



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

Recredenciada pela Portaria – MEC n.º 747, de 10/09/2020 – D.O.U. 11/09/2020

Mantenedora: UNIPAR – SOCIEDADE EMPRESARIAL LTDA.

Coordenação de Pós-Graduação *Stricto Sensu* e Pesquisa

Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura

DOUGLAS EDUARDO SOARES PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIBACTERIANA
DO ÓLEO ESSENCIAL E EXTRATO BRUTO DE *Galesia integrifolia*
INCORPORADOS EM NANOFIBRAS ELETROFIADAS COM
ETILCELULOSE**

**Umuarama – PR
2026**

DOUGLAS EDUARDO SOARES PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIBACTERIANA
DO ÓLEO ESSENCIAL E EXTRATO BRUTO DE *Gallesia integrifolia*
INCORPORADOS EM NANOFIBRAS ELETROFIADAS COM
ETILCELULOSE**

Tese apresentada como parte das exigências para a obtenção do grau de doutor em Biotecnologia Aplicada à Agricultura pela Universidade Paranaense - UNIPAR.

Orientadora: Dra. Maria Graciela Iecher Faria Nunes

Coorientador: Dr. Douglas Cardoso Dragunski

**Umuarama – PR
2026**

Ficha Catalográfica

P436c Pereira, Douglas Eduardo Soares.

Caracterização físico-química e atividade antibacteriana do óleo essencial e extrato bruto de *Gallesia integrifolia* incorporados em nanofibras eletrofiadas com etilcelulose / Douglas Eduardo Soares Pereira. – Umuarama: Universidade Paranaense - UNIPAR, 2026.

111 f.

Orientadora: Dr^a. Maria Graciela Iecher Faria Nunes.
Tese (Doutorado) – Universidade Paranaense - UNIPAR.

1. Pau d'alho. 2. Nanofibras eletrofiadas. 3. Etilcelulose. 4. Atividade antibacteriana. 5. Biomateriais. I. Universidade Paranaense - UNIPAR. II. Título.

(21 ed.) CDD: 615.321

Bibliotecária Responsável Regiane Luiza Campaneli CRB 9/2194

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIBACTERIANA
DO ÓLEO ESSENCIAL E EXTRATO BRUTO DE *Gallesia integrifolia*
INCORPORADOS EM NANOFIBRAS ELETROFIADAS COM
ETILCELULOSE**

Tese aprovada como requisito obrigatório para obtenção do Grau de Doutor no Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura da Universidade Paranaense – UNIPAR, pela seguinte banca examinadora:

Dr. Fernando Reinoldo Scremin
Instituto Federal do Paraná – Campus Umuarama

Dr. Flávio Augusto Vicente Seixas
Universidade Estadual de Maringá

Dra. Suelen Pereira Ruiz Herrig
Universidade Paranaense

Dra. Zilda Cristiani Gazim
Universidade Paranaense

Dr. Douglas Cardoso Dragunski
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Dra. Maria Graciela Iecher Faria Nunes

Universidade Paranaense – UNIPAR
Umuarama - PR, 21/02/2026

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: NANOFIBRAS ELETROFIADAS À BASE DE ETILCELULOSE INCORPORADAS COM EXTRATOS BRUTOS DE *Gallesia integrifolia*: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E AÇÃO ANTIBACTERIANA8

1. Introdução.....	9
2. Materiais e métodos.....	11
3. Resultados e discussões.....	19
4. Conclusão	41
5. Referências	42

CAPÍTULO II: DESENVOLVIMENTO DE NOVOS BIOMATERIAIS: NANOFIBRAS DE ETILCELULOSE COM AÇÃO ANTIBACTERIANA INCORPORADAS COM ÓLEO ESSENCIAL DE *Gallesia integrifolia*.....49

1. Introdução	50
2. Materiais e métodos	53
3. Resultados e discussões	60
4. Conclusão	88
5. Referências	91
Anexo	98

Douglas Eduardo Soares Pereira

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIBACTERIANA
DO ÓLEO ESSENCIAL E EXTRATO BRUTO DE *Gallesia integrifolia*
INCORPORADOS EM NANOFIBRAS ELETROFIADAS COM
ETILCELOULOSE**

RESUMO: *Gallesia integrifolia*, conhecida popularmente como pau-d'alho, é uma planta nativa da América do Sul e presente na Mata Atlântica. Suas folhas, frutos e flores possuem óleo essencial (OE) e extrato bruto (EB) com alto potencial biológico antioxidante, antimicrobiano e anti-inflamatório. Este estudo, investigou o potencial da eletrofiação para o desenvolvimento de novos biomateriais baseados em nanofibras (NFs) de etilcelulose (EC), incorporadas com óleos essenciais (OEs) e Extratos Brutos (EBs) das flores, frutos e folhas de *G. integrifolia*. As NFs obtidas foram caracterizadas por técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura; Análise Termogravimétrica; Calorimetria Diferencial de Varredura; Ângulo de Contato; Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier; Análises Mecânicas, bem como as atividades antibacterianas em caldo das NFs. Morfologicamente, ambas as abordagens produziram NFs homogêneas, embora com variações dimensionais: as NFs com OEs apresentaram diâmetros menores (217 - 250 nm) comparadas às NFs com EBs (253 - 351 nm). Quimicamente, os estudos revelaram perfis distintos. As fibras com EBs mostraram-se ricas em compostos fenólicos e flavonoides, com predominância de rutina ($> 100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para a flor, fruto e folha), conferindo capacidade antioxidante, especialmente no EB da folha no ensaio 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) – 20,91 μM trolox equivalente mg^{-1} EB e flor com o ensaio 2,2-difenil-1-picril-hidrazina (DPPH) (3,32 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) e ensaio de redução do ferro (ferric reducing antioxidant power) (FRAP) (0,45 μM sulfato ferroso mg^{-1} EB). Já as fibras com OEs destacaram-se pela presença de grupos tiol (S-H) e dissulfeto (S-S), característicos de compostos organossulfurados. Nas propriedades mecânicas, a incorporação dos OEs aumentou a rigidez e o caráter hidrofóbico das NFs. Em contraste, a adição dos EBs alterou a molhabilidade de forma variada: enquanto as NFs com EB de flor e folha mantiveram-se hidrofóbicas ($> 90^\circ$), a incorporação do EB do fruto tornou a membrana hidrofílica ($< 90^\circ$) e altamente intumescível. O destaque de ambos os estudos foi a atividade antibacteriana das NFs superior ao controle positivo (Estreptomicina). Contra *Staphylococcus aureus*, a NF com OE da folha inibiu 55,50% do crescimento e a com EB da folha inibiu 44,35%, enquanto a Estreptomicina inibiu apenas 2,83%. Contra *Escherichia coli*, os resultados foram ainda mais expressivos: a NF com EB do fruto atingiu 75,34% de inibição e a com OE da folha alcançou 66,00%, superando a Estreptomicina (58,29%). Conclui-se que as nanofibras de etilcelulose incorporadas atuam como carreadores eficientes para os bioativos de *G. integrifolia*. Seja através da ação antioxidante dos extratos brutos ou da potência bactericida dos óleos essenciais, estas NFs representam alternativas promissoras para o desenvolvimento de curativos e dispositivos médicos, agregando valor biotecnológico à biodiversidade vegetal.

Palavras-chave: Pau d'alho. Nanofibras eletrofiadas. Etilcelulose. Atividade antibacteriana. Biomateriais.

Douglas Eduardo Soares Pereira

**PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND ANTIBACTERIAL
ACTIVITY OF THE ESSENTIAL OIL AND CRUDE EXTRACT OF *Gallesia
integrifolia* INCORPORATED INTO ETHYLCELLULOSE ELECTROSPUN
NANOFIBERS**

ABSTRACT: *Gallesia integrifolia*, popularly known as garlic tree, is a plant native to South America and found in the Atlantic Forest. Its leaves, fruits, and flowers contain essential oil (EO) and crude extract (CE) with high antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory biological potential. This study investigated the potential of electrospinning for the development of new biomaterials based on ethylcellulose nanofibers (NFs) incorporated with essential oils (EOs) and crude extracts (CEs) from the flowers, fruits, and leaves of *G. integrifolia*. The obtained NFs were characterized by Scanning Electron Microscopy; Thermogravimetric Analysis; Differential Scanning Calorimetry; Contact Angle; Fourier Transform Infrared Spectroscopy; Mechanical Analyses, as well as the antibacterial activities of the NFs in broth. Morphologically, both approaches produced homogeneous NFs, although with dimensional variations: NFs with OEs presented smaller diameters (217 - 250 nm) compared to NFs with EBs (253 - 351 nm). Chemically, the studies revealed distinct profiles. Fibers with EBs showed richness in phenolic compounds and flavonoids, with a predominance of rutin ($> 100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ for the flower, fruit, and leaf), conferring antioxidant capacity, especially in the EB of the leaf in the 2,2-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) assay – $20.91 \mu\text{M}$ trolox equivalent mg^{-1} EB and flower with the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazine (DPPH) assay ($3.32 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay ($0.45 \mu\text{M}$ ferrous sulfate mg^{-1} EB). Fibers with OEs stood out for the presence of thiol (S-H) and disulfide (S-S) groups, characteristic of organosulfur compounds. In terms of mechanical properties, the incorporation of essential oils (EOs) increased the rigidity and hydrophobic character of the non-ferrous membranes (NFs). In contrast, the addition of essential oils (EBs) altered wettability in various ways: while NFs with flower and leaf EB remained hydrophobic ($> 90^\circ$), the incorporation of fruit EB made the membrane hydrophilic ($< 90^\circ$) and highly swollen. The highlight of both studies was the superior antibacterial activity of the NFs compared to the positive control (Streptomycin). Against *Staphylococcus aureus*, the NF with leaf EO inhibited 55.50% of growth and the one with leaf EB inhibited 44.35%, while Streptomycin inhibited only 2.83%. Against *Escherichia coli*, the results were even more impressive: the nanofiber with EB from the fruit achieved 75.34% inhibition, and the one with OE from the leaf reached 66.00%, surpassing Streptomycin (58.29%). It is concluded that the incorporated ethylcellulose nanofibers act as efficient carriers for the bioactive compounds of *G. integrifolia*. Whether through the antioxidant action of the crude extracts or the bactericidal potency of the essential oils, these nanofibers represent promising alternatives for the development of dressings and medical devices, adding biotechnological value to plant biodiversity.

Keywords: Garlic tree. Electrospun nanofibers. Ethylcellulose. Antibacterial activity. Biomaterials.

CAPÍTULO I*

NANOFIBRAS ELETROFIADAS À BASE DE ETILCELULOSE INCORPORADAS COM EXTRATOS BRUTOS DE *Gallesia integrifolia*: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E AÇÃO ANTIBACTERIANA

RESUMO: Este estudo investigou as propriedades físico-químicas e antibacterianas de nanofibras (NFs) eletrofiadas com etilcelulose (EC) incorporadas com extratos brutos (EB) das flores, frutos e folhas de *Gallesia integrifolia*. As NFs foram obtidas pelo método de eletrofição, o material obtido foi caracterizado pelas técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura, Análises Térmicas e Mecânicas, bem como as propriedades antibacterianas em caldo das NFs. A composição química dos EB analisada por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas de alta resolução (HPLC-MS/MS) apresentaram composição rica em fenólicos, flavonoides, com rutina ($> 100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para a flor, fruto e folha). O EB da flor exibiu maior capacidade antioxidante nos ensaios 2,2-difenil-1-picril-hidrazina (DPPH) ($3,32 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) e ensaio de redução do ferro (ferric reducing antioxidant power) (FRAP) - $0,45 \mu\text{M}$ sulfato ferroso mg^{-1} EB, enquanto o da folha se destacou no ensaio 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) - $20,91 \mu\text{M}$ trolox equivalente mg^{-1} EB). As NFs de EC apresentaram diâmetro na escala de 253 a 351 nanômetros. A incorporação dos EB modificou a molhabilidade e o grau de intumescimento, tornando a membrana com EB fruto mais hidrofílica e altamente intumescível, enquanto as NFs de flor e folha permaneceram hidrofóbicas e menos suscetíveis à perda de massa. As NFs demonstraram atividade antibacteriana contra *Staphylococcus aureus* com destaque para a NF incorporada com EB da folha com inibição de 44,35 % frente a 2,83 % da Estreptomicina e *Escherichia coli* para a NF incorporada com o fruto obtendo 75,34 % de inibição frente a 58,29 % da Estreptomicina, efeito associado ao alto teor de flavonoides e compostos organossulfurados. Conclui-se que as nanofibras de EC incorporadas representam material promissor para aplicações biotecnológicas com propriedades antibacterianas.

Palavras-chave: Pau d'álho, Nanofibras eletrofiadas, Etilcelulose, Flavonoides.

***Este capítulo foi redigido e formatado em conformidade com as normas de publicação do periódico *International Journal of Biological Macromolecules*, conforme as diretrizes apresentadas em anexo.**

1. Introdução

As infecções bacterianas são um dos principais problemas de saúde, devido ao aumento da resistência microbiana frente aos antibióticos disponíveis, frequentemente exigindo tratamentos prolongados [1,2]. Materiais com atividade antimicrobiana eficaz é de interesse da área médica [3,4]. Esses materiais devem liberar agentes antibacterianos carregados de forma sustentável, proporcionando atividade antimicrobiana enquanto mantém uma concentração saudável para a reabilitação tecidual, principalmente, quando há rompimento da epiderme e da derme causada por uma agressão [4,5].

Nesse sentido, observa-se uma crescente inserção de polímeros, em especial na medicina, de origem biológica sendo utilizados como veículo de transporte para moléculas bioativas com potencial antimicrobiano, bem como antioxidante. Com isso o desenvolvimento de materiais para liberação sustentada de fármacos depende da seleção de polímeros adequados e da implementação de métodos de produção viáveis [6-8].

Entre as diversas plataformas antibacterianas como hidrogel e óxido metálico, as nanofibras (NFs) eletrofiadas apresentam vantagens, como melhor porosidade e propriedades mecânicas para absorver exsudatos teciduais e permitem a permeação de ar, levando a uma melhor recuperação de feridas [9, 10]. A eletrofiação é um método simples e eficiente para a produção de nanofibras (NFs) [11,12]. Matrizes eletrofiadas demonstram versatilidade na incorporação de diversos compostos bioativos, tais como antioxidantes [13], antibióticos [14] e óleos essenciais (OE) [15]. Destaca-se ainda, o potencial para a imobilização de extratos brutos (EB).

A etilcelulose (EC) é um polímero natural biodegradável de baixo custo derivado da celulose, demonstrando ser um material promissor na produção de NFs em diversas aplicações, especialmente na área biomédica. As vantagens da EC residem em sua natureza atóxica e hidrofóbica, combinadas com alta flexibilidade, termoplasticidade e excelente resistência mecânica. Tais atributos, somados à sua eficácia na liberação controlada de substâncias incorporadas, como a incorporação de extrato da casca de laranja amarga [16], garantem a viabilidade técnica e econômica para o desenvolvimento de novas NFs [17].

Pesquisas recentes demonstraram o potencial do uso de derivados de plantas como material para curativos. Por exemplo, Mohebian *et al.* [18] utilizaram a técnica de

eletrofiação para criar NFs compostas de EC/hidroxipropilmetilcelulose incorporadas com *Aloe vera*. As NFs produzidas demonstraram biocompatibilidade, aumento da proliferação, adesão celular e atividade antibacteriana contra cepas de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*.

Gallesia integrifolia (Spreng.) Harms, pertencente à família da Phytolaccaceae é uma planta endêmica do Brasil e está distribuída na Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica [21]. Popularmente conhecida como “pau d’alho” devido ao forte odor de alho característico dos compostos de enxofre presentes em todas as partes da planta. Possui propriedades etnofarmacológicas diversas, sendo tradicionalmente utilizada no tratamento de reumatismo, bronquite, asma, pneumonia, tosse, doenças do sistema linfático, verminose, otite e tumores de próstata [22]. Estudos realizados com OE e EB de *G. integrifolia* indicaram que a planta possui uma ampla gama de propriedades medicinais como potencial anti-inflamatório, antiproliferativo e antitumoral [23], antifúngico [21,24], antiviral [25], antiúlcera [26] e antimicobacteriano [22]. Entretanto pouco se conhece sobre a eletrofiação de *G. integrifolia*, principalmente do EB, sendo este o objetivo do presente trabalho.

Os OE e extratos brutos (EB) são amplamente usados na indústria de cosméticos e farmacêutica devido às suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Um exemplo são os terpenos, compostos abundantes nesses OE, que atuam facilitando a penetração de agentes ativos na pele [20]. Em um estudo recente, NFs foram obtidas por eletrofiação utilizando o polímero Ecovio® (mistura de poliadipato-co-tereftalato de butileno – PBAT e poliácido láctico – PLA) contendo OE extraídos da flor, fruto e folha de *Gallesia integrifolia* [12]. Conforme reportado por Alexandre *et al.* [12], essas membranas biodegradáveis apresentaram atividade antimicrobiana frente a *Candida albicans* e *Pseudomonas aeruginosa*.

O objetivo deste trabalho foi produzir pelo método de eletrofiação NFs de EC incorporadas ao EB da flor, fruto e folha de pau d'alho, com possíveis aplicações terapêuticas e medicinais. As propriedades morfológicas, térmicas, mecânicas e antibacterianas dessas NFs contra bactéria Gram-positiva (*Staphylococcus aureus*) e Gram-negativa (*Escherichia coli*) foram investigadas. Ressalta-se que este é o primeiro trabalho que utiliza EB da planta *G. integrifolia* para a obtenção de NFs eletrofiadas.

