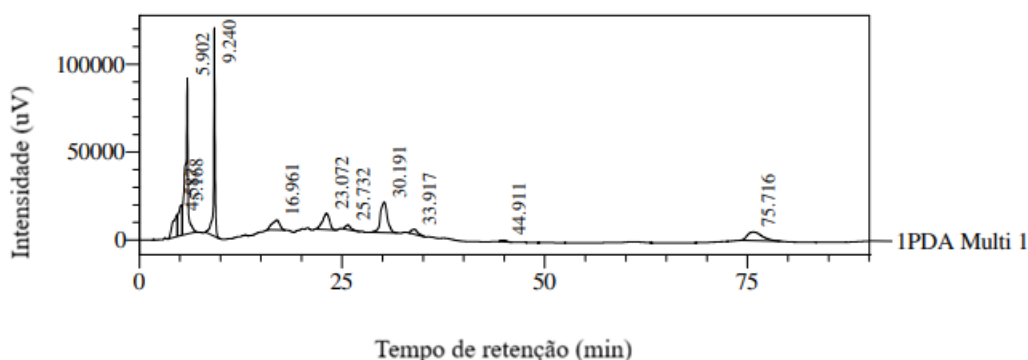
3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização do Extrato Aquoso de *Erythrina Mulungu*

3.1.1 Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

O cromatograma obtido para o extrato aquoso de mulungu é mostrado na Figura 2, na qual podem ser observados os principais picos correspondentes aos compostos presentes no extrato. Alcaloides e compostos fenólicos específicos foram identificados no cromatograma.

Figura 2 - Cromatograma líquido de alta eficiência do extrato aquoso de mulungu.



Fonte: Autoria própria.

O primeiro pico, observado em aproximadamente 5,9 minutos, é característico de compostos fenólicos menores. O pico primário em 9,24 minutos está associado a fenóis mais comuns – particularmente os ácidos clorogênico e cafeico – que tipicamente eluem dentro desse período (Rambo, 2011). Picos intermediários com tempos de retenção entre 16 e 30 minutos (16,96, 25,73 e 30,19 min) sugerem a presença de alcaloides eritrínicos, como a erisotrina e seus derivados, que apresentam maior hidrofobicidade. O pico posterior em 44,91 minutos é indicativo de compostos alcaloides menos polares, possivelmente representando variantes complexas de alcaloides eritrínicos. Por fim, o pico em 75,72 minutos pode corresponder a compostos residuais ou fragmentos da matriz de celulose que permanecem retidos por mais tempo na coluna (Amorim *et al.*, 2019; Bezerra

et al., 2019).

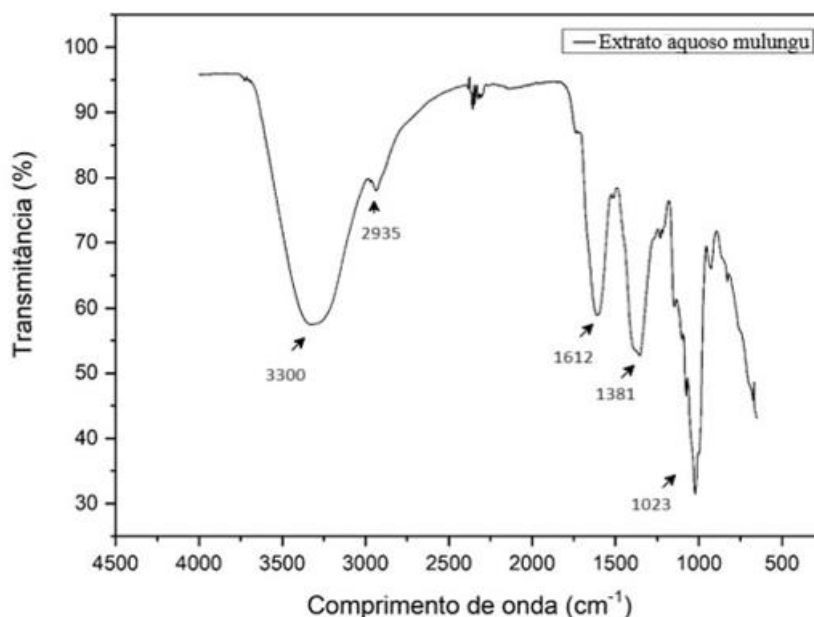
3.1.2 Determinação de Fenólicos Totais

Utilizando o método de Folin-Ciocalteu, o teor total de fenólicos do extrato aquoso de *Erythrina mulungu* foi determinado em 38,18 µg/mL. Quando expresso em miligramas de equivalentes de ácido gálico por grama de extrato seco (mg GAE/g), a concentração foi de 7,64 mg GAE/g. Esses valores indicam um teor moderado de fenólicos, visto que os extratos vegetais normalmente variam de dezenas a centenas de µg/mL. Uma concentração de 7,64 mg GAE/g coloca o extrato de mulungu em um nível baixo a moderado, mas ainda relevante para aplicações antioxidantes e bioativas (Aryal *et al.*, 2019). Da Silva Mota *et al.* (2025) avaliaram o teor fenólico em cortiça do Cerrado da espécie endêmica *Erythrina mulungu* e relataram 27,0 mg GAE/g para um extrato hidroetanólico. Esses achados estão alinhados com os resultados apresentados neste estudo, considerando a maior eficiência da extração de compostos fenólicos utilizando solventes hidroetanólicos.