2. Materiais e métodos

2.1. Material vegetal

As folhas, flores e frutos foram coletadas de um exemplar adulto de *G. integrifolia* obtidas na região noroeste do estado do Paraná, nas coordenadas Latitude: 23°46'16"S e Longitude: 53°19'38"O, no Centro Municipal de Educação Infantil Rachel de Queiroz da cidade de Umuarama – Paraná - Brasil. As flores foram coletadas nos meses de março e abril de 2022, os frutos no mês de julho de 2022 e as folhas no mês de outubro de 2022, sendo coletadas pela manhã entre 08h00 e 10h00. A espécie foi cadastrada no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o nº AB832D3. Uma amostra encontra-se depositado no Herbário da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) sob o número 1716.

2.2. Preparação do extrato bruto

Foi utilizado separadamente 300 g de flores, 314 g de frutos e 360 g das folhas secas a temperatura ambiente, os quais foram fragmentados a granulometria de 850 µm. Em seguida, foram submetidos ao processo de maceração dinâmica com renovação do solvente (Álcool etílico – 96° GL) até o material vegetal ser totalmente esgotado. O filtrado foi então concentrado sob pressão reduzida em um evaporador rotativo (Tecnal TE-210) a 40° C até a obtenção dos extratos brutos [27]. O rendimento foi calculado a partir da razão entre a massa (g) do material vegetal seco pela massa (g) do extrato obtido e expresso em porcentagem (%).

2.3. Identificação química dos extratos brutos das flores, frutos e folhas de *G. integrifolia* por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas de alta resolução (HPLC-MS/MS)

Os EB de *G. integrifolia* foram analisados por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas (HPLC-MS/MS) (Shimadzu® modelo 8050 MS e Nexera® X2 HPLC), equipada com uma fonte de ionização por eletrospray (ESI). A ESI foi utilizada nos modos negativo e positivo, com varredura no modo de monitoramento de múltiplas reações (MRM). O detector MS/MS foi operado em modo

de varredura por 15 minutos. A energia de colisão foi de 15 V (positiva) e 30 V (negativa). A tensão de interface utilizada foi de 3 kV, corrente de 7 μ A, temperatura de 300 °C e vazões de gás de nebulização e gás de secagem foram de 3 L min⁻¹ e 10 L min⁻¹, respectivamente. Argônio foi usado como gás de colisão a uma pressão máxima de 20 mPa. A separação cromatográfica foi realizada usando uma coluna C18 (5 μ m, 150 \times 4,6 mm, Shimadzu®). As fases móveis foram: água Milli-Q acidificada com 0,1% (v/v) de ácido fórmico (A) e MS grau metanol (Merck® (Darmstadt, Alemanha)) (B). Elas foram operadas em modo gradiente linear: 1 - 9 min (20% B), 10 - 15 min (40% B) e 16 - 30 min (10% B), a uma vazão de 0,5 mL min⁻¹, a 40 °C. As amostras foram filtradas (membrana hidrofóbica de fluoreto de polivinilideno - PVDF, tamanho de poro 0,45 μ m e 25mm de diâmetro) e o volume de injeção foi de 1 μ L. Curvas analíticas (10 - 250 μ g/L) foram obtidas para os seguintes compostos: catecol, morina, isovanilina, ácido gálico, quercetina, hidroxibenzaldeído, naringenina, siringaldeído, ácido clorogênico, ácido siríngico, ácido protocatecuico, ácido vanílico, ácido salicílico, vanilina, ácido ferúlico, ácido p-hidroxibenzóico, naringina, ácido p-cumárico, ácido cafeico, aldeído coniferílico, ácido sinápico, siringaldazina, catequina, sinapaldeído, luteolina, rutina, teobromina, epicatequina, baicalina, crisina, ácido quínico, ácido málico, caempferol, cumarina, cafeína, ácido resorcílico, ácido nicotínico e ácido fumárico [28].

2.4. Ensaio de sensibilidade para determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) dos extratos brutos das flores, fruto e folhas de *G. integrifolia*

2.4.1. Microrganismos e preparo do inóculo

A atividade antibacteriana dos EBs foi testada em doze bactérias pertencentes ao laboratório de biotecnologia de produtos vegetais e microrganismo Unipar/Umuarama-PR. As cepas de bactérias Gram-positivas foram *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12228), *Staphylococcus aureus* Newprov 0023, *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Bacillus cereus* (ATCC 12228) e *Listeria monocytogenes* (ATCC 7644). As cepas de bactérias Gram-negativas foram *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Shigella sonnei* (ATCC 25931), *Escherichia coli* Newprov 0022, *Staphylococcus Typhi* (ATCC 19214) *Escherichia coli*

(ATCC 25922), *Esterobacter cloacae* Newprov 0083. O inóculo foi preparado através de diluição da massa celular bacteriana a partir do cultivo de 24 h. A concentração final de células bacterianas foi ajustada de acordo com a Escala 0,5 de McFarland ($1,5 \times 10^8$ UFC mL⁻¹) em solução salina estéril 0,9% e após realizada a leitura em espectrofotômetro (Spectra Max Plus384) a 625 nm para confirmação da concentração. A seguir, foi feita diluição da suspensão 1:10 em meio da cultura Mueller Hinton Caldo (Kasvi®) obtendo-se um inóculo $1,5 \times 10^5$ UFC mL⁻¹.

2.4.2. Atividade antibacteriana pelo método de microdiluição em caldo e determinação da concentração inibitória mínima (CIM) e da concentração bactericida mínima (CBM)

A concentração inibitória mínima (CIM) para cada microrganismo frente aos EBs foi realizada por meio da técnica de microdiluição em caldo usando microplacas de 96 poços. Para cada microrganismo, foi realizada uma suspensão padronizada em solução salina conforme descrito no item 2.4.1. A CIM foi realizada de acordo com o método de microdiluição em caldo do CLSI [29] com modificações para produtos naturais. Os EB foram testados nas concentrações entre 0,019 e 20,00 mg mL⁻¹. Após a diluição seriada, 50 µl do inóculo foi adicionado a cada poço e submetido à incubação a 35° C por 24 h. A leitura foi realizada com a adição de 20 µL de revelador 2,3,5-cloreto de trifeniltetrazólio (Reatec®) a 1,0% em cada poço seguida de incubação das microplacas a 35° C por 20 min. A CIM foi definida pela menor concentração que resultou na inibição do crescimento visual de acordo com o revelador. Foi utilizado como controle positivo o antibiótico Estreptomicina (Sigma®) (0,0097 - 0,5 mg mL⁻¹) [67]. Após a leitura, 2 µL de cada poço foi cultivado em meio de cultura Mueller Hinton Agar e incubadas a 35 °C por 24 h para determinação da concentração bactericida mínima (CBM) do EB frente aos microrganismos estudados.

2.5. Determinação da capacidade antioxidante

2.5.1. Determinação da atividade antioxidante utilizando o potencial antioxidante de redução férrica (FRAP)

A preparação do reagente FRAP seguiu a metodologia de Benzie e Strain [33], modificada por Rufino *et al.* [34], na qual foram combinados 25 mL de tampão acetato (0,3 M), 2,5 mL de solução aquosa de 2,4,6-Tris(2-piridil)-estriazina (TPTZ—10 mM), 2,5 mL de solução aquosa de cloreto férrico (20 mM) e 3 mL de água destilada. A solução reagente consistiu em 10 µL dos EB das flores, frutos e folhas de *G. integrifolia* nas concentrações de 1,00, 0,75, 0,50 e 0,25 mg mL⁻¹ e 290 µL do reagente FRAP em cada poço da microplaca. A mistura foi colocada no leitor de microplacas SpectraMax Plus384 e mantida a 37 °C por 30 minutos. A absorbância foi lida a 595 nm. A porcentagem de atividade antioxidante foi calculada usando uma curva padrão de sulfato ferroso (0–2000 µM). A atividade antioxidante foi expressa em µM de sulfato ferroso/mg de amostra.

2.5.2. Atividade antioxidante na eliminação do radical DPPH

A metodologia descrita por Rufino *et al.* [34] foi utilizada para determinar a capacidade de eliminação do radical livre DPPH. Alíquotas de 10 µL dos EB das flores, frutos e folhas de *G. integrifolia* em diferentes concentrações (1,0, 0,75, 0,5 e 0,25 mg mL⁻¹) e 290 µL de solução metanólica de DPPH• (60 µM) foram adicionadas a um leitor de microplacas SpectraMax Plus384 e mantidas por 30 minutos. A absorbância foi medida a 515 nm. Para o controle negativo, foram utilizados 10 µL de metanol na solução de DPPH (60 µM). A capacidade antioxidante total dos extratos e frações foi calculada utilizando uma solução padrão de quercetina (60 µM) como referência de 100%. Com base na correlação entre a absorbância e a concentração da amostra antioxidante, determinou-se a concentração necessária para reduzir 50% dos radicais livres (EC₅₀).

2.5.3. Método ABTS

Para determinar a atividade antioxidante utilizando o método do radical ABTS^{•+}, foi utilizada a metodologia descrita por Rufino *et al.* [34]. Inicialmente, o radical ABTS^{•+} foi formado a partir da reação de 5,0 mL de ABTS 7 mM com 88 µL de persulfato de potássio 140 mM, os quais foram incubados à temperatura ambiente e ao abrigo da luz durante 16 horas. Após esse período, 1 mL da solução foi diluído em etanol

até se obter uma solução com absorvância de $0,70 \text{ nm} \pm 0,05 \text{ nm}$ a 734 nm . Foram utilizadas microplacas com 96 poços para realizar a análise, sendo adicionados a cada poço $10 \text{ }\mu\text{L}$ dos EB das flores, frutos e folhas de *G. integrifolia* (nas concentrações de 1,0, 0,75, 0,50 e 0,25 mg/mL) e $290 \text{ }\mu\text{L}$ da solução contendo o radical ABTS \bullet^+ . A mistura foi colocada no leitor de microplacas SpectraMax Plus384 e a absorvância foi determinada após 30 minutos de reação. O antioxidante sintético Trolox foi utilizado como solução padrão nas concentrações de 100, 500, 1000, 1500 e 2000 μM em etanol. Todas as leituras foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos em mM de Trolox por grama de extrato.

2.5.4. Teor de Fenóis Totais

O teor de fenóis totais presentes nos EB das flores, frutos e folhas de *G. integrifolia* foi determinado por espectroscopia na região do visível, utilizando o método de Folin-Ciocalteu [68]. As amostras dos extratos foram diluídas em metanol na concentração de 1,0 mg/mL. A solução reagente consiste em $155 \text{ }\mu\text{L}$ de solução de Folin-Ciocalteu, $125 \text{ }\mu\text{L}$ de solução de carbonato de sódio, seguidos de $20 \text{ }\mu\text{L}$ da amostra diluída (1 mg/mL) em cada poço da microplaca. A mistura foi deixada em repouso na ausência de luz por 60 min e a leitura realizada em leitor de microplacas SpectraMax Plus384 a 760 nm , em triplicata. A curva de calibração foi obtida utilizando sete diluições de ácido gálico (0-100 $\mu\text{g/mL}$).

2.5.5. Teor de Flavonoides

O teor total de flavonoides foi determinado pelo método colorimétrico de cloreto de alumínio [69]. Os EB das flores, fruto e folhas de *G. integrifolia* foram solubilizados em metanol para obter concentrações de 1,00, 0,75, 0,50 e 0,25 mg/mL. Uma alíquota de 0,5 mL dos EB foi misturada com 0,5 mL de solução de cloreto de alumínio a 2% (p/v) em metanol e mantida à temperatura ambiente por 10 minutos. A leitura de absorvância foi determinada a 425 nm . A solução de cloreto de alumínio foi usada como controle analítico. A concentração de flavonoides foi calculada de acordo com a curva padrão da quercetina (5 - 40 $\mu\text{g/mL}$). Os resultados foram expressos em μg de equivalentes de quercetina por mg de EB.

2.6. Preparação da solução polimérica

Soluções poliméricas foram preparadas dissolvendo 1,0100 g de Poli Etilcelulose (Sigma-Aldrich) em 2,5 mL de tetrahidrofurano (Neon, Brasil) e 7,5 mL de dimetilacetamida (Sigma-Aldrich). A essa solução foi adicionado EB de *G. integrifolia*, extraído da flor, fruto e folha. A proporção utilizada para os EB foi de 10% (0,1000 g) em relação à massa do polímero. A solução foi mantida sob agitação magnética por 24 h à 20 °C e, em seguida, submetida ao processo de eletrofição [12]. Estudos comparativos foram realizados com membranas poliméricas sem adição de EB.

2.7. Parâmetros para eletrofição

A eletrofição foi realizada em um eletrofiador com coletor rotativo de 20 cm a 1000 rpm, a ± 20 °C, umidade relativa do ar ± 30 %. As soluções foram colocadas em uma seringa de vidro graduada de 10 mL, de acordo com a quantidade de cada solução, e acoplada a uma agulha de diâmetro interno de 0,7 mm. A seringa foi anexada a uma bomba de ejeção com fluxo de 0,73 - 0,98 mL h⁻¹ e tensão de 18-20 kV. O coletor rotativo foi posicionado alinhando-se a ponta da agulha a uma distância de 15 cm. Esses parâmetros também foram encontrados nos trabalhos de Goes, Hardt e Antunes [30-32].

2.8. Caracterização das nanofibras

O estudo morfológico das NFs foi obtido usando microscopia eletrônica de varredura (MEV) equipamento Zeiss EVO MA10. As amostras das NFs foram fixadas no porta amostras com fita dupla face de carbono e metalizadas com uma fina camada de ouro, metalizador QUORUM. O diâmetro médio das NFs foi determinado utilizando o programa de processamento de imagem ImageJ (versão 1.51) totalizando 100 medições para cada amostra.

A análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) foi realizada em equipamento Shimadzu DSC 60. Aproximadamente 6 mg das amostras foram utilizadas, aquecendo-se de 30 °C a 300 °C com razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹ sob fluxo de nitrogênio (N₂) com vazão de 50 cm³ min⁻¹.

A estabilidade térmica foi avaliada via Análise Termogravimétrica (TGA) utilizando o equipamento termogravimétrico Perkin Elmer (modelo STA 6000). Aproximadamente 5 mg das amostras foram aquecidas de 30 °C a 600 °C com razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹, sob fluxo de nitrogênio (N₂) com vazão de 50 cm³ min⁻¹.

Para observar possíveis alterações na superfície das fibras após a incorporação do EB, foram realizadas análises nos espectros de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR). Os espectros de FTIR das membranas produzidas foram obtidos com o módulo de Reflectância Total Atenuada (ATR) em um dispositivo Perkin Elmer (modelo Frontier). Obtendo os espectros na faixa de números de onda de 4000–400 cm⁻¹, com resolução de 2 cm⁻¹ e um total de 8 acumulações.

A Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por energia dispersiva (EDX) foi determinada utilizando o equipamento Shimadzu EDX-7200 com faixa de medição do Na₁₁ a U₉₂, com voltagem de 4 kV a 50 kV e corrente 1 µA a 1000 µA. A radiação X detectada é específica dos números atômicos dos elementos constituintes da amostra, possibilitando identificação e a quantificação da concentração elementar. Foram obtidas as concentrações aparentes dos elementos, bem como calculadas as médias das porcentagens (%).

A resistência mecânica das NF foi determinada utilizando uma máquina universal de ensaios Biopdi/ Brasil. Os filmes foram cortados em tamanho padrão com dimensões de 60 mm × 10 mm. A espessura das amostras foi mensurada com um medidor de espessura analógico Mitutoyo, NO.730, 5 vezes em diferentes locais da amostra. Uma célula de carga de 100 N foi usada para realizar o teste de tração com velocidade de deslocamento 5 mm min⁻¹, a ± 25 °C e umidade relativa de ± 30 %. Os parâmetros obtidos pela análise foram o Módulo de elasticidade em MPa, a Tensão de ruptura em MPa e o Alongamento em %, e a média desses parâmetros foi obtida por quintuplicata.

As medições de ângulo de contato foram realizadas utilizando um microscópio USB com ampliação de 10 vezes ligado a um computador. Para a análise uma gota de água destilada de 5 µL foi depositada sobre a superfície das NFs. A gota formada foi monitorada por um período tempo de 0 segundos a 300 segundos a temperatura ambiente. A partir das imagens, o ângulo de contato foi determinado por meio do ângulo entre a

tangente da interface líquido/ar e a tangente entre a interface sólido/ar, utilizando o programa ImageJ (versão 1.51).

O grau de intumescimento e perda de massa das NFs foram realizadas a partir do corte em círculos de 3 cm de diâmetro e pesadas (M_s), foram mergulhadas em solução tampão fosfato pH 5,75 a temperatura ambiente. Após 24 h as NFs foram retiradas da solução e com papel filtro retirou-se o excesso superficial da solução, em seguida, pesou-se (M_m) novamente as NFs. O grau de intumescimento foi calculado pela equação (1).

$$\text{Intumescimento (\%)} = \left(\frac{M_m - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (1)$$

Para calcular a perda de massa das NFs, após o estudo de intumescimento as NFs foram completamente secas na dessecadora à 25 °C por 24 h e pesadas (M_f) novamente. A perda de massa foi calculada pela equação (2).

$$\text{Perda de massa (\%)} = \left(\frac{M_s - M_f}{M_s} \right) \times 100 \quad (2)$$

2.9. Atividade antibacteriana das NFs

A atividade antimicrobiana foi realizada utilizando microplacas de 24 poços. Para cada microrganismo, foi realizada uma suspensão padronizada em solução salina (NaCl). Foram testadas 2 cepas bacterianas *Staphylococcus aureus* (29213) e *Escherichia coli* (25922). Os microrganismos foram provenientes do Laboratório de Biotecnologia de Produtos Vegetais e Microrganismos da Universidade Paranaense. Para os ensaios foi preparada uma diluição da massa celular bacteriana a partir do cultivo de 24 h. A concentração final de células bacterianas foi ajustada de acordo com a Escala 0,5 de McFarland ($1,5 \times 10^8$ UFC mL⁻¹) em solução salina estéril 0,9% e realizada a leitura em espectrofotômetro (Spectra Max Plus) a 625 nm. A diluição foi realizada em suspensão 1:10 em meio da cultura Mueller Hinton Caldo (Kasvi®) e adicionado a

microplaca [29]. Nos poços foram adicionados 990 μL de meio Mueller Hinton Caldo, os discos (6 mm de diâmetro) das NFs de EC incorporados com EB das flores, fruto e folhas de *G. integrifolia*, mais 10 μL de inóculo. Foram usados como controle o meio puro com inóculo (controle +), os discos da NF de EC pura com inóculo, controle comercial discos de Estreptomicina com inóculo, meio e os filmes impregnados sem adição do inóculo. A avaliação do crescimento das bactérias foi realizada por leitura espectrofotométrica (Spectra Max Plus 384) dos meios de cultivo em um comprimento de onda de 600 nm. O valor real do crescimento dos microrganismos foi calculado pelos valores de absorvância após 24 h e 48 h, utilizando como branco o meio de cultura isento do inóculo e expressos em porcentagem (%).

2.10 Análise estatística

Todos os testes foram realizados em triplicatas, bem como os ensaios antimicrobianos. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as diferenças entre as médias determinadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) pelo programa Statistica[®] 8.0.

3. Resultados e Discussão

3.1 Composição química dos extratos brutos

Os extratos brutos apresentaram coloração verde escura e forte odor de alho, com rendimento de 20,95% para flores, 15,10% para frutos e 11,70% para folhas. A composição química dos extratos brutos foi realizada por HPLC-MS/MS (Tabela 1), sendo possível verificar a presença de compostos fenólicos, vitaminas, alcaloides, flavonoides e ácidos carboxílicos simples, apresentando os compostos químicos e suas concentrações em $\mu\text{g.g}^{-1}$ para cada parte da planta. A análise demonstrou uma variabilidade significativa na distribuição dos compostos químicos entre o EB das flores, frutos e folhas, com exceção para a rutina ($> 100 \mu\text{g.g}^{-1}$) que é o composto majoritário em todas as partes da planta analisadas. No entanto, outras substâncias apresentam uma distribuição mais específica, como o ácido málico, ácido nicotínico, vanilina e ácido p-

hidroxibenzoico no EB das flores, sendo o ácido salicílico ($28,14 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) exclusivo desse EB. Para o EB dos frutos a catequina ($16,19 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), ácido gálico ($13,60 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), epicatequina ($19,17 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e ácido resorcilíco ($10,61 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) que são exclusivos desta parte da planta. A vanilina ($65,03 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) foi a mais abundante no EB das folhas, seguida pelo ácido málico ($41,23 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), mas esse EB não apresentou um composto exclusivo.

Os compostos nos EB da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* identificados por Silva *et al.* [25] são semelhantes aos relatados neste estudo, sendo aminoácidos, saponinas triterpênicas, glicosídeos triterpênicos, flavonoides, vitaminas, ácidos orgânicos e compostos organossulfurados, como dissulfeto de dipropila e dissulfeto de dibenzila. No entanto, a análise por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massa (HPLC) baseou-se na utilização de banco de dados de massas e não uma curva analítica de padrão apresentada neste trabalho.

Tabela 1. Composição química do extrato bruto (EB) das flores, frutos e folhas de *G. integrifolia* por HPLC-MS/MS.

Composto	Flor ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Fruto ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Folha ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
Isovanilina	$9,44^a \pm 0,31$	$8,36^b \pm 0,58$	$9,55^a \pm 0,00$
Hidroxibenzaldeído	$2,28^c \pm 0,13$	$2,93^b \pm 0,21$	$5,67^a \pm 0,15$
Seringaldeído	$4,37^c \pm 0,36$	$7,07^b \pm 0,19$	$8,12^a \pm 0,22$
Ácido Clorogênico	$6,26^a \pm 0,16$	$4,34^b \pm 0,03$	$3,74^c \pm 0,27$
Coniferil Aldeído	$1,33^b \pm 0,13$	$0,55^c \pm 0,04$	$2,32^a \pm 0,21$
Ácido sinapico	$6,25^c \pm 0,52$	$7,22^a \pm 0,37$	$6,78^b \pm 0,12$
Catequina	n.d.	$16,19 \pm 0,73$	n.d.
Cafeína	$0,95^b \pm 0,05$	$0,94^b \pm 0,06$	$1,20^a \pm 0,11$
Ácido nicotínico	$44,28^a \pm 0,68$	$43,46^b \pm 0,45$	$26,55^c \pm 0,51$
Ácido gálico	n.d.	$13,60 \pm 0,40$	n.d.
Ácido siríngico	$14,22^a \pm 0,42$	$14,40^a \pm 0,73$	$5,59^b \pm 0,07$
Ácido vanílico	$29,82^a \pm 0,95$	$13,11^b \pm 0,17$	$8,15^c \pm 0,35$
Ácido salicílico	$28,14 \pm 2,59$	<0,5	<0,5
Vanilina	$43,25^c \pm 0,24$	$54,88^b \pm 1,67$	$65,03^a \pm 1,65$
Ácido ferrulico	$41,09^b \pm 0,55$	$85,60^a \pm 0,99$	$35,27^c \pm 0,92$
Ácido p-hidroxibenzoico	$40,38^a \pm 1,05$	$13,79^c \pm 0,27$	$19,45^b \pm 0,11$
Ácido p-cumárico	$16,98^a \pm 0,35$	$10,96^c \pm 0,26$	$15,99^b \pm 0,81$
Ácido caféico	$3,00^a \pm 0,05$	$3,90^b \pm 0,11$	$1,90^c \pm 0,13$
Rutina	>100	>100	>100
Epicatequina	n.d.	$19,17 \pm 0,77$	n.d.
Ácido quínico	$7,32^b \pm 0,07$	$9,10^a \pm 0,06$	$6,40^c \pm 0,18$
Ácido málico	$83,63^a \pm 1,40$	$19,17^c \pm 0,77$	$41,23^b \pm 0,88$
Ácido resorcilíco	n.d.	$10,61 \pm 0,44$	n.d.
Ácido fumárico	$24,12^b \pm 0,16$	$31,21^a \pm 0,03$	$12,45^c \pm 0,70$

*Os valores representam a média e o desvio padrão (\pm) realizados em triplicata. As letras indicam diferença significativa entre os valores pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). n.d.: não detectado.

3.2 Atividade antibacteriana dos extratos brutos das flores, fruto e folhas de *G. integrifolia*

A Tabela 2 apresenta os valores de CIM e CBM obtidos pelo EB das flores, frutos e folhas de *G. integrifolia*. Os menores valores de CIM para o EB das flores foi de 20,00 mg mL⁻¹ para todas as bactérias analisadas, para as folhas foram de 20,00 mg mL⁻¹ para *S. aureus*, *S. epidermidis*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *E. coli* e *E. cloacae Newprov* e para os frutos foram para todas as bactérias 20,00 mg mL⁻¹ com exceção da *E. cloacae Newprov* que foi maior que 20,00 mg mL⁻¹. Para o CBM do EB das flores, frutos e folhas para todas as bactérias foram maiores que 20,00 mg mL⁻¹ (Tabela 2), para estreptomicina variou de 0,04 a 0,34 mg mL⁻¹. Sendo assim, o ensaio CBM demonstrou ser bacteriostático contra todas as cepas utilizadas, uma vez que inibiu o crescimento das cepas bacterianas selecionadas. Estudos realizados por Arunachalam *et al.* [36,37], apresentaram para o EB hidroetanólico das cascas do caule de *G. integrifolia* CIM de 0,40 mg mL⁻¹ para *S. aureus* (25923), > 0,80 mg mL⁻¹ para *S. epidermidis* (12228), 0,40 mg mL⁻¹ para *Pseudomonas aeruginosa* (27853) e de 0,20 mg mL⁻¹ para *Escherichia coli* (25922). Constatando que a ação dos EBs foi bacteriostática, relataram que o potencial farmacológico das cascas desta espécie se deve à presença de substâncias ácido gálico, rutina e morina, identificadas por análise de comparação com padrões por HPLC, bem como compostos de enxofre e taninos. Associando os resultados de Arunachalam *et al.* [36, 37] com o presente estudo, o CIM (20,00 mg mL⁻¹) do EB de *G. integrifolia* das folhas, frutos e flores (Tabela 2) foram maiores, apresentando característica bacteriostática.

Tabela 2. Concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM) de EB de *G. integrifolia* da folha, fruto e flor e controle positivo estreptomicina.

Bactéria	EB Folha (mg.mL ⁻¹)	EB Fruto (mg.mL ⁻¹)	EB Flor (mg.mL ⁻¹)	Estreptomicina (mg.mL ⁻¹)
	CIM CBM	CIM CBM	CIM CBM	CIM CBM
Gram-positiva				
<i>S. aureus</i> (29213)	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,09 ± 0,05 ^a 0,06 ± 0,05
<i>S. aureus</i> Newprov (0023)	> 20,00 > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,003 ± 0,00 ^a 0,09 ± 0,05
<i>B. cereus</i> (12228)	> 20,00 > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,01 ± 0,00 ^a 0,29 ± 0,19
<i>S. aureus</i> (25923)	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,01 ± 0,00 ^a 0,35 ± 0,25
<i>L. monocytogenes</i> (7644)	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,01 ± 0,00 ^a 0,34 ± 0,27
<i>S. epidermidis</i> (12228)	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,03 ± 0,00 ^a 0,21 ± 0,07 ^a
Gram-negativa				
<i>S. sonnei</i> (25931)	> 20,00 > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,004 ± 0,00 ^a 0,25 ± 0,35 ^a
<i>E. coli</i> Newprov (0022)	20,00 ± 0,00 ^b 20,00 ± 0,00 ^b	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,001 ± 0,00 ^a 0,15 ± 0,10 ^a
<i>P. aeruginosa</i> (27853)	> 20,00 > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,02 ± 0,03 ^a 0,23 ± 0,24
<i>S. Typhi</i> (19214)	> 20,00 > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,01 ± 0,00 ^a 0,09 ± 0,14
<i>E. coli</i> (25922)	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,01 ± 0,00 ^a 0,04 ± 0,02
<i>E. cloacae</i> Newprov (0083)	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	> 20,00 > 20,00	20,00 ± 0,00 ^b > 20,00	0,03 ± 0,00 ^a 0,13 ± 0,00

*As médias seguidas por letras diferentes na mesma linha para CIM ou para CBM diferem pelo Teste de Tukey (diferença significativa) teste ($p \leq 0,05$). *Bacillus cereus*; *Enterobacter cloacae* Newprov; *Escherichia coli*; *Escherichia cloacae* Newprov; *Listeria monocytogenes*; *Pseudomonas aeruginosa*; *Salmonella aureus*; *Staphylococcus aureus*; *Staphylococcus aureus* Newprov; *Staphylococcus epidermidis*; *Staphylococcus sonnei*; *Staphylococcus Typhi*. EB: extrato bruto.

3.3 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante dos EB das flores, frutos e folhas de *G. integrifolia* está representada na Tabela 3, na qual relaciona a atividade antioxidante usando os métodos DPPH, FRAP e ABTS. O EB da flor demonstrou a maior capacidade antioxidante no

teste DPPH, evidenciada pelo menor valor de EC_{50} ($3,32 \text{ mg.mL}^{-1}$), o que indica a maior potência de sequestro de radicais livres, apresentou maior poder redutor no ensaio FRAP ($0,45 \text{ } \mu\text{M FeSO}_4 \text{ mg}^{-1}$). O EB da folha foi significativamente mais eficaz no ensaio ABTS ($20,91 \text{ } \mu\text{M trolox mg}^{-1}$). Analisando a composição química dos EB (Tabela 1), a presença de substâncias consideradas antioxidantes padrão utilizadas em diversos protocolos, como rutina, vanilina, catequina, epicatequina, ácido gálico, entre outros, foi evidente. A rutina em trabalhos recentes, demonstrou importante efeito antioxidante [38], principalmente com Silva *et al.* [35] que identificou sua presença nos EB da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* e revelou sua potente atividade antioxidante celular.

Tabela 3. Capacidade antioxidante do extrato bruto das flores, frutos e folhas de *Gallesia integrifolia*.

Amostra	DPPH ¹	FRAP ²	ABTS ³
EB Flor	$3,32 \pm 0,22^b$	$0,45 \pm 0,01^b$	$16,07 \pm 0,694^b$
EB Fruto	$4,17 \pm 0,95^c$	$0,41 \pm 0,01^c$	$10,51 \pm 0,001^c$
EB Folha	$4,62 \pm 0,62^c$	$0,41 \pm 0,01^c$	$20,91 \pm 0,001^a$
Quercetina	$0,001 \pm 0,01^a$	-	-
Trolox	-	$9,17 \pm 0,01^a$	-

*EB: extrato bruto. *Os valores representam a média \pm desvio padrão realizados em triplicata. As letras indicam diferença significativa entre os valores pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹DPPH: EC_{50} (mg.mL^{-1}). ²FRAP: μM sulfato ferroso mg^{-1} EB. ³ABTS: μM trolox equivalente mg^{-1} EB.

As Tabelas 4 e 5 detalham o teor de fenóis totais e o teor de flavonoides, mostrando que o EB da flor tem o maior teor de fenóis totais ($35,59 \pm 2,19 \text{ } \mu\text{g EAG mg}^{-1}$), seguido pelo EB do fruto ($25,29 \pm 0,66 \text{ } \mu\text{g EAG mg}^{-1}$) e, por fim, pelo EB da folha ($22,17 \pm 1,28 \text{ } \mu\text{g EAG mg}^{-1}$). O teor fenólico superior do EB da flor corrobora com sua performance destacada nos ensaios de DPPH e FRAP. O teor de flavonoides mostrou que o EB da folha ($242,97 \text{ } \mu\text{g.mg}^{-1}$) possui a maior concentração em todas as análises avaliadas, sendo um forte indicativo da relação com sua composição química (Tabela 1), alta concentração de vanilina ($65,027 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$) e rutina ($>100 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$). São compostos conhecidos por serem altamente eficazes via transferência de elétrons, o principal mecanismo avaliado pelo ensaio ABTS, no qual apresentou potente atividade.

Tabela 4. Teor de Fenóis Totais (μg de equivalente de ácido gálico/mg de EB).

Amostra	1 mg	0,75 mg	0,5 mg	0,25 mg
EB Flor	35,59 \pm 2,19Aa	17,01 \pm 1,29Ba	7,34 \pm 1,41Ca	1,44 \pm 0,31Da
EB Fruto	25,29 \pm 0,66Ab	8,46 \pm 1,01Bc	2,53 \pm 0,70Cb	0,41 \pm 0,06Db
EB Folha	22,17 \pm 1,28Ab	12,32 \pm 0,16Bb	4,23 \pm 1,25Cb	0,90 \pm 0,34Dab

*EB: extrato bruto. Os valores são a média e o desvio padrão (\pm) do experimento realizado em triplicata. Foi empregado a análise de variância (ANOVA), e comparações múltiplas de Tukey com significância de ($p \leq 0.05$) para a análise estatística. Valores com letra maiúscula para análise em linha, e letra minúscula para análise em coluna.

Para *G. integrifolia*, a eficácia antioxidante de seus EB depende, de forma crucial, da concentração relativa dos compostos em cada parte da planta, e não somente do teor total de fenóis e flavonoides. Raízes e folhas compartilham as vias bioquímicas primárias para a biossíntese de flavonoides. Contudo, a regulação dessas vias pode ser distinta, sendo influenciada por sinais de desenvolvimento, demandas metabólicas teciduais específicas e condições ambientais [39].

Tabela 5. Teor de Flavonoides (μg equivalentes de quercetina/mg de EB).

Amostra	1 mg	0,75 mg	0,5 mg	0,25 mg
EB Flor	113,08 \pm 1,73Ac	89,12 \pm 1,13Bc	89,10 \pm 0,76Bc	93,76 \pm 3,65Bc
EB Fruto	184,65 \pm 0,60Ab	168,58 \pm 7,42Ab	150,70 \pm 41,20Ab	167,79 \pm 8,70Ab
EB Folha	242,97 \pm 4,58Aa	237,01 \pm 6,35Aa	220,15 \pm 5,59Ca	225,02 \pm 4,83BCa

*EB: extrato bruto. Os valores são a média e o desvio padrão (\pm) do experimento realizado em triplicata. Foi empregado a análise de variância (ANOVA), e comparações múltiplas de Tukey com significância de ($p \leq 0.05$) para a análise estatística. Valores com letra maiúscula para análise em linha, e letra minúscula para análise em coluna.

3.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise por microscopia eletrônica de varredura é usada para examinar superfícies de materiais, avaliando principalmente aspectos superficiais [40]. A morfologia e o diâmetro médio das NFs eletrofiadas de EC puro e incorporadas com EB da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* foram estudadas via MEV e programa Image J, como mostra a Figura 1. Foi possível observar a formação de fibras, em escala nanométrica, com diâmetro médio variando de 250,83 nm (Fig. 2 – 1a) para EC pura e para as fibras incorporadas 1b (Flor), 1c (Fruto) e 1d (Folha) diâmetro médio de 253,15; 271,51 e 351,65 nm, respectivamente. Observa-se que tanto na NF de EC pura, quanto nas NFs incorporadas com EB, apresentaram membranas homogêneas, lisas e com poucas e/ou ausência de imperfeições (*beads*). A NF do EB da folha detém um diâmetro médio maior (351,65 nm \pm 14,38) quando comparada com as NFs incorporadas com EB da flor, fruto e EC. Isso pode ser causado pelas interações intermoleculares incluindo ligações de

hidrogênio entre as cadeias moleculares (Tabela 1) dentro do EB da folha e a EC [41]. As mudanças observadas na viscosidade da solução polimérica de EC com a adição de EB da folha podem estar relacionadas à alteração no diâmetro médio das fibras, sendo EB mais viscoso e tende a engrossar a fibra eletrofiada [42].