3.1.3 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

A espectroscopia do infravermelho foi realizada com o objetivo de identificar as principais bandas características do extrato aquoso da *Erythrina mulungu*, o espectro do extrato aquoso pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 - Espectro de Infravermelho do extrato aquoso da *Erythrina mulungu*.



Fonte: Autoria própria.

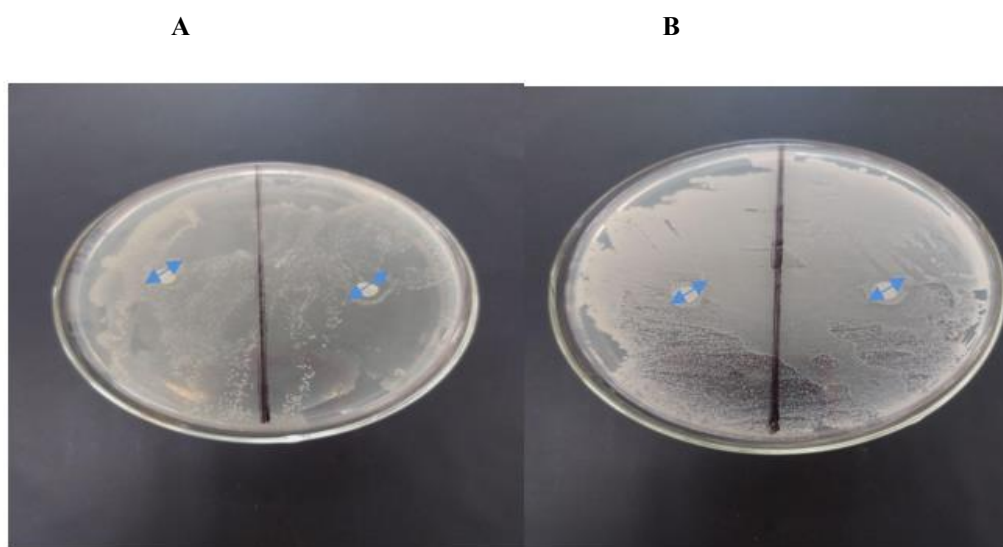
O espectro de FTIR obtido para o extrato aquoso de *Erythrina mulungu* (Figura 3) revelou um conjunto de bandas característico de matrizes ricas em metabólitos secundários, apresentando concordância com o perfil cromatográfico observado por CLAE. A banda larga em torno de 3300 cm⁻¹ indica estiramento O–H, típico de compostos fenólicos e flavonoides, sugerindo grupos hidroxilados envolvidos em ligações de hidrogênio. Já a absorção em 2935 cm⁻¹ está relacionada ao estiramento C–H de cadeias alifáticas, comum em estruturas presentes tanto em flavonoides quanto em alcaloides. As bandas observadas em 1612 e 1381 cm⁻¹ correspondem ao estiramento C=C de anéis aromáticos, reforçando a presença de núcleos aromáticos conjugados (Silverstein *et al.*, 2014). Por fim, a região entre 1183 e 1023 cm⁻¹ reúne sinais associados ao estiramento C–O e à deformação

angular C–H, característicos de grupos oxigenados e possíveis ligações glicosídicas descritas em alcaloides da eritrina (Joselin *et al.*, 2025; Tondi *et al.*, 2015). No conjunto, esses achados confirmam que o extrato possui uma composição química complexa, marcada principalmente por fenóis, flavonoides e alcaloides.

3.1.4 Atividade antimicrobiana

Após o período de incubação, foi verificado que o extrato aquoso da *Erythrina mulungu* apresentou uma inibição discreta do crescimento das bactérias em estudo, pois pôde ser verificado a formação do halo de inibição para os dois tipos de bactérias em análise. As imagens referentes ao ensaio de atividade antimicrobiana podem ser observadas na Figura 4 a seguir.

Figura 4 - Teste de atividade antimicrobiana do extrato aquoso da *Erythrina mulungu* para a (A) *Escherichia coli* e (B) *Staphylococcus aureus*.



Fonte: Autoria própria.

Segundo o National Committee for Clinical laboratory Standards, os halos de inibição para as bactérias utilizando o método do disco-difusão podem ser classificados como: resistente para diâmetro menor ou igual a 14 mm, intermediário para diâmetro entre 15 e 19 mm e sensível para diâmetro superior a 20 mm (Cavalcante, 2018; CLSI, 2015).

Realizando-se a medição dos halos de inibição, foram obtidos valores correspondentes a $9,75 \pm 0,10$ mm para a bactéria *Escherichia coli* e $8,50 \pm 0,06$ mm para a *Staphylococcus aureus*. Sendo assim, pode-se observar que as bactérias em análise se apresentaram resistentes ao extrato aquoso da *Erythrina mulungu*, obtendo-se um halo de inibição com diâmetro inferior a 14mm.