Rashid *et al.* [16] incorporaram extrato da casca de laranja amarga (6%, 12% e 20% em peso) em NFs eletrofiadas com etilcelulose e proteína isolada de soja (1:1) e observaram que o diâmetro médio das NFs aumentou ligeiramente com diâmetros de 221,24, 222,13 e 244,8 nm, respectivamente, contra 185,33 nm da NF pura. Essa mudança foi atribuída aos desvios na condutividade da solução polimérica após a adição dos extratos de laranja. A elevação da condutividade elétrica da solução também influencia significativamente o processo de fiação. Uma maior condutividade exige uma densidade de carga maior para a formação do jato, resultando em uma variação do diâmetro da NF [43, 44]. Çanga *et al.* [68] descobriram que a adição de extrato do fruto de *Viburnum opulus L.* às NFs de acetato de celulose reduziu a condutividade, aumentou a viscosidade e, portanto, aumentou o diâmetro das NFs.

No presente estudo, o HPLC-MS/MS do EB da folha (Tabela 1) apresentou como majoritários os compostos vanilina e ácido málico, além dos compostos organosulfurados, identificados em um estudo recente com EB da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* [25], responsáveis pelo aroma de alho e atividades biológicas. Assim, ao observar a estrutura do polímero etilcelulose (Figura 1), nota-se a possibilidade de interações intermoleculares com os principais compostos dos EB, incluindo ligações de hidrogênio, corroborando com as mudanças promovidas pelas soluções poliméricas, bem como ter causada melhorias na compatibilidade da solução [41].

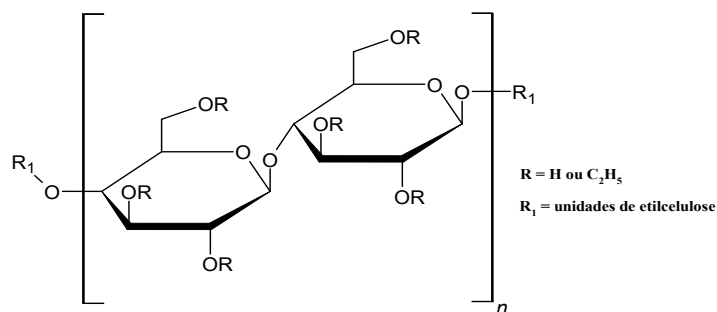
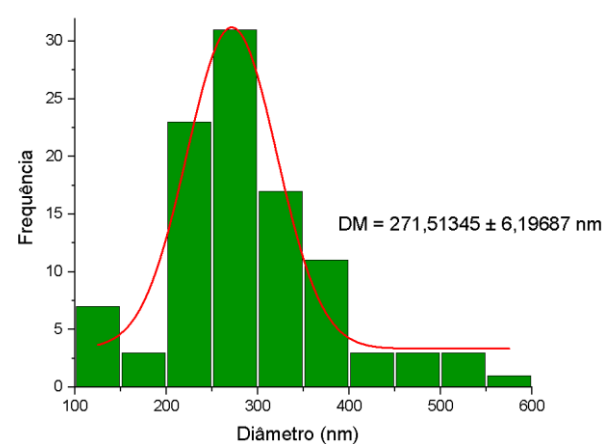
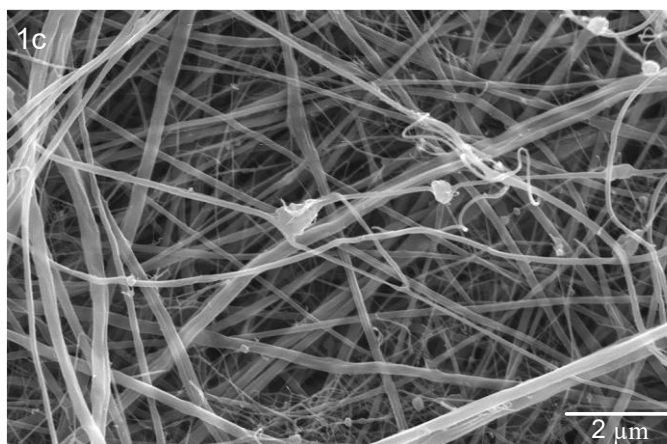
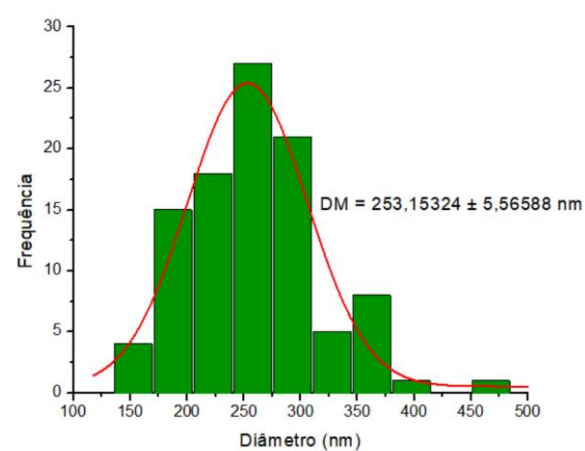
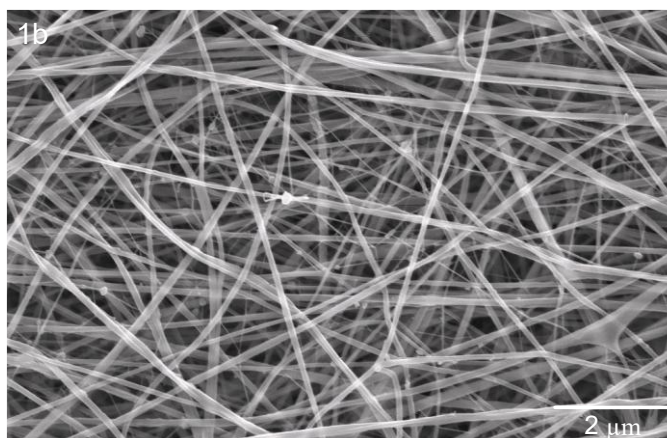
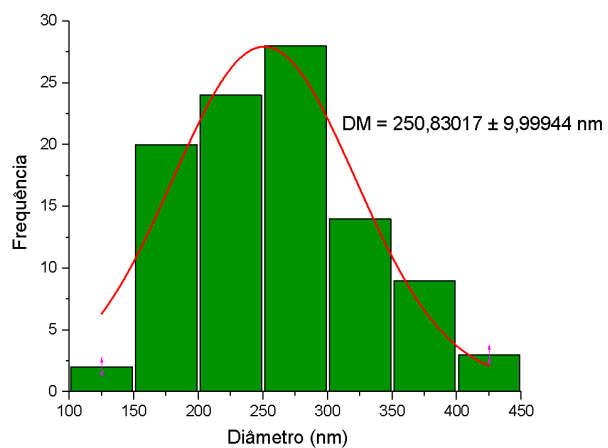
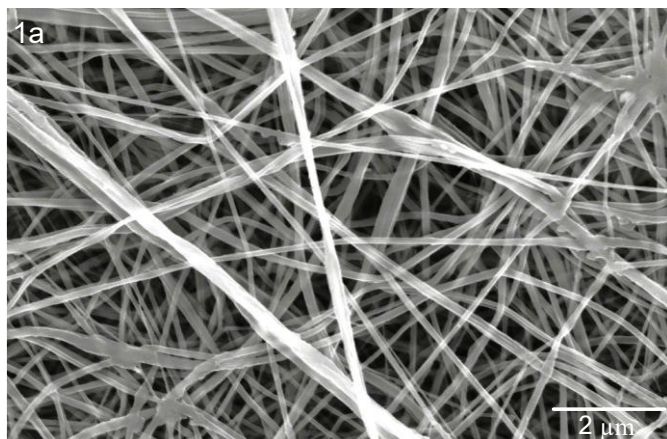


Figura 1: Fórmula estrutural do monômero da etilcelulose. Fonte: do autor.

Facchi *et al.*, [46] correlacionaram o aumento no diâmetro médio das NFs com a elevação da viscosidade da solução. Essa alteração reológica atribuída ao incremento na interação poliméricas, impõe maior resistência ao alongamento do jato sob o campo elétrico. A conseqüente diminuição na extensão e tempo de estiramento do jato resulta na formação de fibras com maior diâmetro [45, 46].



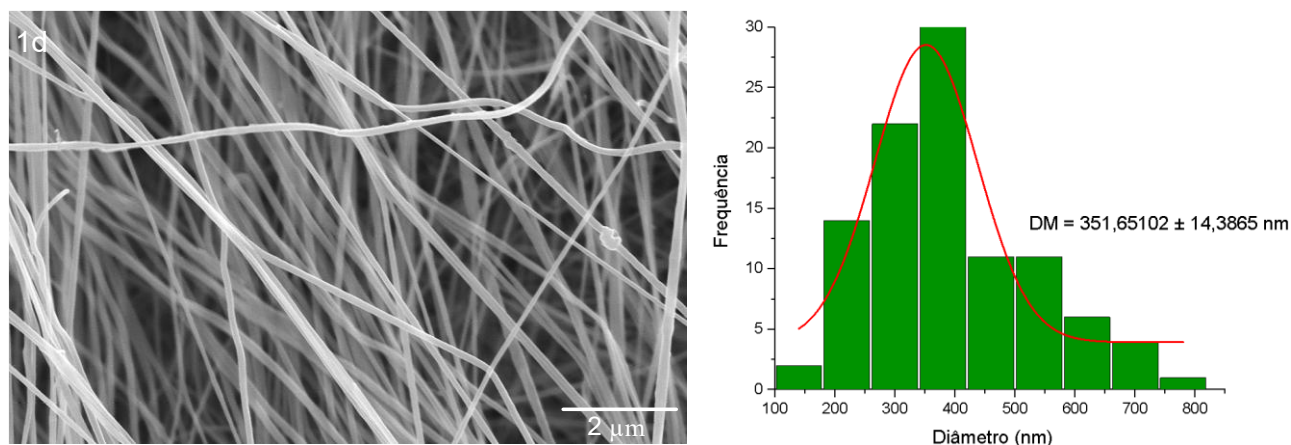


Figura 2: Microscopia eletrônica de varredura e diâmetro médio das NFs: 1a – NF de etilcelulose sem incorporação; 1b - NF incorporada com EB da flor de *Gallesia integrifolia*; 1c - NF incorporada com EB do fruto; 1d - NF incorporada com EB da folha. NF: nanofibra, EB: extrato bruto.

3.5 FTIR

As interações intermoleculares das NFs desenvolvidas foram estudadas via análise FTIR. Os espectros das NFs eletrofiadas de EC pura e incorporadas com EB da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* são apresentadas na Figura 3. O espectro da NF de EC puro representou uma banda em torno de 3485 cm^{-1} , característica do alongamento O-H, na região de $2970 - 2860\text{ cm}^{-1}$, observa-se a presença da vibração de estiramento C-H (alifático). Além disso, são evidenciadas bandas em torno de 1370 e 1050 cm^{-1} , correspondendo ao alongamento C-O-C e ao alongamento C-O, respectivamente [16,47]. As bandas características dos EB da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* estão presentes em 3320 cm^{-1} , sendo estiramento O-H característico de compostos fenólico e flavonoides. Entre 2970 e 2921 cm^{-1} estiramento C-H (alifático), possivelmente de componentes lipídicos, 1619 cm^{-1} estiramento (C=C aromático/C=O conjugado), 1384 cm^{-1} deformação simétrica C-H de triterpenos e 1048 cm^{-1} referente ao estiramento C-O de glicosídeos de flavonoides [47].

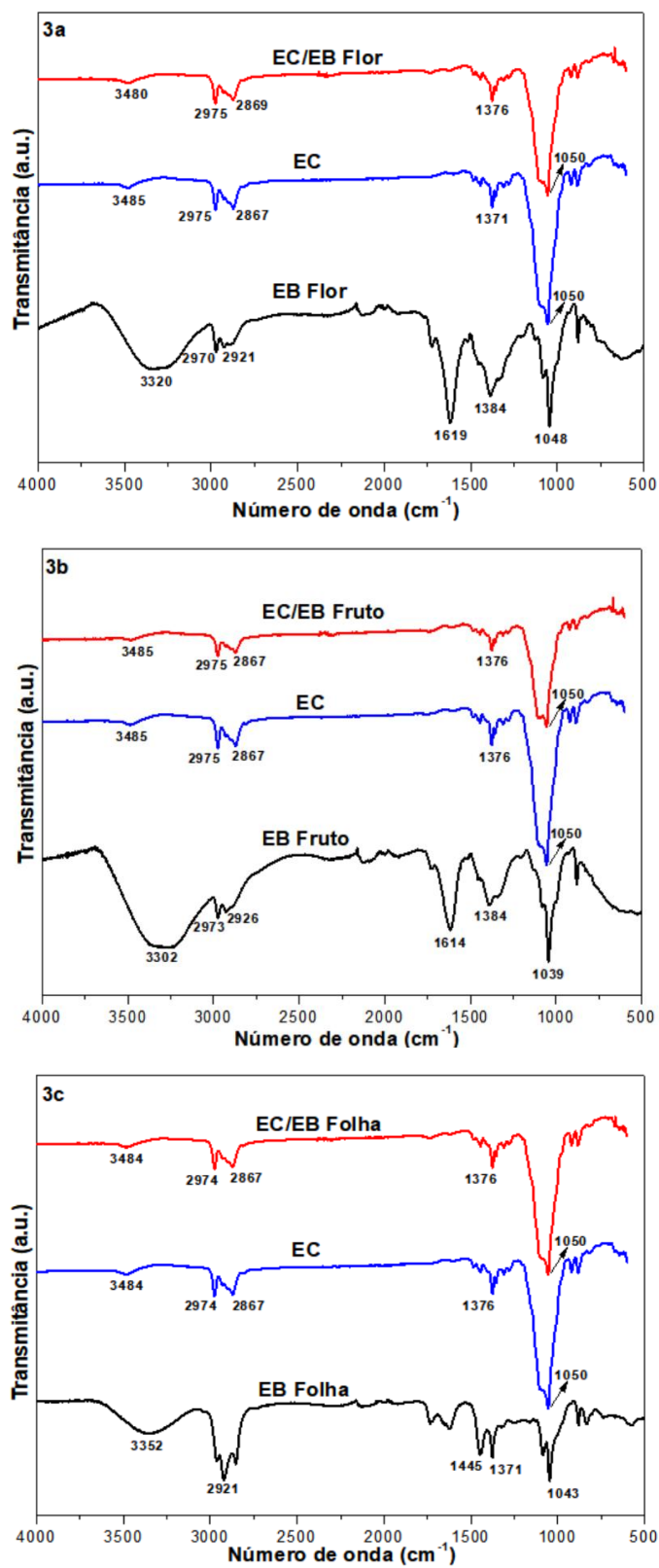


Figura 3: Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de 3a (EC/EB Flor) etilcelulose incorporada com EB da flor, 3b (EC/EB Fruto) etilcelulose incorporada com EB do fruto e 3c (EC/EB Folha) etilcelulose incorporada com EB da folha.

Ao analisar o espectro da NF de EC pura com as outras NFs incorporadas com EB contendo, pode-se confirmar que não há diferenças significativas, indicando que os compostos presentes nos EB possuem bandas vibracionais na mesma região que a EC.

3.6 Análises de TGA

As formas de degradação térmica das NFs de EC pura e incorporadas com EB da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* são apresentadas na Figura 4. A primeira fase de decomposição (25 - 150 °C) foi relacionada à perda de teor de água livre e compostos voláteis presentes nos EB. A segunda e principal perda aconteceu após 200 °C até 430 °C e está geralmente relacionada à decomposição térmica da estrutura do polímero EC, bem como à degradação dos compostos dos EB incorporados [41]. A análise dos termogramas (Figura 4a) revela que a EC pura, EC/EB Flor e EC/EB Folha apresentaram perfis de degradação térmica muito semelhantes. O início da perda de massa acentuada (degradação principal) ocorre na mesma faixa de temperatura ($T_{\text{onset}} = 324$ °C), sugerindo que a incorporação dos EBs não alterou significativamente a resistência térmica da matriz polimérica.

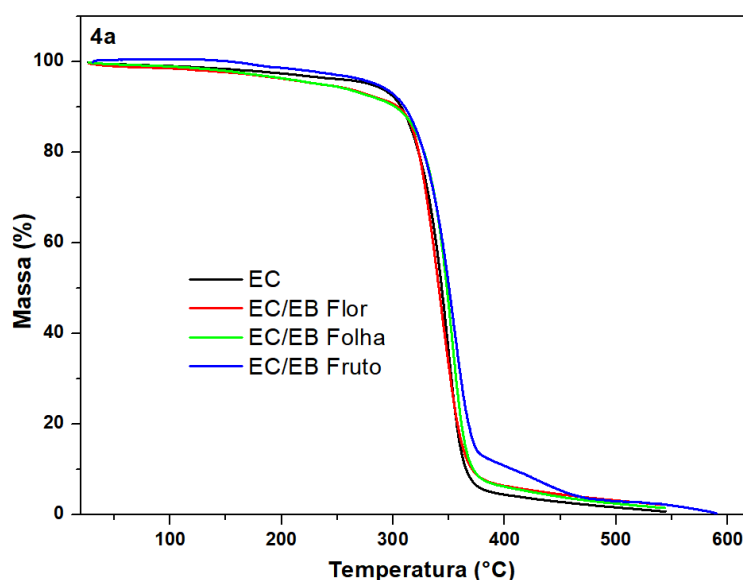


Figura 4: 4a. Análise Termogravimétrica (TGA) das NFs de (EC), (EC/EB Flor) etilcelulose incorporada com EB da flor, (EC/EB Fruto) etilcelulose incorporada com EB do fruto e (EC/EB Folha) etilcelulose incorporada com EB da folha. 4b. Primeira derivada (dTGA) das NFs eletrofiadas.

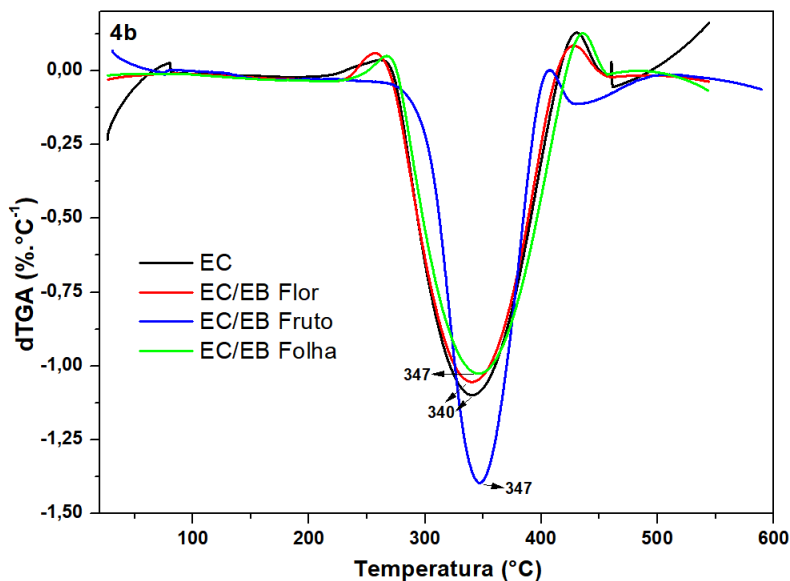


Figura 4 (cont.): 4a. Análise Termogravimétrica (TGA) das NFs de (EC), (EC/EB Flor) etilcelulose incorporada com EB da flor, (EC/EB Fruto) etilcelulose incorporada com EB do fruto e (EC/EB Folha) etilcelulose incorporada com EB da folha. 4b. Primeira derivada (dTGA) das NFs eletrofiadas.

Ao avaliar primeira derivada da termogravimetria (dTGA) (Figura 4b), o pico de degradação para as curvas das NFs de EC incorporada com EB da flor, fruto e foha de *G. integrifolia* ocorre em uma temperatura ligeiramente superior, em torno de 347°C quando comparado NF de EC pura (340 °C). Isso indica que a incorporação dos EBs não compromete a estabilidade térmica da matriz polimérica, mas oferece uma resistência térmica adicional. Rashidi *et al.* [16] apresentou para NFs de EC/ proteína isolada de soja (1:1) incorporadas com extrato da casca de laranja amarga (20 % em peso) resultados semelhantes, sugerindo aumento na estabilidade térmica da NF devido à formação de ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila do extrato e a matriz polimérica.

3.7 Análises de DSC

A calorimetria é uma técnica fundamental para mensurar as propriedades térmicas dos materiais, estabelecendo uma conexão entre a temperatura e as propriedades físicas específicas das substâncias [49]. As análises de DSC para as NFs de EC eletrofiadas com incorporação do EB de *G. integrifolia*, estão demonstradas na Figura 5, onde é possível observar a presença de três picos. O pico 1 entre 25 -100 °C da NF de EC pura está

associado a uma perda inicial de água adsorvida no material e frações leves do EB. Davidovich *et al.* [50], realizou repetições da análise de DSC com a EC e ao submeter o material a uma segunda rampa de aquecimento, o pico endotérmico nesta faixa de temperatura deixou de ser observado, comprovando essa associação com a perda de água. As curvas dos EC/EB Flor, EC/EB Folha e EC/EB Fruto apresentam uma queda acentuada no fluxo de calor (Pico 1). A amostra com EB do Fruto exibe o pico mais intenso, centrado em aproximadamente 75°C. A intensidade maior nas amostras com EB, em comparação com a EC pura, indica que a incorporação dos EB aumentou a hidrofilicidade ou a capacidade de retenção de umidade/solventes do material.

O pico 2 entre 125°C – 175°C, o comportamento térmico se inverte para um fluxo exotérmico. A temperatura de transição vítrea (T_g) para EC pura ocorre na faixa de 120 a 135 °C, como é considerada um material com elevada rigidez, a mudança na linha de base do termograma é relativamente sutil, o que dificulta a detecção desta transição [48,50]. Para a NF de EC pura eletrofiada a T_g ficou em torno de 130 °C, sem cristalização significativa. As amostras EC/EB Flor (vermelho), Folha (verde) e Fruto (azul) mostram picos exotérmicos largos, isso sugere que, ao serem aquecidas, as cadeias poliméricas (ou os componentes dos EB) ganham mobilidade suficiente para se reorganizarem em uma estrutura cristalina ordenada antes de fundirem. A presença dos extratos parece facilitar ou induzir essa cristalização que não ocorre na EC pura.

O pico (3) em 235 °C para EC pura podem estar associados sua fusão. A faixa de fusão, em torno de 180 °C, e o comportamento da EC apresentam incertezas, uma vez que suas propriedades físico-químicas são fortemente influenciadas pelo grau de substituição ao longo da cadeia polimérica (Figura 1). Embora esse evento possa estar associado à temperatura de fusão do material, a possibilidade de uma reação de oxidação concomitante não está bem estabelecida na literatura [48]. As NFs de EC/EB Fruto e EC/EB Folha apresentam os picos de fusão mais definidos e intensos, com temperatura de pico em torno de 235 °C, a presença de picos tão definidos confirma que a adição dos EB aumentou significativamente a cristalinidade do sistema final. O material passa a ter um ponto de fusão definido, ao contrário da matriz pura.

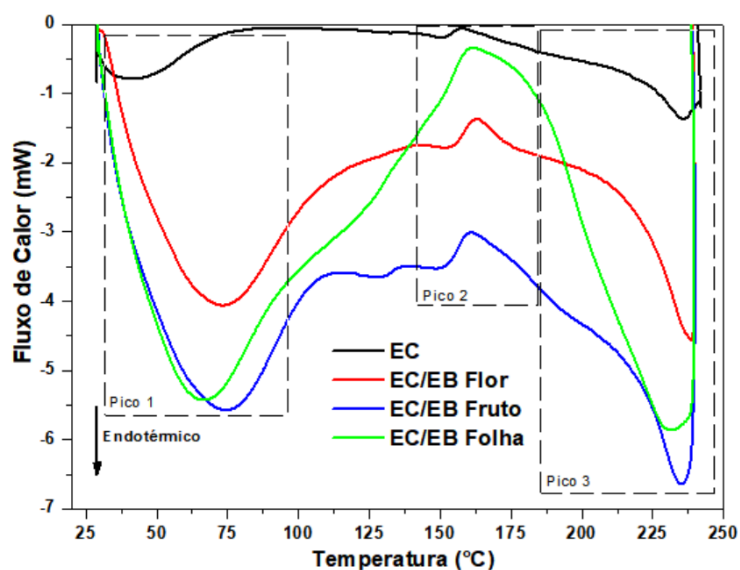


Figura 5: Análise Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) das NFs de (EC) etilcelulose pura, (EC/EB Flor) etilcelulose incorporada com EB da flor, (EC/EB Fruto) etilcelulose incorporada com EB do fruto e (EC/EB Folha) etilcelulose incorporada com EB da folha.

Nesse caso, a formação de ligações de hidrogênio poderia levar a mudanças nas interações intermoleculares entre as NFs de EC com os compostos presentes em cada EB, principalmente, a rutina (Tabela 1) composto majoritário nos três EB, afetando suas propriedades térmicas [51,52]. Em contrapartida, materiais amorfos, com estrutura desorganizada, apresentam menor energia de fusão devido à menor quantidade de interações a serem rompidas [53].

As análises térmicas combinadas (TGA e DSC) demonstraram que a incorporação dos EB de *G. integrifolia* modificou a estrutura molecular e a estabilidade térmica das NFs de EC. Os dados de DSC revelaram que os EBs, atuam como agentes nucleantes eficazes, induzindo fenômenos de cristalização e estabelecendo um ponto de fusão cristalina definido (T_m) em torno de 235°C, uma transição de fase não observada na NF de EC pura, que apresenta caráter predominantemente amorfo. Segundo Silva *et al.* [69] compostos naturais podem atuar como agentes nucleantes, reduzindo a barreira de energia para a organização das cadeias poliméricas e promovendo a cristalização, comportamento distinto da EC pura, tipicamente amorfa [50].

3.8 Análises de EDX

A utilização da EDX como ferramenta analítica foi crucial para confirmar a composição elementar de superfície das NFs de EC incorporadas com EB de *G. integrifolia*. Os resultados obtidos, evidenciados na Tabela 6, demonstraram que o carbono é o elemento predominante, alinhado com a estrutura química esperada para este polímero.

Tabela 6. Resultados dos teores elementares das NFs EC incorporadas com EB da flor, fruto e folha de *G. integrifolia*.

Elemento Químico	Proporção (%)			
	EC	EC/EB Flor	EC/EB Fruto	EC/EB Folha
Al	0,478 ± 0,18	0,054 ± 0,01	0,447 ± 0,01	0,071 ± 0,01
S	0,039 ± 0,00	0,325 ± 0,00	3,593 ± 0,02	0,142 ± 0,00
Ca	0,227 ± 0,00	0,008 ± 0,00	--	0,010 ± 0,00
Ag	0,011 ± 0,00	0,020 ± 0,00	--	--
Fe	0,006 ± 0,00	0,006 ± 0,00	0,010 ± 0,00	0,005 ± 0,00
Sm	0,006 ± 0,00	--	0,010 ± 0,00	0,004 ± 0,00
Cu	0,005 ± 0,00	0,004 ± 0,00	0,007 ± 0,00	0,004 ± 0,00
Cr	0,004 ± 0,00	0,002 ± 0,00	0,008 ± 0,00	0,002 ± 0,00
Mo	0,003 ± 0,00	0,003 ± 0,00	0,003 ± 0,00	--
K	--	0,349 ± 0,00	1,417 ± 0,01	0,054 ± 0,00
P	--	--	0,076 ± 0,01	--
Zn	--	--	0,002 ± 0,00	0,002 ± 0,00
C	99,215	99,217	94,366	99,689
	99,994	99,988	99,939	99,983

*EC: etilcelulose, EB: extrato bruto, NFs: nanofibras.

A identificação dos elementos químicos presentes nas superfícies da NF incorporada com EB da Flor de *G. integrifolia* indicou a presença de enxofre (0,325%), sugerindo a presença de compostos organossulfurados nesta NF. Esses resultados sugerem que os compostos sulfurados presentes no EB da Flor foram incorporados à matriz da NF. O teor de enxofre na NF incorporado com os EB do Fruto (3,593%) e da Folha (0,142%) também evidenciaram a absorção dos compostos organossulfurados presentes em cada NF, indo de encontro com os compostos organossulfurados dissulfeto de dipropila e dissulfeto de dibenzila, identificados por UHPLC-MS, presentes nos EB da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* relatados por Silva *et al.* [25], bem como o forte odor de alho presente em cada NF incorporada apresentada pelo presente trabalho.

Conforme revisado por Forouzande *et al.* [71], a incorporação de extratos medicinais brutos em nanofibras eletrofiadas exige técnicas de caracterização avançada para garantir a homogeneidade e a retenção da bioatividade, sendo a análise elementar uma ferramenta chave nesse processo.

3.9 Análise mecânica

Os ensaios de resistência a tração para as NFs de EC pura e incorporadas com os EB de *G. integrifolia* estão representados na Tabela 7, com os valores de resistência a tração, alongamento na ruptura e módulo de elasticidade. As características mecânicas da NFs de EC incorporadas com EB foram alteradas com relação a NF de EC pura. A incorporação do EB da Flor levou ao aumento da resistência mecânica da NF, $\sigma = 2,16 \pm 0,02$ MPa, contra $\sigma = 1,40 \pm 0,08$ MPa da EC pura, houve também um aumento no alongamento com $\epsilon = 11,06 \pm 0,65$ %, contra $\epsilon = 9,29 \pm 0,17$ %, respectivamente. O que deixa a NF de EC/EB Flor mais dúctil, ou seja, pode ser deformada plasticamente em maior extensão antes de romper e geralmente mais fácil de moldar e processar. Com relação ao módulo elasticidade, a NF com EB da Flor diminuiu ($43,69 \pm 2,60$ Mpa), deixando a NF menos rígida com relação a NF de EC pura ($60,30 \pm 1,67$ Mpa).

Tabela 7. Parâmetros obtidos a partir das análises mecânicas das NFs.

NFs	(σ) (Mpa)	(ϵ) (%)	Módulo de Elasticidade (MPa)
EC	$1,40 \pm 0,08$	$9,29 \pm 0,17$	$60,30 \pm 1,67$
EC/EB Flor	$2,16 \pm 0,02$	$11,06 \pm 0,65$	$43,69 \pm 2,60$
EC/EB Fruto	$0,95 \pm 0,06$	$12,91 \pm 2,44$	$23,00 \pm 2,74$
EC/EB Folha	$0,93 \pm 0,11$	$27,27 \pm 1,79$	$20,18 \pm 0,27$

σ – Tensão de ruptura em Mpa; ϵ - Alongamento em %; Módulo de elasticidade em Mpa [54]. *EC: etilcelulose, EB: extrato bruto, NFs: nanofibras.

Na comparação das NFs incorporadas com EB do Fruto e Folha, o módulo elasticidade diminuiu significativamente ($23,00 \pm 2,74$ Mpa) e ($20,18 \pm 0,27$ Mpa), respectivamente, deixando a fibra menos rígida e menos resistentes a deformações permanentes. Com relação a resistência mecânica, as NFs do EB do Fruto e Folha houve redução, com $\sigma = 0,95 \pm 0,06$ Mpa para o Fruto e $\sigma = 0,93 \pm 0,11$ Mpa para a Folha, no entanto, para o alongamento houve um aumento com $\epsilon = 12,91 \pm 2,44$ % para o Fruto e

um aumento considerável para a Folha com $\epsilon = 27,27 \pm 1,79 \%$, deixando as NFs densamente compactadas [55]. Esses resultados são consistentes com o efeito plastificante relatado por Atarés e Chiralt [72], onde componentes de baixo peso molecular se intercalam nas cadeias poliméricas aumentando a ductilidade do material.

De modo geral, todas as NF incorporadas com EB de *G. integrifolia* houve alteração na resistência mecânica, mostrando que há interação intermolecular entre as cadeias poliméricas da EC e os compostos presentes em cada EB incorporado, como apresentado na Tabela 1, fato de a NF mudar de dura (EC pura) para flexível (EC/EB), sugere que o EB está presente na estrutura polimérica. Dado que as NFs ideais são caracterizadas por um elevado limite de resistência à tração e módulo de elasticidade correlacionado a uma reduzida deformação na ruptura, os melhores resultados para o teste de análise mecânica foram para as NFs EC/EB Flor e EC/EB Fruto. Consequentemente, sustenta-se a viabilidade destas NFs para o desenvolvimento de possíveis curativos para feridas, conforme estudos prévios na área [56]. Rashidi *et al.* [16] eletrofiou NFs de EC/Soja (1:1) incorporadas com extrato da casca de laranja amarga (20 % em peso) e apresentou resultados semelhantes, no qual a resistência a tração aumentou pela adição do extrato, atribuindo à compatibilidade da solução polimérica nessa proporção e às interações de ligações de hidrogênio que ocorrem entre elas.

3.10 Ângulo de contato com a água

A hidrofiliabilidade da membrana, ou seja, sua capacidade de interagir com a água, é um fator determinante em diversas aplicações biomédicas. Essa propriedade pode influenciar significativamente a liberação controlada de fármacos e a interação das células com o material, como a adesão e o crescimento [54,57].

Uma maneira de quantificar a hidrofiliabilidade de uma superfície é medindo o ângulo de contato com a água. Esse ângulo revela o comportamento da água em contato com a superfície, ângulos menores que 90° indicam superfícies hidrofílicas, enquanto ângulos maiores que 90° caracterizam superfícies hidrofóbicas [58]. A Tabela 8, mostra os valores de ângulo de contato correspondente as NFs dos EB da Flor, Fruto e Folha de *G. integrifolia*. A incorporação do EB do Fruto foi a única NF que sofreu diminuição gradual nos valores do ângulo de contato, em 0 segundos com $123,03 \pm 0,04^\circ$ e 900

segundos $0,00^\circ$, sendo que a NF de EC pura iniciou em $132,85 \pm 4,31^\circ$ e terminou em $117,80 \pm 6,86^\circ$, permanecendo praticamente constante, Li *et al.* [59] relataram ângulos de contato com a água superiores a 120° para membranas contendo o polímero EC. Esse comportamento demonstra uma alteração na molhabilidade da superfície da NF com EB do Fruto, bem como seu caráter hidrofílico, sugerindo que os compostos bioativos exclusivos como, catequina, epicatequina, flavonoides e organossulfurados (Tabela 1 e 6) podem estar interagindo com a água na superfície da NF.

Tabela 8. Ângulo de contato das NFs de EC pura e incorporadas com EB de *G. integrifolia*.

NF	Ângulo de Contato ($^\circ$)				
	0s	120s	300s	600s	900s
EC	$132,85 \pm 4,31$	$128,65 \pm 0,57$	$124,40 \pm 1,91$	$122,50 \pm 0,85$	$117,80 \pm 6,86$
EC/EB Flor	$129,45 \pm 3,89$	$125,40 \pm 8,66$	$125,10 \pm 2,03$	$124,60 \pm 1,86$	$123,85 \pm 0,96$
EC/EB Fruto	$123,03 \pm 0,04$	$63,38 \pm 2,79$	$54,13 \pm 4,07$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$
EC/EB Folha	$121,85 \pm 4,31$	$122,13 \pm 3,71$	$123,30 \pm 2,12$	$126,35 \pm 0,49$	$124,75 \pm 5,30$

*EC: etilcelulose, EB: extrato bruto, NFs: nanofibras.