É importante destacar que a baixa atividade antimicrobiana observada pode estar relacionada à concentração do extrato utilizado. Como o extrato foi preparado na forma de infusão, é possível que a quantidade de compostos bioativos presentes não tenha sido suficiente para exercer um efeito bactericida ou bacteriostático mais expressivo. Estudos prévios indicam que a eficácia antimicrobiana de extratos vegetais pode variar significativamente em função da concentração, do solvente de extração e da estabilidade dos compostos fenólicos e alcaloides presentes (Cowan, 1999; Poffo spézia *et al.*, 2020).

3.1.5 Atividade antioxidante

O teste de atividade antioxidante foi realizado utilizando-se o método de avaliação dos valores de inibição da atividade antioxidante, através da técnica de DPPH, conforme descrito no item 2.2.5. A porcentagem de inibição foi calculada de acordo

com a equação 1, e foi obtido um valor correspondente a 14,70%, utilizando-se a concentração de 100 µL do extrato aquoso da casca da *Erythrina mulungu*.

O percentual de inibição obtido para o extrato aquoso pode ser considerado relativamente baixo, considerando o potencial antioxidante já descrito para essa espécie vegetal. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de a extração ter sido realizada em meio aquoso, o que limita a solubilização de compostos apolares, como certos flavonoides, alcaloides e outros metabólitos secundários reconhecidos por sua capacidade de neutralizar radicais livres.

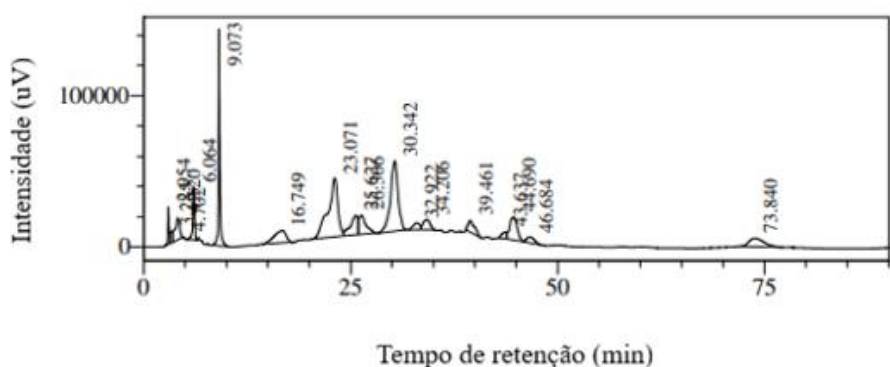
Nesse contexto, a utilização de solventes orgânicos, como o etanol, tende a favorecer a extração de moléculas com maior atividade antioxidante, especialmente compostos fenólicos de média e baixa polaridade. Assim, a comparação com o extrato etanólico torna-se relevante, uma vez que esse tipo de solvente geralmente proporciona maior rendimento de compostos bioativos e, conseqüentemente, pode resultar em valores mais expressivos de inibição do radical DPPH. A análise do extrato etanólico, portanto, permite avaliar se a escolha do solvente influencia significativamente o perfil antioxidante da casca de *Erythrina mulungu*.

3.2 Caracterização do Extrato Etanólico da *Erythrina Mulungu*

3.2.1 Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

A cromatografia obtida para o extrato etanólico de mulungu é mostrada na Figura 5, em que pode se observar os principais picos correspondentes aos compostos presentes no extrato. Podemos verificar que foram identificados no cromatograma alcalóides específicos e compostos fenólicos.

Figura 5 - Cromatograma líquido de alta eficiência do extrato etanólico de mulungu.



Fonte: Autoria própria.

O primeiro pico, em aproximadamente 6,06 min, é característico de compostos fenólicos menores. O pico principal, em 9,07 min, está associado à presença de fenóis mais comuns, especialmente ácidos clorogênico e cafeico, que costumam eluir nessa faixa de tempo (Rambo, 2011). Os picos intermediários, com retenção entre 16 a 30 min (16,75 min, 23,07 min, 25,69 min e 30,34 min), sugerem a presença de alcalóides eritrínicos, como erisotrina e seus derivados, que têm maior hidrofobicidade. Os picos tardios (39,46 min e 46,68 min) indica compostos alcalóides menos polares, possivelmente variantes complexas dos alcalóides eritrínicos. Por fim, o pico em 73,84 min pode representar compostos residuais ou fragmentos da matriz da celulose, que são retidos por períodos mais longos na coluna (Amorim *et al.*, 2019; Bezerra *et al.*, 2019).

3.2.2 Determinação de Fenólicos Totais

A quantificação de compostos fenólicos totais no extrato etanólico de *Erythrina mulungu*, realizada pelo método de Folin-Ciocalteu, revelou uma concentração de 145,94 $\mu\text{g/mL}$, equivalente a 729,68 mg GAE/g de extrato seco. Esse valor é consideravelmente elevado em comparação com extratos vegetais típicos, que geralmente apresentam concentrações entre 50 a 300 mg GAE/g (Veber *et al.*, 2019). A magnitude observada pode ser atribuída à combinação de fatores, como a alta eficiência do etanol na extração de compostos fenólicos lipofílicos, a presença de flavonoides e alcaloides fenólicos na matriz vegetal, e a baixa concentração de massa seca utilizada na diluição (0,0002 g/mL), que amplifica a razão entre fenólicos totais e massa (Alara *et al.*, 2021).