Para as NFs de EC incorporada com EB da Flor e Folha o ângulo de contato permaneceu basicamente constante durante todo o teste, como mostra a Tabela 8, indicando superfícies hidrofóbicas. O EB da Flor, de acordo com a Tabela 1, apresentou o composto ácido salicílico ($28,139 \mu\text{g.g}^{-1}$) como identidade desse extrato, sendo pouco solúvel em água, o que ratifica esse comportamento hidrofóbico da NF incorporada. Para o EB da Folha os compostos majoritários são a rutina ($> 100 \mu\text{g.g}^{-1}$) e vanilina ($65,027 \mu\text{g.g}^{-1}$) que são pouco solúveis em água, contribuindo para manter a hidrofobicidade da NF.

Liu *et al.* [51] enfatizam que a arquitetura e o alinhamento das NFs eletrofiadas podem influenciar significativamente o comportamento celular, incluindo adesão, proliferação e diferenciação, independentemente da hidrofobicidade do material. A propriedade de molhabilidade da superfície é essencial na proliferação celular e adesão celular, sendo as superfícies com características hidrofílicas mais responsivas à adesão celular [52].

3.11 Grau de intumescimento e perda de massa

O grau de intumescimento representa a capacidade de uma NF absorver um líquido e aumentar seu volume, enquanto a perda de massa das NFs corresponde à quantidade de material que é perdida pela NF ao longo do tempo, geralmente devido à dissolução em um líquido ou degradação. A Figura 6 apresenta os resultados para essas duas análises após 24 horas de teste em água com a NF de EC pura e incorporadas com os EB da Flor, Fruto e Folha de *G. integrifolia*.

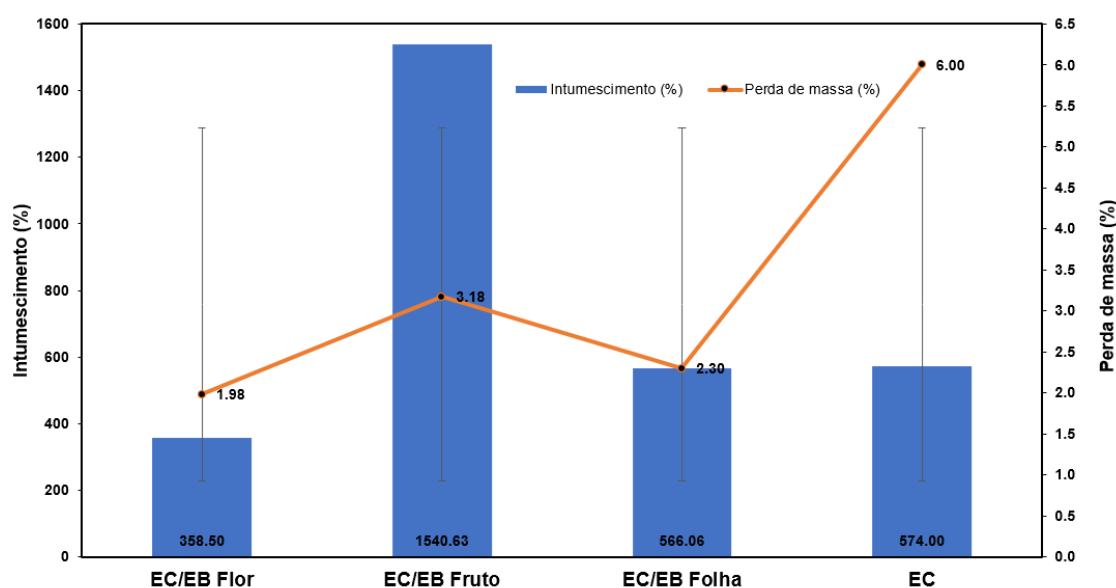


Figura 6: Grau de intumescimento e perda de massa das NFs de (EC) etilcelulose pura, (EC/EB Flor) etilcelulose incorporada com extrato bruto da flor, (EC/EB Fruto) etilcelulose incorporada com extrato bruto do fruto e (EC/EB Folha) etilcelulose incorporada com extrato bruto da folha.

Os resultados apresentados na Figura 6 mostram que a capacidade de intumescimento da NF incorporada com EB da Flor de *G. integrifolia* (358,50 %) reduziu frente a NF de EC (574,00 %), o EB da Flor apresenta um marcador distinto, o ácido salicílico com 28,139 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (enquanto nas outras amostras é $<0,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) (Tabela 1), possui baixa solubilidade em água e caráter lipofílico, o que pode criar uma barreira à entrada de água na NF. Para a NF de EB da Folha (566,06 %) teve intumescimento próximo ao da EC pura, tem alta concentração de vanilina (65,027 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e rutina ($> 100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) (Tabela 1), possivelmente alteraram a absorção da matriz de polimérica.

A NF com EB do Fruto apresentou um elevado intumescimento (1540,63 %) frente a NF de EC pura, corroborando com o resultado apresentado no teste de ângulo de

contato que revelou seu caráter hidrofílico (Tabela 8), a presença de catequina (16,193 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e epicatequina (19,171 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) (Tabela 1) foram detectadas apenas no EB do fruto. Estes são flavonoides ricos em grupos hidroxila (-OH), que aumentou drasticamente a afinidade da fibra com a água (hidrofilicidade), a presença exclusiva de ácido gálico (13,603 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e ácido resorcílico (10,611 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) no Fruto, provavelmente contribui para a retenção de água na matriz polimérica. Morais *et al.* [73], demonstraram que a incorporação de compostos fenólicos em matrizes de celulose ou polímeros similares aumentou a capacidade de intumescimento devido à formação de ligações de hidrogênio adicionais com a água.

A perda de massa dessas NFs com EB da Flor e Folha quando comparada a NF de EC pura houve redução, sendo 6,00 % para a NF de EC contra 1,98 % e 2,30 % para NF com EB da Flor e Folha, respectivamente. Para a NF com EB do Fruto houve redução para 3,18 %, indicando que as incorporações dos EB de *G. integrifolia* deixaram as NFs resistentes à água frente a NF de EC pura.

Os EB incorporados podem ter modificado a superfície das NFs de EC pela presença de compostos organossulfurados e suas biomoléculas (Tabela 1 e 6), deixando-as menos porosas e menos suscetíveis a degradação para as NFs de EB Flor e Folha, o que minimiza sua deformação, rigidez e resistência mecânica, ficando de acordo com os testes de análise mecânica dessas NFs, por outro lado o EB do Fruto incorporado deixou a NF mais porosa mesmo reduzindo a perda de massa quando comparada com a NF de EC [60].

3.12. Atividade antibacteriana das Nanofibras

A Tabela 9 detalha a atividade antibacteriana das NFs de EC incorporadas com EB da Flor, Fruto e a Folha de *G. integrifolia*, tendo em vista avaliar a eficácia antibacteriana destas NFs contra duas bactérias importantes, *S. aureus* e *E. coli*. A atividade foi medida por meio da absorbância (ABS) e percentual entre Relação Controle (+)/Tratamento (RC/Tr %), com coletas realizadas em períodos de 24 e 48 h. Os resultados comparam diretamente as NFs incorporadas com o desempenho de um controle comercial de Estreptomicina, demonstrando as diferenças estatisticamente

significativas entre os tratamentos. A maior eficácia foi indicada pelo valor mais negativo da RC/Tr (%).

Tabela 9. Relação Controle (+) / Tratamentos (RC/Tr %) da atividade antibacteriana das nanofibras de etilcelulose (EC) incorporadas com extrato bruto (EB) de *G. integrifolia* da flor, fruto e folha e controle estreptomicina.

Bactéria		EC	EC/EB Flor	EC/EB Fruto	EC/EB Folha	Estreptomicina
		ABS RC/Tr (%)	ABS RC/Tr (%)	ABS RC/Tr (%)	ABS RC/Tr (%)	ABS RC/Tr (%)
<i>S. aureus</i> (29213)	24 h	31,31 ^a	-1,21 ^c	-22,70 ^e	14,96 ^b	-18,86 ^d
	48 h	156,63 ^a	-27,26 ^c	-37,53 ^d	-44,35 ^e	-2,83 ^b
<i>E. coli</i> (25922)	24 h	17,20 ^a	-23,45 ^b	-33,11 ^d	-35,53 ^e	-27,40 ^c
	48 h	1,80 ^a	-53,73 ^b	-75,34 ^e	-71,32 ^d	-58,29 ^c

*As médias seguidas por letras diferentes na mesma linha para RC/Tr diferem pelo Teste de Tukey (diferença significativa) teste ($p \leq 0,05$). *Escherichia coli*; *Staphylococcus aureus*. EC: etilcelulose, EB: extrato bruto.

O EC/EB Folha demonstrou maior eficácia contra a bactéria Gram-positivas *S. aureus*, apresentando a melhor redução de crescimento bacteriano em 48 h, com uma RC/Tr (%) de -44,35. No entanto, o EC/EB Fruto foi o mais eficaz contra *S. aureus* nas primeiras 24 h (RC/Tr % = -22,70) contra -18,86 % da Estreptomicina, mas essa eficácia foi superada pelo extrato da Folha após 48 h. Analisando a eficácia contra a bactéria Gram-negativa *E. coli* o EC/EB Fruto apresentou o resultado mais expressivo entre todos os testes, com uma RC/Tr (%) em 48 h de -75,34. Vale ressaltar que EB da Folha também foi altamente eficaz contra *E. coli*, sendo o mais eficaz em 24 h (RC/Tr % = -35,53) e mais eficaz que a Estreptomicina (RC/Tr % = -27,40), mas o extrato do Fruto superou essa eficácia em 48 h.

O EC/EB Flor apresentou melhor eficácia contra a bactéria *S. aureus* (RC/Tr % = -27,26) que o controle Estreptomicina (RC/Tr % = -2,83) em 48 h, mas não foi tão expressivo quanto os EC/EB do Fruto e Folha. Com relação a ação contra a bactéria *E. coli* o EC/EB da Flor (RC/Tr % = -53,73) foi a menor, no entanto, uma ação considerável frente ao controle Estreptomicina (RC/Tr % = - 58,29) em 48 h.

Há uma correlação direta entre o teor de flavonoides e a atividade antibacteriana, principalmente para o EB da Folha [25,62]. De acordo com a Tabela 5, o EB da Folha possui o maior teor de flavonoides (242,97 $\mu\text{g mg}^{-1}$), significativamente superior ao do

Fruto ($184,65 \mu\text{g mg}^{-1}$) e da Flor ($113,08 \mu\text{g mg}^{-1}$). Flavonoides são conhecidos por sua capacidade de complexar com a parede celular bacteriana e romper membranas. O alto teor na Folha explica sua superioridade na inibição tanto de Gram-positivas quanto Gram-negativas [62]. Além disso, o EB da Folha apresentou a maior concentração de vanilina ($65,027 \mu\text{g g}^{-1}$) comparada ao Fruto e Flor (Tabela 1). A vanilina é reconhecida por suas propriedades antimicrobianas, afetando a integridade da membrana citoplasmática [63, 64].

O EB do Fruto apresentou níveis elevados rutina, ácido ferrúlico ($85,60 \mu\text{g g}^{-1}$) e vanilina ($54,90 \mu\text{g g}^{-1}$), como também de catequina, epicatequina e ácido gálico (Tabela 1), compostos fenólicos com reconhecida ação antimicrobiana e detectados somente no Fruto [65,66]. O que comprova também um sinergismo mais eficaz contra as cepas testadas, principalmente, *E. coli*, superando o antibiótico de referência e sugerindo um mecanismo de ação específico, possivelmente ligado aos seus compostos fenólicos exclusivos [66].

A capacidade antioxidante também se alinha com a atividade antibacteriana, dependendo do método de análise. De acordo com a Tabela 3, o EB da Folha demonstrou a maior capacidade antioxidante pelo método ABTS ($20,91 \mu\text{M mg}^{-1}$), seguido pela Flor e Fruto. Levando em conta que o método ABTS detecta compostos lipofílicos e hidrofílicos, a alta atividade aqui corrobora a presença elevada de flavonoides no EB da Folha, sugerindo que os mesmos compostos que combatem radicais livres podem estar atuando no estresse oxidativo ou ruptura de membrana das bactérias analisadas [25].

Estudos conduzidos por Silva *et al.* [25] investigaram a atividade antioxidante celular dos EB da Flor, Fruto e Folha de *G. integrifolia*, exibindo alto potencial antioxidante, principalmente para os EB da Flor e Fruto. Nesse estudo, confirmaram a presença de quercetina, rutina, entre outros compostos que demonstraram ter propriedades antioxidantes, bem como anti-inflamatórias e antitumorais [25, 61]. Compostos organossulfurados, como dissulfeto de dipropila e dissulfeto de dibenzila foram encontrados nos EB de *G. integrifolia*, no qual age como um antioxidante potencializando e comprovando a atividade antioxidante celular apresentada [25].

Há uma quantidade insuficiente de informações sobre o potencial biológico dos EB de *G. integrifolia* incorporados a NF poliméricas. Nossos resultados sobre a atividade

antibacteriana das NF de EC trazem novos dados sobre o potencial dessa planta aplicada em materiais biotecnológicos. Mais pesquisas devem ser conduzidas para isolar essas biomoléculas e aprofundar nossa compreensão sobre suas atividades biológicas e novas formas de aplicações.

4. Conclusão

O presente estudo demonstrou o potencial biotecnológico do EB da Flor, Fruto e Folha de *Gallesia integrifolia* quando incorporados em nanofibras de etilcelulose. Os EB apresentaram uma composição química rica e variada de compostos bioativos, contendo compostos fenólicos, flavonoides e ácidos carboxílicos, com a rutina sendo consistentemente predominante em todas as partes analisadas. Na fabricação das NFs de EC, a morfologia foi homogênea, e a incorporação dos extratos alterou as propriedades físicas e mecânicas do material. As NFs de EC/EB Fruto e EC/EB Flor exibiram os melhores resultados de análise mecânica, sugerindo viabilidade para o desenvolvimento de curativos. Biologicamente, as nanofibras funcionalizadas exibiram atividades bacterianas promissoras. As membranas incorporadas com EB da Folha e do Fruto demonstraram eficácia antibacteriana significativa contra *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, sugerindo correlação ao alto teor de flavonoides e compostos organossulfurados. Conjuntamente com a capacidade antioxidante comprovada, especialmente nos extratos da Flor e Folha, estes resultados confirmam que as nanofibras de EC incorporadas com EB de *G. integrifolia* possuem potencial farmacológico para aplicações biotecnológicas, oferecendo um novo material com propriedades antioxidantes e antibacterianas que utiliza partes da planta que normalmente são descartadas, promovendo a sustentabilidade ambiental e uma economia circular.

5. Referências

- [1] K. Kim, N.-J. Kim, S.Y. Kim, I.H. Kim, K.-S. Kim, G.R. Lee, Cyclo(Phe-Pro) produced by the human pathogen *Vibrio vulnificus* inhibits host innate immune responses through the NF- κ B pathway, *Infect. Immun.* 83 (2015) 1150–1161, <https://doi.org/10.1128/IAI.02878-14>.
- [2] M. Alves, A. Lemire, D. Decré, D. Margetis, N. Bigé, C. Pichereau, et al., Extended-spectrum Beta-Lactamase-Producing Enterobacteriaceae in the Intensive Care Unit: Acquisition Does Not Mean Cross-Transmission, *BMC Infect. Dis.* 16 (2016) 147, <https://doi.org/10.1186/s12879-016-1489-z>.
- [3] L.L. Li, Y.G. Zhu, X.M. Jia, D. Liu, J.M. Qu, Adipose-derived mesenchymal stem cells ameliorating *Pseudomonas aeruginosa*-induced acute lung infection via inhibition of NLRC4 inflammasome, *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 10 (2020) 581535, <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.581535>.
- [4] Q. Liu, J.-Q. Li, Z.-W. Xu, X.-Y. Yao, Y.-J. Wang, C.-Y. Wang, Z. Wang, L. Zhang, Y.-M. Wei, Fabrication of antimicrobial multilayered nanofibrous scaffolds-loaded drug via electrospinning for biomedical application, *Front. Bioeng. Biotechnol.* 9 (2021) 755777, <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.755777>.
- [5] S. Kadam, S. Nadkarni, J. Lele, S. Sakhalkar, P. Mokashi, K.S. Kaushik, Bioengineered platforms for chronic wound infection studies: how can we make them more human-relevant?, *Front. Bioeng. Biotechnol.* 7 (2019) 418, <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00418>.
- [6] J. Xue, T. Wu, Y. Dai, Y. Xia, Electrospinning and electrospun nanofibers: methods, materials, and applications, *Chem. Rev.* 119 (2019) 5298–5415, <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00593>.
- [7] D.M. Santos, P.A.M. Chagas, I.S. Leite, N.M. Inada, S.R. de Annunzio, C.R. Fontana, S.P. Campana-Filho, D.S. Correa, Core-sheath nanostructured chitosan-based nonwovens as a potential drug delivery system for periodontitis treatment, *Int. J. Biol. Macromol.* 142 (2020) 521–534, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.116>.
- [8] M. Movahedi, A. Asefnejad, M. Rafienia, M.T. Khorasani, Potential of novel electrospun core-shell structured polyurethane/starch (hyaluronic acid) nanofibers for skin tissue engineering: in vitro and in vivo evaluation, *Int. J. Biol. Macromol.* 146 (2020) 627–637, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.155>.
- [9] J.Y. Wu, C.W. Ooi, C.P. Song, C.Y. Wang, B.L. Liu, G.Y. Lin, C.H. Chang, Antibacterial efficacy of quaternized chitosan/poly (vinyl alcohol) nanofiber membrane crosslinked with blocked diisocyanate, *Carbohydr. Polym.* 262 (2021) 117910, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117910>.
- [10] Y. Yue, X. Gong, W. Jiao, Y. Li, X. Yin, Y. Si, J. Yu, B. Ding, In-situ electrospinning of thymol-loaded polyurethane fibrous membranes for waterproof, breathable, and antibacterial wound dressing application, *J. Colloid Interface Sci.* 592 (2021) 310–318, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.02.048>.
- [11] E.M. Tottoli, R. Dorati, I. Genta, E. Chiesa, T.R. Pisani, B. Conti, Skin wound healing process and new emerging technologies for skin wound care and regeneration, *Pharmaceutics* 12 (2020) 735, <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12080735>.