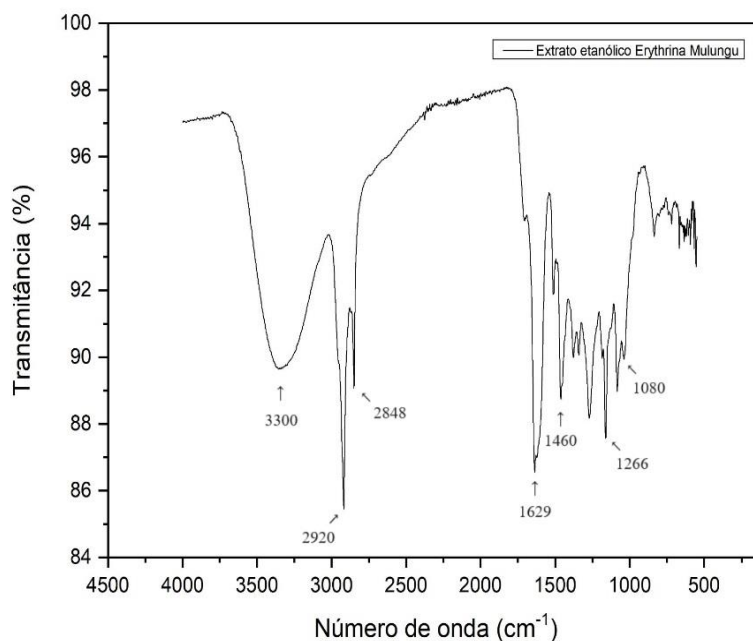
Além disso, é importante considerar que o reagente de Folin-Ciocalteu responde não apenas a fenóis, mas também a outros compostos redutores, como ácidos orgânicos e açúcares, o que pode contribuir para o valor final (Singleton & Rossi, 1965). A presença de ácidos fenólicos como clorogênico e cafeico, identificados por CLAE, reforça a validade do resultado.

Portanto, embora o valor obtido seja elevado, ele é coerente com o perfil fitoquímico da espécie e com a metodologia aplicada. Recomenda-se, contudo, que estudos comparativos considerem a concentração inicial da amostra e o tipo de solvente utilizado, para evitar interpretações desproporcionais sobre a riqueza absoluta de fenólicos no extrato.

3.2.3 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Na Figura 6 é possível visualizar o espectro de infravermelho para o extrato da *Erythrina mulungu*.

Figura 6 - Espectroscopia de Infravermelho do extrato da *Erythrina mulungu*.



Fonte: Autoria própria.

A análise do espectro FTIR do extrato etanólico de *Erythrina mulungu* revela bandas características que indicam a presença de grupos funcionais compatíveis com os principais compostos bioativos da espécie. A banda larga em torno de 3330 cm^{-1} está associada ao estiramento de grupos hidroxila ($-\text{OH}$), presentes em fenóis e flavonoides, além do próprio solvente

etanol. As bandas em 2920 e 2848 cm^{-1} correspondem aos estiramentos C–H alifáticos, comuns em cadeias hidrocarbonadas de alcaloides (Silverstein *et al.*, 2014).

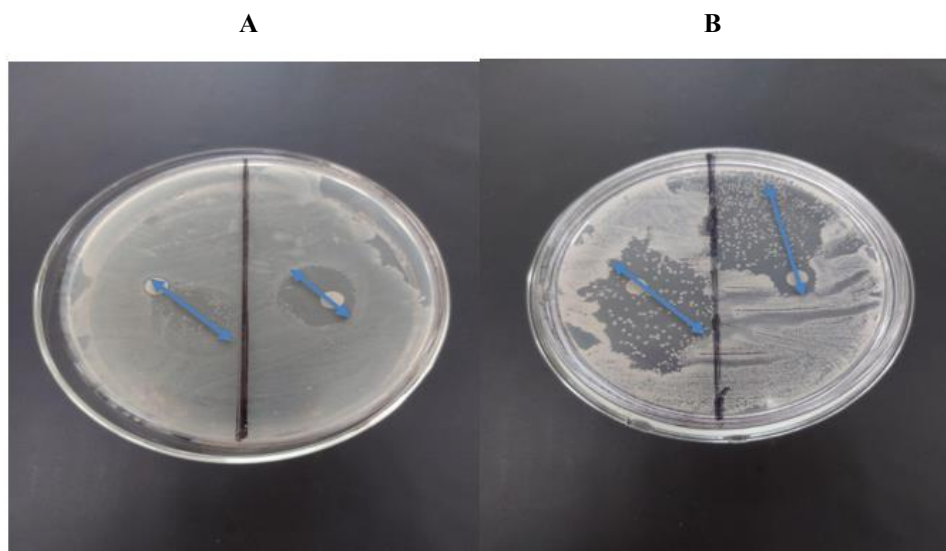
A absorção em 1730 cm^{-1} sugere a presença de grupos carbonila (C=O), compatíveis com flavonoides e ésteres (Wang *et al.*, 2016; Xing *et al.*, 2024). Já os sinais em 1460 cm^{-1} e 1269 cm^{-1} podem ser atribuídos a C=C aromáticos e C–O–C de éteres, respectivamente, enquanto a banda em 1050 cm^{-1} pode indicar ligações C–N, presentes em aminas terciárias de alcaloides (Jafari *et al.*, 2015).

Esses dados espectrais estão alinhados com os compostos majoritários da planta, que são lipofílicos e apresentam estruturas tetracíclicas com grupos amina e fenólicos. Cavallieri (2019) isolou alcaloides etitrínicos do extrato etanólico das cascas do caule de *E. mulungu*, e o espectro obtido por ela apresenta semelhanças marcantes com o observado neste estudo, reforçando a presença desses compostos.

3.2.4 Atividade antimicrobiana do extrato etanólico

Após o período de incubação, foi possível verificar que o extrato etanólico da *Erythrina mulungu* inibiu o crescimento das bactérias em análise. Os halos de inibição obtidos foram de $21,50 \pm 0,29$ mm para a bactéria *Escherichia coli* e de $35,75 \pm 0,74$ mm para a *Staphylococcus aureus*. As imagens referentes ao teste de atividade antimicrobiana do extrato etanólico de mulungu podem ser visualizadas na Figura 7.

Figura 7 - Teste de atividade antimicrobiana do extrato etanólico da *Erythrina mulungu* para a (A) *Escherichia coli* e (B) *Staphylococcus aureus*



Fonte: Autoria própria.

Na análise da atividade antimicrobiana do extrato etanólico de *Erythrina mulungu*, observou-se formação de halos de inibição com diâmetro aproximado de 20 mm para *Escherichia coli* e superior a 20 mm para *Staphylococcus aureus*. Esses resultados indicam uma sensibilidade intermediária da cepa gram-negativa (*E. coli*) e uma alta sensibilidade da cepa gram-positiva (*S. aureus*) ao extrato testado. No entanto, é importante destacar que os halos observados apresentaram descentralização e presença de colônias dentro da zona de inibição, o que pode indicar atividade bacteriostática parcial ou resistência adaptativa local (BrCAST-EUCAST, 2021).

A presença de colônias dentro dos halos sugere que o extrato pode não ter promovido uma inibição completa em todas as áreas expostas, ou que houve difusão irregular do extrato no meio, possivelmente influenciada pela viscosidade ou composição química do extrato (Valgas *et al.*, 2007). Nesses casos, recomenda-se considerar a maior distância radial livre de crescimento bacteriano como referência para o diâmetro do halo, mas com ressalvas quanto à homogeneidade da ação antimicrobiana (Andrews, 2001).

Embora o etanol seja reconhecido como um agente antimicrobiano em determinadas concentrações, estudos mostram que sua forma absoluta (100%) não apresenta desempenho adequado em testes de difusão em ágar. Isso acontece porque o etanol puro evapora muito rápido e praticamente não se difunde pelo meio, o que impede a formação de halos de inibição (McDonnell & Russell, 1999). Dessa forma, os halos registrados neste trabalho podem ser atribuídos apenas aos compostos bioativos presentes no extrato de *E. mulungu*.

Estudos anteriores corroboram esse potencial: Ferreira Neto (2017) realizou em seu trabalho o estudo da atividade antimicrobiana da casca da *Erythrina velutina* através do teste da difusão de disco contra as bactérias *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Mycobacterium smegmatis* e *Enterococcus faecalis*, podendo observar a ação inibitória do extrato, com halos de inibição correspondendo respectivamente a 20 mm, 18 mm, 14 mm, 18 mm e 16 mm.

Enquanto Alves *et al.* (2019) avaliaram a atividade antimicrobiana de diferentes extratos de ervas medicinais, entre eles a *Erythrina mulungu*, na forma de tintura, frente a bactérias orais. As cepas de referência utilizadas no estudo foram *Streptococcus mutans*, *S. oralis* e *S. salivarius*. A tintura de *Erythrina mulungu* apresentou atividade antimicrobiana para as três bactérias em estudo, apresentando halos de inibição correspondentes a 15 mm, 11 mm e 11,3 mm para as bactérias *Streptococcus mutans*, *S. oralis* e *S. salivarius*, respectivamente. O autor pôde concluir que a *Erythrina mulungu* possui potencial de uso para combate ao biofilme cariogênico, tendo em vista que apresentou atividade bactericida frente a *S. mutans*, sendo este microrganismo considerado como o principal resistente constituinte de biofilmes cariogênicos.

Os resultados obtidos neste estudo, portanto, reforçam a atividade antimicrobiana da espécie, especialmente contra bactérias gram-positivas, e indicam a necessidade de padronização dos ensaios e controle da difusão do extrato para garantir a reprodutibilidade dos dados.