- [12] B.A. Alexandre, A.R. de Souza Rossin, J. Caetano, R.M. Marques, C.V. Buzanello, Z.C. Gazim, M.G.I. Faria, D.E.S. Pereira, D.C. Dragunski, Production of a dressing with Ecovio® nanofibers produced by electrospinning containing garlic wood essential oil, *J. Mol. Liq.* 435 (2025) 128126, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2025.128126>.
- [13] A.A. Shahid, M.N. Ali, S. Uddin, S.M. Miah, M. Islam, M.S.I.J. Mohebbullah, Antibacterial wound dressing electrospun nanofibrous material from polyvinyl alcohol, honey and *Curcuma longa* extract, *J. Ind. Text.* 51 (2021) 455–469, <https://doi.org/10.1177/1528083720904379>.
- [14] J. Jalvandi, M. White, Y. Gao, Y.B. Truong, R. Padhye, I.L. Kyrtziz, Polyvinyl alcohol composite nanofibres containing conjugated levofloxacin-chitosan for controlled drug release, *Mater. Sci. Eng. C* 73 (2017) 440–446, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.12.112>.
- [15] J. Lamarra, M.N. Calienni, S. Rivero, A. Pinotti, Electrospun nanofibers of poly(vinyl alcohol) and chitosan-based emulsions functionalized with cabreuva essential oil, *Int. J. Biol. Macromol.* 160 (2020) 307–318, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.096>.
- [16] M. Rashidi, S. Seyyedi-Mansour, P. Mostashari, M. Ghorbani, Electrospun nanofiber based on Ethyl cellulose/Soy protein isolated integrated with bitter orange peel extract for antimicrobial and antioxidant active food packaging, *Int. J. Biol. Macromol.* 193 (2021) 1313–1323, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.182>.
- [17] H. Seddiqi, E. Oliaei, H. Honarkar, J. Jin, L.C. Geonzon, R.G. Bacabac, J. Klein-Nulend, Cellulose and its derivatives: towards biomedical applications, *Cellulose* 28 (2021) 1893–1931, <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03674-w>.
- [18] Z. Mohebian, I. Tajmohammadi, L.Y. Maroufi, S. Ramezani, M. Ghorbani, A novel aloe vera-loaded ethylcellulose/hydroxypropyl methylcellulose nanofibrous mat designed for wound healing application, *J. Polym. Environ.* 29 (2021) 3639–3652, <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02135-2>.
- [19] A.-M. Croitoru, E. Andronescu, A.-C. Burducea, A.M. Grumezescu, A. Ficai, V.-A. Surdu, Development of gallic acid-loaded ethylcellulose fibers as a potential wound dressing material, *Int. J. Biol. Macromol.* 253 (2023) 126996, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126996>.
- [20] A. Nowak, W. Duchnik, E. Makuch, L. Kucharski, P. Ossowicz-Rupniewska, K. Cybulska, T. Sulikowski, M. Moritz, A. Klimowicz, *Epilobium angustifolium* L. essential oil—biological activity and enhancement of the skin penetration of drugs—in vitro study, *Molecules* 26 (2021) 7188, <https://doi.org/10.3390/molecules26237188>.
- [21] A.N.V. Souza, M.G.I. Faria, C.E. da Rocha, G.S. Philippsen, G.C.C. Silva, G.R. da Silva, R.S. Inumaro, J.E. Gonçalves, Z.C. Gazim, S. Wietzikoski, F.A.R. Lívero, F.A.V. Seixas, E.C.W. Lovato, Bioactive compounds with antifungal activity against pathogens isolated from pregnant woman: *Gallesia integrifolia* (garlic wood) is a promising treatment for vulvovaginal candidiasis, *J. Ethnopharmacol.* 295 (2022) 115403, <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115403>.
- [22] D.C. Montaholi, T.L. Valverde, E.G. Sampiron, W.C. Bortoluci, Z.C. Gazim, K.R. Caleffi-Ferracioli, R.B.L. Scodro, V.L.D. Siqueira, R.F. Cardoso, Essential oil of

Gallesia integrifolia is active against mycobacteria, *Future Microbiol.* 18 (2023) 107–116, <https://doi.org/10.2217/fmb-2021-0268>.

[23] W.C. Bortolucci, K.F. Raimundo, C.M.M. Fernandez, R.C. Calhelha, I.C.F.R. Ferreira, L. Barros, J.E. Gonçalves, G.A. Linde, N.B. Colauto, Z.C. Gazim, Cytotoxicity and antiinflammatory activities of *Gallesia integrifolia* (Phytolaccaceae) fruit essential oil, *Nat. Prod. Res.* 36 (2022) 2878–2883, <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1856133>.

[24] K.F. Raimundo, W.C. Bortolucci, J. Glamočlija, M. Soković, J.E. Gonçalves, G.A. Linde, N.B. Colauto, Z.C. Gazim, Antifungal activity of *Gallesia integrifolia* fruit essential oil, *Braz. J. Microbiol.* 49 (2018) 229–235, <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.04.009>.

[25] G.C.C. Silva, M.D. Machado, K. Sakumoto, R.S. Inúmaro, J.E. Gonçalves, F. Mandim, J. Vaz, J.S. do Valle, M.G. Faria, S.P. Ruiz, I.C.F.R. Ferreira, L. Barros, Z.C. Gazim, Antioxidant, anti-inflammatory, and antiproliferative cellular activities of the flowers, leaves, and fruits of *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms, *Molecules* 28 (2023) 5406, <https://doi.org/10.3390/molecules28145406>.

[26] K. Arunachalam, S.O. Balogun, E. Pavan, G.V.B. Almeida, R.G. Oliveira, T. Wagner, V.C. Filho, D.T.D.O. Martins, Chemical characterization, toxicology and mechanism of gastric antiulcer action of essential oil from *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms in the in vitro and in vivo experimental models, *Biomed. Pharmacother.* 94 (2017) 292–306, <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.07.096>.

[27] W.C. Bortolucci, H.L.M. Oliveira, L.R. Oliva, J.E. Gonçalves, R.P. Junior, C.M.M. Fernandez, N.B. Colauto, G.A. Linde, Z.C. Gazim, Crude extract of the tropical tree *Gallesia integrifolia* (Phytolaccaceae) for the control of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) larvae, *Rev. Biol. Trop.* 69 (2021) 153–169, <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i1.41225>.

[28] N. Stevanato, L.M. Iwassa, B.G.F. Schuquel, C. da Silva, Green extraction of valuable compounds from the byproduct of oil extraction from forage radish seed, *Ind. Crops Prod.* 224 (2025) 120257, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.120257>.

[29] Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), *Procedure Manual for Laboratory Practice*, 3rd ed., CLSI, Wayne, PA, 2015.

[30] A.M. Goes, S. Carvalho, R.L. Oréfice, L. Avérous, T.A. Custódio, J.G. Pimenta, M. de B. Souza, M.C. Branciforti, R.E.S. Bretas, Cell viability of biodegradable polymer nanofibers and their nanocomposites with montmorillonite clay, *Polímeros* 22 (2012) 34–41, <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000012>.

[31] J.C. Hardt, M.C.G. Pellá, A.C.R. Meira, A.G. Rosenberger, J. Caetano, D.C. Dragunski, Potential wound dressings from electrospun medicated poly(butylene-adipate-co-terephthalate)/poly-(ϵ -caprolactone) microfibers, *J. Mol. Liq.* 339 (2021) 116694, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116694>.

[32] L.R. Antunes, G.L. Breitenbach, M.C.G. Pella, J. Caetano, D.C. Dragunski, Electrospun poly(lactic acid) (PLA)/poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) nanofibers for the controlled release of cilostazol, *Int. J. Biol. Macromol.* 182 (2021) 333–342, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.174>.

- [33] I.F.F. Benzie, J.J. Strain, The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay, *Anal. Biochem.* 239 (1996) 70–76, <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- [34] M.S.M. Rufino, R.E. Alves, E.S. Brito, S.M. Morais, C.G. Sampaio, J. Pérez-Jiménez, F.D. Saura-Calixto, Scientific methodology: determination of total antioxidant activity in fruits by free-radical DPPH capture, *Embrapa Agroindústria Tropical Comun. Técn.* 127 (2007) 4.
- [35] W.C. Bortolucci, H.L.M. Oliveira, L.R. Oliva, J.E. Gonçalves, R.P. Júnior, N.B. Colauto, G.A. Linde, Z.C. Gazim, Crude ethanolic extracts of different parts of *Gallesia integrifolia* (Phytolaccaceae) for the control of *Rhipicephalus microplus*, *Int. J. Acarol.* 46 (2020) 414–423, <https://doi.org/10.1080/01647954.2020.1805003>.
- [36] K. Arunachalam, S.D. Ascêncio, I.M. Soares, R.W.S. Aguiar, L.I. da Silva, R.G. de Oliveira, H.S. França, D.T. de Oliveira Martins, *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms: in vitro and in vivo antibacterial activities and mode of action, *J. Ethnopharmacol.* 184 (2016) 128–137, <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.02.023>.
- [37] K. Arunachalam, S.O. Balogun, E. Pavan, G.V.B. Almeida, R.G. Oliveira, T. Wagner, V.C. Filho, D.T.D.O. Martins, Chemical characterization, toxicology and mechanism of gastric antiulcer action of essential oil from *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms in the in vitro and in vivo experimental models, *Biomed. Pharmacother.* 94 (2017) 292–306, <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.07.096>.
- [38] E. Tabolacci, G. Tringali, V. Nobile, S. Duca, M. Pizzoferrato, P. Bottoni, M.E. Clementi, Rutin protects fibroblasts from UVA radiation through stimulation of Nrf2 pathway, *Antioxidants* 12 (2023) 820, <https://doi.org/10.3390/antiox12040820>.
- [39] G. Shi, G. Liu, H. Liu, L. Wang, A. Kuwantai, Y. Du, L. Wang, X. Xi, R. Chai, A new glucosyltransferase UGT78 from *Iris sanguinea* is a putative negative regulator in cadmium stress response, *J. For. Res.* 35 (2024) 77, <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01730-8>.
- [40] B.J. Inkson, Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) for materials characterization, in: *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*, Woodhead Publishing, 2016, pp. 17–43, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X>.
- [41] Y. Liu, L. Deng, C. Zhang, F. Feng, H. Zhang, Tunable physical properties of ethylcellulose/gelatin composite nanofibers by electrospinning, *J. Agric. Food Chem.* 66 (2018) 1907–1915, <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b06038>.
- [42] A. Balaji, S.K. Jaganathan, A.F. Ismail, R. Rajasekar, Fabrication and hemocompatibility assessment of novel polyurethane-based bio-nanofibrous dressing loaded with honey and *Carica papaya* extract for the management of burn injuries, *Int. J. Nanomed.* 11 (2016) 4339–4355, <https://doi.org/10.2147/IJN.S111450>.
- [43] D. Nataraj, R. Reddy, N. Reddy, Crosslinking electrospun poly(vinyl) alcohol fibers with citric acid to impart aqueous stability for medical applications, *Eur. Polym. J.* 124 (2020) 109484, <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109484>.
- [44] D. Yu, Y.Y. Feng, J.X. Xu, B.H. Kong, Q. Liu, H. Wang, Fabrication, characterization, and antibacterial properties of citric acid crosslinked PVA electrospun

microfibre mats for active food packaging, *Packag. Technol. Sci.* **34** (2021) 361–370, <https://doi.org/10.1002/pts.2602>.

[45] B.V.M. Rodrigues, A.S. Silva, G.F.S. Melo, L.M.R. Vasconcellos, F.R. Marciano, A.O. Lobo, Influence of low contents of superhydrophilic MWCNT on the properties and cell viability of electrospun poly(butylene adipate-co-terephthalate) fibers, *Mater. Sci. Eng. C* **59** (2016) 782–791, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.10.075>.

[46] D.P. Facchi, P.R. Souza, V.C. Almeida, E.G. Bonafe, A.F. Martins, Optimizing the Ecovio® and Ecovio®/zein solution parameters to achieve electrospinnability and provide thin fibers, *J. Mol. Liq.* **321** (2021) 114476, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114476>.

[47] R.M. Silverstein, F.X. Webster, D.J. Kiemle, *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, 7th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2005.

[48] H.L. Lai, K. Pitt, D.Q.M. Craig, Characterisation of the thermal properties of ethylcellulose using differential scanning and quasi-isothermal calorimetric approaches, *Int. J. Pharm.* **386** (2010) 178–184, <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2009.10.005>.

[49] P. Gill, T.T. Moghadam, B. Ranjbar, Differential scanning calorimetry techniques: applications in biology and nanoscience, *J. Biomol. Tech.* **21** (2010) 167–193, <https://doi.org/10.7171/jbt.10.400209>.

[50] P.M. Davidovich, S. Barbut, A.G. Marangoni, Physical structure and thermal behavior of ethylcellulose, *Cellulose* **21** (2014) 3243–3255, <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0360-1>.

[51] D.G. Yu, X. Wang, X.Y. Li, W. Chian, Y. Li, Y.Z. Liao, Electrospun biphasic drug release polyvinylpyrrolidone/ethyl cellulose core/sheath nanofibers, *Acta Biomater.* **9** (2013) 5665–5672, <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2012.10.024>.

[52] H. Lu, Q. Wang, G. Li, Y. Qiu, Q. Wei, Electrospun water-stable zein/ethyl cellulose composite nanofiber and its drug release properties, *Mater. Sci. Eng. C* **74** (2017) 86–93, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.12.017>.

[53] S.V. Canevarolo, *Técnicas de Caracterização de Polímeros*, 3rd ed., Artliber, São Paulo, 2017.

[54] R.B. Trinca, C.B. Westin, J.A.F. da Silva, Â.M. Moraes, Electrospun multilayer chitosan scaffolds as potential wound dressings for skin lesions, *Eur. Polym. J.* **88** (2017) 161–170, <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.01.013>.

[55] Z. Zhang, Y. Liu, S. Lin, Q. Wang, Preparation and properties of glutaraldehyde crosslinked poly(vinyl alcohol) membrane with gradient structure, *J. Polym. Res.* **27** (2020) 67, <https://doi.org/10.1007/s10965-020-02223-0>.

[56] H.U. Zaman, M.A. Khan, R.A. Talukder, M.A. Hossain, Physico-mechanical properties of wound dressing material and its biomedical application, *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* **4** (2011) 1369–1375, <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2011.05.004>.

[57] D. Zhu, Q. Zhou, Action and mechanism of semiconductor photocatalysis on degradation of organic pollutants in water treatment: a review, *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* **12** (2019) 100255, <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100255>.

- [58] J.W. Song, L.W. Fan, Temperature dependence of the contact angle of water: a review of research progress, theoretical understanding, and implications for boiling heat transfer, *Adv. Colloid Interface Sci.* **288** (2021) 102339, <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102339>.
- [59] Z. Li, J. Ma, R. Li, X. Yin, W. Dong, C. Pan, Fabrication of a blood compatible composite membrane from chitosan nanoparticles, ethyl cellulose and bacterial cellulose sulfate, *RSC Adv.* **8** (2018) 31322–31330, <https://doi.org/10.1039/C8RA05954A>.
- [60] A. Aydogdu, G. Sumnu, S. Sahin, A novel electrospun hydroxypropyl methylcellulose/polyethylene oxide blend nanofibers: morphology and physicochemical properties, *Carbohydr. Polym.* **176** (2017) 273–282, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.051>.
- [61] A.B. Silva, P.L.C. Coelho, M. das Neves Oliveira, J.L. Oliveira, J.A.O. Amparo, K.C. da Silva, S.L. Costa, The flavonoid rutin and its aglycone quercetin modulate the microglia inflammatory profile improving antiangioma activity, *Brain Behav. Immun.* **85** (2020) 170–185, <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2019.04.038>.
- [62] D.K.B. Pinto, et al., Estudo farmacobotânico e bioprospecção de atividades biológicas de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms, 2023.
- [63] J. Wang, et al., Vanillin has potent antibacterial, antioxidant, and anti-inflammatory activities in vitro and in mouse colitis induced by multidrug-resistant *Escherichia coli*, *Antioxidants* **13** (2024) 1544, <https://doi.org/10.3390/antiox13121544>.
- [64] A. Minich, et al., Complex analysis of vanillin and syringic acid as natural antimicrobial agents against *Staphylococcus epidermidis* biofilms, *Int. J. Mol. Sci.* **23** (2022) 1816, <https://doi.org/10.3390/ijms23031816>.
- [65] Z. Zhang, et al., Antibiofilm inhibitor ferulic acid as an antibacterial synergist against *Escherichia coli*, *Biomolecules* **15** (2025) 1253, <https://doi.org/10.3390/biom15091253>.
- [66] L. Yi, et al., Synergistic effects and mechanisms of action of rutin with conventional antibiotics against *Escherichia coli*, *Int. J. Mol. Sci.* **25** (2024) 13684, <https://doi.org/10.3390/ijms252413684>.
- [67] V. Beloti, M.A.F. Barros, J.C. de Freitas, L.A. Nero, J.A. de Souza, E.H.W. Santana, B.D.G.M. Franco, Frequency of 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC) non-reducing bacteria in pasteurized milk, *Rev. Microbiol.* **30** (1999) 137–140, <https://doi.org/10.1590/S0001-37141999000200008>.
- [68] E.M. Çanga, F.C. Dudak, Characterization of cellulose acetate/gum Arabic fibers loaded with extract of *Viburnum opulus* L. fruit, *LWT* **110** (2019) 247–254, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.088>.
- [69] S.P.M. da Silva, T. Antunes, M.E.V. Costa, J.M. Oliveira, Non-isothermal cold crystallization kinetics of cork–polymer biocomposites based on polylactic acid for fused filament fabrication, *J. Therm. Anal. Calorim.* **146** (2021) 1667–1678, <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10147-6>.
- [70] O. Valerio, et al., Vegetal Polyphenol Extracts as Antioxidants for the Stabilization of PLA: Toward Fully Biobased Polymer Formulation, *ACS Omega* **9** (2024) 8135–8148, <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c09647>.