3.2.5 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante do extrato etanólico de *Erythrina mulungu* foi avaliada por meio do método de DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), que consiste na medição da capacidade do extrato em neutralizar radicais livres por meio da doação de elétrons ou átomos de hidrogênio. A reação entre o extrato e o radical DPPH resulta na diminuição da absorbância da solução, medida em 517 nm, sendo a porcentagem de inibição calculada pela equação 1, descrita na metodologia.

O valor obtido para a inibição da atividade antioxidante foi de 92,82%, indicando uma atividade antioxidante extremamente elevada. Esse resultado é compatível com extratos vegetais ricos em compostos fenólicos e flavonoides, como já evidenciado nos dados de FTIR, CLAE e na quantificação de fenólicos totais. Segundo Soneguete *et al.* (2019), extratos com inibição superior a 70% já são considerados potentes antioxidantes, sendo o valor obtido neste estudo comparável a padrões sintéticos como ácido ascórbico.

Os compostos antioxidantes podem apresentar diversos benefícios e ainda desenvolverem um importante papel na melhoria da qualidade de vida, expressando uma capacidade de proteção contra os danos causados pelos radicais livres no organismo, podendo prevenir ou postergar o início de doenças cardiovasculares, neurodegenerativas e crônicas. (Ramos *et al.*, 2020)

Ainda segundo os mesmos autores, os compostos fenólicos, em especial os ácidos fenólicos e os polifenóis: flavonóides, taninos e cumarinas hidrolisáveis apresentam uma capacidade de eliminação de radicais livres significativa. Podendo ser considerados os principais responsáveis pela ação antioxidante, tendo em vista que outros autores em seus trabalhos também relataram as diferentes atividades provocadas por esta classe de compostos (Cavallieri, 2019; Santiago *et al.*, 2022).

As plantas do gênero *Erythrina* são evidenciadas por produzirem alcaloides, flavonoides e terpenos. Sendo assim, a alta atividade antioxidante apresentada pelo extrato etanólico da *Erythrina mulungu* neste trabalho, evidencia a presença desses grupos de compostos que possuem a capacidade de eliminação de radicais livres, em especial o grupo dos flavonóides.

3.3 Discussão Comparativa entre o Extrato Aquoso e o Extrato Etanólico de *Erythrina Mulungu*

A comparação entre os extratos aquoso e etanólico de *Erythrina mulungu* evidencia diferenças marcantes na composição química e nas atividades biológicas, diretamente relacionadas ao tipo de solvente utilizado no processo de extração.

3.3.1 Perfil químico (CLAE e FTIR)

Os cromatogramas de ambos os extratos revelaram a presença de compostos fenólicos e alcaloides eritrínicos, porém com intensidades distintas. O extrato aquoso apresentou picos menos intensos e menor diversidade de compostos hidrofóbicos, enquanto o extrato etanólico exibiu maior número de picos intermediários e tardios, indicando extração mais eficiente de alcaloides menos polares.

O FTIR reforça as diferenças observadas entre os extratos. No extrato aquoso, predominam bandas características de fenóis e flavonoides hidrossolúveis, refletindo a afinidade desses compostos por solventes polares. Já o extrato etanólico apresenta bandas adicionais associadas a grupos carbonila, éteres e aminas, compatíveis com alcaloides e flavonoides de maior lipofilicidade. Esse conjunto de evidências confirma que o etanol é capaz de extrair uma fração química mais ampla e complexa, incluindo compostos de maior hidrofobicidade.

3.3.2 Teor de fenólicos totais

A diferença entre os extratos foi bastante expressiva. O extrato aquoso apresentou um teor de 7,64 mg GAE/g, enquanto o extrato etanólico alcançou 729,68 mg GAE/g. Esse valor extremamente elevado no extrato etanólico evidencia a maior afinidade dos compostos fenólicos — especialmente flavonoides e ácidos fenólicos — por solventes orgânicos. Além disso, o método de Folin-Ciocalteu também responde a outros compostos redutores presentes no extrato etanólico, o que contribui para a magnitude observada.

3.3.3 Atividade antimicrobiana

A atividade antimicrobiana apresentou um contraste marcante entre os extratos. O extrato aquoso gerou halos inferiores a 14 mm, indicando resistência das bactérias testadas, enquanto o extrato etanólico produziu halos de 21,50 mm para *E. coli* e 35,75 mm para *S. aureus*, evidenciando uma atividade significativamente mais expressiva. Essa diferença reforça o papel do etanol na extração de alcaloides e compostos fenólicos lipofílicos, amplamente reconhecidos por sua ação antimicrobiana. Embora tenham sido observadas colônias dentro das zonas de inibição do extrato etanólico, sugerindo uma possível ação bacteriostática parcial, esse achado não reduz a evidência de sua forte atividade frente às cepas avaliadas.

3.3.4 Atividade antioxidante

A diferença entre os extratos também foi bastante evidente. O extrato aquoso apresentou apenas 14,70% de inibição, enquanto o extrato etanólico alcançou 92,82%, revelando uma atividade antioxidante extremamente elevada. Esse desempenho

superior do extrato etanólico é compatível com extratos ricos em flavonoides e polifenóis, compostos reconhecidos por sua forte capacidade de neutralização de radicais livres. Já o extrato aquoso exibiu uma atividade consideravelmente menor, provavelmente em razão da baixa solubilização de compostos apolares com elevado potencial antioxidante.

3.3.5 Implicações gerais

Os resultados demonstram que o extrato aquoso apresenta composição e bioatividade mais limitadas, sendo mais adequado para situações em que se deseja menor interferência química, como em cultivos microbianos. Em contraste, o extrato etanólico mostrou-se muito mais rico em compostos bioativos e exibiu forte atividade antioxidante e antimicrobiana. Essas diferenças evidenciam que a escolha do solvente influencia diretamente o perfil químico obtido e, consequentemente, o comportamento biológico dos extratos, determinando sua aplicabilidade em diferentes contextos.

4. Conclusão

Os resultados obtidos demonstram diferenças marcantes entre os extratos avaliados. O extrato aquoso apresentou composição mais restrita e baixa atividade biológica, enquanto o extrato etanólico se destacou pela maior diversidade de compostos e pelas atividades antioxidante e antimicrobiana significativamente superiores. Essas diferenças evidenciam que a escolha do solvente exerce influência direta sobre o perfil químico e funcional dos extratos de *Erythrina mulungu*. Assim, o estudo confirma que solventes distintos produzem extratos com características e comportamentos biológicos próprios, reforçando a importância da seleção criteriosa do método de extração em investigações fitoquímicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio fornecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo Núcleo de Pesquisa em Inovação Terapêutica (Nupit).

Referências

- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). *Extraction of phenolic compounds: A review. Current Research in Food Science*, 4, 200–214.
- Alves, V. F., Figueiredo, R. D., Cavalcanti, Y. W., & Padilha, W. W. N. (2019). *Atividade antimicrobiana de plantas medicinais indicadas para uso no Sistema Único de Saúde. Revista Cubana de Estomatologia*, 56(4), 1–16.
- Amorim, J., Borges, M. C., Fabro, A. T., Contini, S. H. T., Valdevite, M., Pereira, A. M. S., & Carmona, F. (2019). *The ethanolic extract from Erythrina mulungu Benth. flowers attenuates allergic airway inflammation and hyperresponsiveness in a murine model of asthma. Journal of Ethnopharmacology*, 243, 112108.
- Andrews, J. M. (2001). *Determination of minimum inhibitory concentrations. Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 48(Suppl. 1), 5–16.
- Awad, A. M., Kumar, P., Ismail-Fitry, M. R., Jusoh, S., Aziz, M. F. A., & Sazili, A. Q. (2022). Overview of plant extracts as natural preservatives in meat. *Institute of Food Science & Technology*.
- Aryal, S., Baniya, M. K., Danekhu, K., Kunwar, P., Gurung, R., & Koirala, N. (2019). *Total phenolic content, flavonoid content and antioxidant potential of wild vegetables from Western Nepal. Plants*, 8(96), 1–13.
- Bezerra, J. W. A., Coronel, C., Gomez, M. C. V., Rolón, M., Nunez, C. V., Silva, D. R., Silva, L. A., Rodrigues, F. C., Boligon, A. A., Souza, M. A., Linhares, K. V., Silva, M. A. P., & Morais-Braga, M. F. B. (2019). *Evaluation of antiparasitary, cytotoxic and antioxidant activity and chemical analysis of Tarenaya spinosa (Jacq.) Raf. (Cleomaceae). South African Journal of Botany*, 124, 546–555.
- BrCAST-EUCAST. (2021). *Guia de leitura: Método de disco-difusão para teste de sensibilidade aos antimicrobianos (Versão 8.0)*.
- Cardoso, A. P. M. N. (2021). *Uso do bioestimulante à base de algas marinhas e água residuária de piscicultura na produção de mudas de mulungu (Erythrina velutina Willd) em solo de área degradada (Dissertação de Mestrado)*. Instituto Federal do Rio Grande do Norte.
- Cavalcante, P. V. D. (2018). *Desenvolvimento e caracterização de filme ativo antimicrobiano de amido de araruta/quitosana incorporado com óleo essencial de Thymus vulgaris *(Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal de Pernambuco.

- Cavallieri, K. N. (2019). *Estudo químico e avaliação biológica dos alcaloides presentes em Erythrina mulungu (Fabaceae)* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia].
- Clinical and Laboratory Standards Institute. (2015). *M02-A12: Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests*. CLSI.
- Cowan, M. M. (1999). *Plant products as antimicrobial agents*. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582.
- Da Silva Mota, G., Nery, F. C., da Silva Araujo, E., et al. (2025). *Characterization of cork features of Erythrina mulungu and Enterolobium gummiferum in view of a potential valorization and conservation of forest species in the Cerrado bioma*. *European Journal of Wood and Wood Products*, 83(2), 1–12.
- De Lima, A. C. A., Brito, A. M. S. S., Caetano, V. F., & Vinhas, G. M. (2025). Incorporation of cashew bark extract and gamma irradiation effects on biodegradable bacterial cellulose/kappa-carrageenan film. *Express Polymer Letters*, 19, 610–627.
- Do Nascimento, H. A. (2022). *Produção de biopolímero de celulose bacteriana aditivado com antioxidante natural* (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco.
- El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Mohammed, D. M., Alkafaas, S. S., Abd El-Mageed, T. A., Ahmed, A. E., Algopishi, U. B., Abu-Elsaoud, A. M., Mosa, W. F. A., El-Tarabily, K. A., & AbuQamar, S. F. (2025). Plant bioactive compounds: Extraction, biological activities, immunological, nutritional aspects, food application, and human health benefits—A comprehensive review. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1659743.
- Ferreira Neto, J. P. (2017). *Atividade citotóxica, avaliação fitoquímica e atividade antimicrobiana de plantas medicinais de Pernambuco* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco].
- Herlina, T., Akili, A. W. R., Nishinarizki, V., Hardianto, A., & Latip, J. B. (2025). Review on antibacterial flavonoids from genus *Erythrina*: Structure–activity relationship and mode of action. *Heliyon*, 11(1).
- Jafari, M. S., Ghadami, S., Mantripragada, S., Dellinger, K., Alston, J. R., & Lajeunesse, D. R. (2025). *Facile and green carboxylation of never-dried bacterial cellulose produced from low-cost substrates: Structural characterization and copper binding performance*. *Materials Advances*, 6(1), 8936–8951.
- Joselin, J., Benila, B. S., Brintha, T. S. S., & Jeeva, S. (2025). Phytochemical profiling, FT-IR spectroscopy, and antioxidant evaluation of select Lamiaceae species. *Intelligent Pharmacy*, 3(2), 111–117.
- Lima, N. F., Maciel, G. M., Fernandes, I. A. A., & Haminiuk, C. W. I. (2022). Adsorção de fenólicos em celulose bacteriana otimizada. *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos*, 13(2), 45–58.
- McDonnell, G., & Russell, A. D. (1999). *Antiseptics and disinfectants: Activity, action, and resistance*. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(1), 147–179.
- Mungwari, C. P., King'ondo, C. K., Sigauke, P., & Obadele, B. A. (2025). Conventional and modern techniques for bioactive compounds recovery from plants: Review. *Scientific African*, 27, e02509. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02509>
- Pereira, A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. (Free ebook). Santa Maria. Editora da UFSM.
- Poffo Spézia, F., Siebert, D., Tenfen, A., Cordova, C. M. M., Alberton, M. D., & Guedes, A. (2020). *Avaliação da atividade antibacteriana de plantas medicinais de uso popular: Alternanthera brasiliana, Plantago major, Arctostaphylos uva-ursi e Phyllanthus niruri*. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, 11.
- Rambo, D. F. (2011). *Determinação de parâmetros de controle de qualidade para Erythrina verna Vell.* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Ramos, R. M., Feitosa, J. M., Da Silva Lima, V., Da Conceição Santos, R., De Oliveira, A. M., Soares, L. A. L., & Da Silva, G. C. (2020). *Estudo comparativo da composição fitoquímica, citotoxicidade e potenciais antioxidante e fotoprotetor da casca e folha de Erythrina velutina*. *Brazilian Journal of Development*, 6(6), 33140–33158.
- Risemberg, R. I. C., Wakin, M., & Shitsuka, R. (2026). A importância da metodologia científica no desenvolvimento de artigos científicos. *E-Acadêmica*. 7(1), e0171675.
- Santiago, I. F., Damasceno, H. C. M. C., & Cavelet, L. C. (2022). Perfil farmacológico da *Erythrina velutina* no transtorno de ansiedade. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 8(10), 1711–1720.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). *Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents*. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
- Silverstein, R. M., Webster, F. X., Kiemle, D. J., & Lipkins, K. (2014). *Spectrometric identification of organic compounds* (8ª ed.). Wiley.
- Soneguete, G. C., Gonçalves, M. C., Silva, R. A., Lima, A. M. F., & Pereira, A. C. S. (2019). *Avaliação da atividade antioxidante de extratos de Protium spp. pelo método DPPH*. *Anais do Congresso Brasileiro de Química*, 62.
- Tondi, G., Link, M., Oo, C. W., & Petutschnigg, A. (2015). *A simple approach to distinguish classic and formaldehyde-free tannin-based rigid foams by ATR FT-IR*. *Journal of Spectroscopy*, 2015(1), 1–8.
- Valgas, C., Souza, S. M., Smânia, E. F., & Smânia, A. (2007). *Screening methods to determine antibacterial activity of natural products*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 38(2), 369–380.
- Veber, J., Petrini, L. A., Andrade, L. B., & Siviero, J. (2019). *Determinação dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante de extratos aquosos e etanólicos de Jambolão (Syzygium cumini)*. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*.

Wang, J., Tavakoli, J., & Tang, Y. (2019). *Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – A review*. *Carbohydrate Polymers*, 219, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.008>

Xing, T.-Q., Zhao, T.-F., Hu, C.-S., Cao, X.-F., Sun, S.-N., Shen, X.-J., Wen, J.-L., Yuan, T.-Q., & Sun, R.-C. (2024). *Ultrafast surface esterification of cellulosic materials in aqueous media at room temperature*. *Cellulose*, 31(1), 10241–10252.