- [71] R. Forouzande, A.A. Gharehaghaji, D. Mohammadi, Advances in electrospinning techniques for synthesis of nanofibers loaded with herbal extracts and natural ingredients: A comprehensive review, *Synthesis and Sintering* 5 (2025) 1–40, <https://doi.org/.53063/synsint.2025.51226>.
- [72] L. Atarés, A. Chiralt, Essential oils as additives in biodegradable films and coatings: A review, *Trends in Food Science & Technology* 48 (2016) 51–62, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>.
- [73] E.S. Morais, N.H.C.S. Silva, T.E. Sintra, S.A.O. Santos, B.M. Neves, I.F. Almeida, P.C. Costa, I. Correia-Sá, S.P.M. Ventura, A.J.D. Silvestre, M.G. Freire, C.S.R. Freire, Anti-inflammatory and antioxidant nanostructured cellulose membranes loaded with phenolic-based ionic liquids for cutaneous application, *Carbohydr. Polym.* 206 (2019) 187–197, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.051>.

CAPÍTULO II*

DESENVOLVIMENTO DE NOVOS BIOMATERIAIS: NANOFIBRAS DE ETILCELULOSE COM AÇÃO ANTIBACTERIANA INCORPORADAS COM ÓLEO ESSENCIAL DE *Gallesia integrifolia*

RESUMO: A eletrofiação tem se mostrado uma técnica promissora para a produção de nanofibras (NFs) poliméricas com aplicações em diversas áreas, incluindo a biomedicina. Neste trabalho, foram produzidas NFs de etilcelulose (EC), um polímero biocompatível e biodegradável, incorporadas com óleos essenciais (OEs) extraídos da flor, fruto e folha de *Gallesia integrifolia* extraídos pelo método de hidrodestilação com duração de 3 horas. O objetivo foi avaliar as características térmicas e mecânicas das NFs incorporadas e explorar suas propriedades antibacterianas, sendo determinado inicialmente os índices físico-químicos densidade, índice de refração e poder rotatório dos OEs, bem como a identificação química por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. As NFs foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), análise termogravimétrica (TGA), calorimetria exploratória diferencial (DSC), análise por energia dispersiva de raios X (EDX), ensaios mecânicos, de ângulo de contato e de intumescimento. A atividade antimicrobiana foi avaliada em caldo com as NFs eletrofiadas contra as cepas *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. Os resultados mostraram que a eletrofiação produziu NFs com morfologia homogênea e diâmetro médio na faixa de 217 a 250 nm. A análise por FTIR confirmou a presença do grupo tiol (S-H) e grupo dissulfeto (-S-S-). A incorporação dos OEs não alterou significativamente a estrutura da EC, mas influenciou as propriedades térmicas e mecânicas das NFs, deixando menos porosas e mais susceptível a degradação térmica, além disso, elevou caráter hidrofóbico diminuindo sua deformação e aumentando sua rigidez. Os ensaios antibacterianos indicaram atividade inibitória de 55,50% para a NF incorporada com OE da folha e de 17,26 % para o OE da flor contra a bactéria *S. aureus* com 48 h de ensaio, frente a 2,83 % do controle Estreptomicina, contra a bactéria *E. coli* a inibição para o OE folha foi de 66,00 %, seguido do OE do fruto 56,11 % e do OE da flor 45,14 % em 48 h de ensaio, frente a Estreptomicina (58,29 %). As NFs incorporadas com os OEs de *G. integrifolia* demonstraram ser promissoras no desenvolvimento de novos materiais médicos com ação antibacteriana, necessitando de pesquisas adicionais de modo a aprofundar e aperfeiçoar seu uso e ação do óleo essencial impregnado.

Palavras-chave: Eletrofiação; Nanofibras de etilcelulose; Atividade antibacteriana; Pau d’alho; Propriedades térmicas e mecânicas.

***Este capítulo foi redigido e formatado em conformidade com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10520:2023.**

1. Introdução

A eletrofição é uma técnica altamente eficaz que sintetiza nanofibras (NFs) com propriedades únicas, com alta área superficial, porosidade controlável e simulação estrutural da matriz extracelular, tornando-as promissoras como ferramenta destinadas a formação de curativos (Wang *et al.*, 2024, Liu *et al.*, 2024). Essa morfologia ajustável facilita a permeabilidade a gases e líquidos, combinada com a possibilidade de incorporar agentes antimicrobianos, posicionando os materiais eletrofiados como candidatos promissores para um amplo espectro de aplicações biomédicas, incluindo cicatrização de feridas e liberação de fármacos (Saba; Hadi; Siavash, 2023, Maran; Jeyachandran; Kimura, 2024).

A eletrofição é uma técnica que utiliza forças eletrostáticas para produzir fibras ultrafinas, ou seja, NFs a partir de polímeros. Um campo elétrico intenso transforma um jato de polímero em um fino filamento que se solidifica ao contato com um coletor (Mercante *et al.*, 2021). A Figura 1 representa um sistema completo de eletrofição.

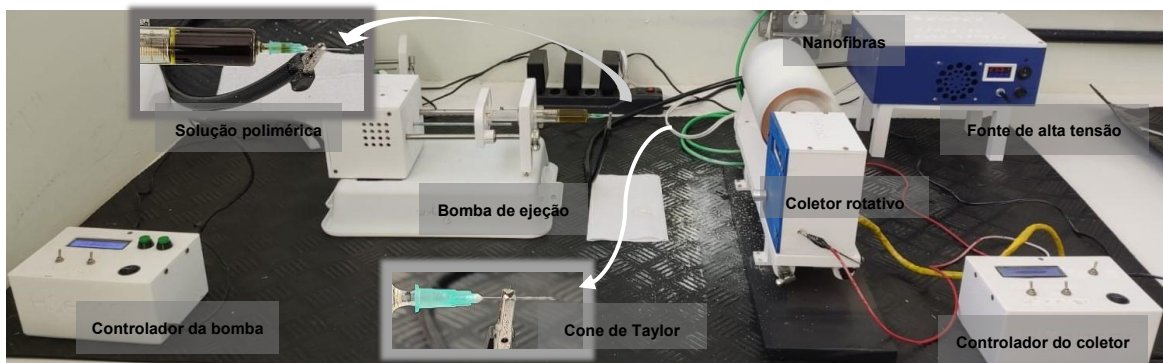


Figura 1: Representação de um sistema de eletrofição. Fonte: do autor.

A pele, maior órgão do corpo humano, é muito mais do que uma simples cobertura, desempenha um papel crucial em diversas funções vitais, desde a proteção contra agressões externas até a regulação da temperatura corporal. A epiderme e a derme são ricas em células imunes, formando uma barreira protetora contra patógenos (Matejuk, 2018; Sorg *et al.*, 2017). Quando essa barreira é rompida causando um ferimento, o risco de infecção aumenta significativamente (Kadam *et al.*, 2019).

A cobertura da ferida com biomateriais atua como uma plataforma terapêutica, auxiliando na cicatrização, estes materiais devem ser capazes de absorver o excesso de exsudato, além de serem biocompatíveis e bioativos. Essas características incluem propriedades antimicrobianas e antioxidantes, que auxiliam no combate à infecção e na promoção da regeneração tecidual (Shi *et al.*, 2020). Devido à sua versatilidade e capacidade de adaptação, os polímeros se destacam como bases promissoras para o desenvolvimento de sistemas avançados de curativos, capazes de promover a cicatrização de forma eficiente e segura (Liang *et al.*, 2024; Tudoroiu *et al.*, 2021).

A etilcelulose (EC), um polímero biodegradável naturalmente derivado da celulose, tem demonstrado ser um material promissor para a produção de NFs em diversas aplicações, especialmente na área biomédica. Sua natureza é atóxica, possui boa estabilidade na presença de luz, calor, oxigênio e umidade. Suas propriedades, como biocompatibilidade, excelente resistência mecânica e capacidade de liberação controlada de substâncias incorporadas a NF, tornam a EC uma candidata ideal para a fabricação de curativos. Além disso, o baixo custo de produção da EC contribui para a viabilidade econômica de sua utilização (Seddiqi *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2014). A Figura 2 representa a fórmula estrutural do monômero da etilcelulose.

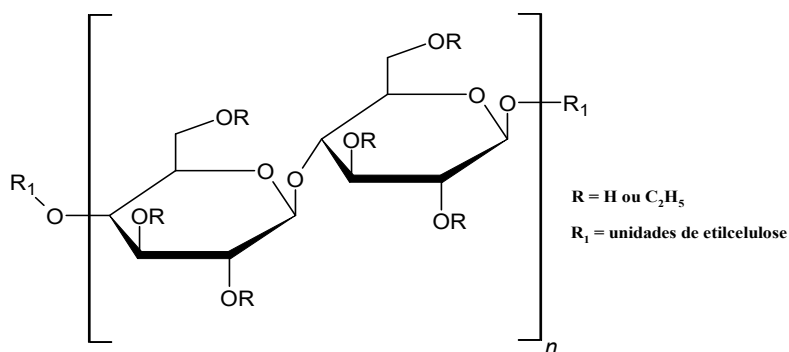


Figura 2: Fórmula estrutural do monômero da etilcelulose. Fonte: do autor.

A estrutura da EC é caracterizada por alta proporção de regiões amorfas e poucas regiões cristalinas. A extensão dessas regiões cristalinas varia de acordo com as condições de síntese e os tratamentos químicos a que a EC é submetida. A cristalinidade da EC é atribuída às ligações de hidrogênio que se estabelecem entre os três grupos hidroxila

presentes em cada unidade de glicose. No entanto, na EC, a substituição dos grupos hidroxila por grupos etila leva à redução dessas ligações de hidrogênio, comprometendo a formação de regiões cristalinas e aumentando o caráter amorfo do material (Ahmadi *et al.*, 2022).

Através da técnica de eletrofiação, foram produzidos curativos a base de NF poliméricas com propriedades antibacterianas, obtidas pela adição de OEs de canela, lavanda, hortelã-pimenta e oliva à solução polimérica (Simões *et al.*, 2018, Pilehvar-Soltanahmadi *et al.*, 2018).

Resultados de ensaios *in vitro* e *in vivo* com NFs eletrofiadas com alginato incorporadas com OE de lavanda, indicaram que essas fibras testadas como curativos possuem efeito antimicrobiano e anti-inflamatório, sugerindo seu potencial em promover a regeneração tecidual e cicatrização (Lee; Lee, 2020). Estudos de membranas eletrofiadas com OE de cravo com aplicação em cicatrização de feridas (Unalan *et al.*, 2009) mostraram que após 24 horas de exposição com as feridas, as taxas de recuperação delas melhoraram em até 80%, disponibilizando assim, informações importantes para aplicações voltadas a tratamento de lesões e reconstrução tecidual. Estudos com OE de citronela e tomilho incorporados em nanofibras de poliuretano demonstraram potencial como materiais ecologicamente corretos para têxteis e revestimentos protetores (Gilan *et al.*, 2025).

Gallesia integrifolia, conhecida popularmente como pau-d'alho, pertence à família Phytolaccaceae, uma espécie nativa da América do Sul, amplamente distribuída no Brasil, desde o Ceará até o Paraná (Souza *et al.*, 2022). Na medicina popular seu uso vai desde doenças respiratórias (bronquite, asma, pneumonia) até reumatismo e tumores de próstata (Akisue; Akisue; Oliveira, 1986; Montaholi *et al.*, 2024). Estudos com o OE de *G. integrifolia* indicaram que a planta possui ampla gama de propriedades medicinais, como potencial anti-inflamatório, antiproliferativo e antitumoral (Bortolucci *et al.*, 2022), antifúngico (Raimundo *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2022) e antiviral (Silva *et al.*, 2023).

Em estudo recente, NFs foram obtidas por eletrofiação utilizando o polímero Ecovio® (mistura de poli (adipato-co-tereftalato de butileno) – PBAT e poli (ácido lático) – PLA) contendo OEs extraídos da flor, fruto e folha de *G. integrifolia*, indicaram que essas membranas biodegradáveis apresentaram atividade antimicrobiana frente

a *Candida albicans* e *Pseudomonas aeruginosa* (Alexandre *et al.*, 2025). O objetivo do presente trabalho foi sintetizar nanofibras com EC incorporadas com OE das flores, folhas e frutos de *G. integrifolia* usando a técnica de eletrofiação. Nesse sentido, foram avaliadas a morfologia da superfície, as propriedades mecânicas e térmicas, bem como a atividade antibacteriana dessas NFs, visto que nenhum outro estudo foi encontrado sobre a fabricação de membranas eletrofiadas de EC incorporadas com esses OEs.

2. Materiais e métodos

2.1. Material vegetal

As folhas, flores e frutos foram coletadas de um exemplar adulto de *G. integrifolia* obtidas na região noroeste do estado do Paraná, nas coordenadas Latitude: 23°46'16"S e Longitude: 53°19'38"O, no Centro Municipal de Educação Infantil Rachel de Queiroz da cidade de Umuarama. As flores foram coletadas nos meses de março e abril de 2022, os frutos no mês de julho de 2022 e as folhas no mês de outubro de 2022, sendo coletadas pela manhã entre 08h00 e 10h00. A espécie foi cadastrada no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o nº AB832D3. Um espécime de referência foi depositado no Herbário da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) sob o número 1716.

2.2. Preparação do óleo essencial

As folhas, flores e frutos frescos de *G. integrifolia* foram fragmentadas separadamente com água purificada (1:10) e imediatamente submetidas à hidrodestilação em aparelho de Clevenger modificado por 3 horas (Silva *et al.*, 2023). Ao final da destilação, o OE foi retirado do aparelho com hexano P.A. e filtrado com sulfato de sódio anidro, em seguida, transferido para frascos âmbar e armazenado a -4°C para evaporação do solvente. O rendimento de OE foi calculado pela massa (g) do óleo essencial dividida pela massa (g) do material vegetal da planta e expressa em porcentagem (%). As extrações foram feitas em triplicata.

2.3. *Determinação dos índices físico-químicos do óleo essencial das flores, folhas e frutos de G. integrifolia*

Os OE de *G. integrifolia* foram analisados para determinar seu índice de refração, poder rotatório específico e densidade absoluta ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.3.1 *Índice de refração*

O índice de refração foi determinado em função da luz de sódio no comprimento de onda de 589,3 nm (raia D) e a 20 °C ($\pm 0,5$), sendo o valor expressado em n^{20}_{D} . As análises foram determinadas com o refratômetro ABBE de bancada modelo Q767B Quimis, a 20 °C de acordo com a Anvisa (2019).

2.3.2 *Rotação óptica específica*

A rotação óptica específica foi determinada utilizando-se polarímetro digital NOVA OPTICAL SYSTEMS, modelo NI21020067. As medidas de rotação óptica foram realizadas a 589,3 nm a 20 °C, solvente utilizado para a diluição dos óleos essenciais foi o álcool etílico absoluto e os valores expressos em $[\alpha]^{20}_{\text{D}}$ (BRASIL, 2010).

2.3.3 *Densidade absoluta*

A densidade absoluta foi determinada utilizando tubo capilar graduado de 5 μL e foi calculada pela razão entre a massa (g) do óleo essencial dentro do tubo com o volume (mL) ocupado dos óleos a 20 °C de acordo com a Anvisa (2019).

2.4 *Identificação química do óleo essencial por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM)*

A identificação química do OE das flores, folhas e frutos de *G. integrifolia* foram analisadas por cromatografia gasosa acoplado a espectrometria de massa (CG-EM) (Agilent 19091S-433). A coluna capilar foi HP-5MS UI 5% (30 m \times 0,25 mm \times 0,25 μm), com temperatura inicial de 60 °C, mantida por 3 min; após aquecimento a 300 °C (5

°C.min⁻¹) por 10 min e finalmente aquecida a 310 °C (10 °C.min⁻¹) e mantida por 10 min. O hélio foi utilizado como gás de arraste na velocidade linear de 1 mL.min⁻¹. A temperatura do injetor foi de 300 °C, o volume de injeção foi de 1 µL, a injeção ocorreu no modo “split” (20:1). A linha de transferência foi mantida a 280 °C, a fonte de ionização e o quadrupolo a 230 °C e 150 °C, respectivamente. A espectrometria de massa foi obtida com uma faixa de varredura de 30 a 550 (*m/z*) com atraso de solvente de 3 min. Os compostos foram identificados comparando os espectros de massa encontrados na biblioteca NIST 11.0 e comparado aos índices de retenção (IR) obtidos por uma série homóloga padrão (C₈-C₃₀) (Silva *et al.*, 2023).

2.5. Ensaio de sensibilidade para determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) dos óleos essenciais das flores, fruto e folhas de *G. integrifolia*

2.5.1. Microrganismos e preparo do inóculo

A atividade antibacteriana dos OEs foi testada em 12 bactérias pertencentes ao laboratório de biotecnologia de produtos vegetais e microrganismo Unipar/Umuarama. As cepas de bactérias testadas Gram-positivas foram *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12228), *Staphylococcus aureus* Newprov 0023, *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Bacillus cereus* (ATCC 12228) e *Listeria monocytogenes* (ATCC 7644). As cepas de bactérias Gram-negativas foram *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Shigella sonnei* (ATCC 25931), *Escherichia coli* Newprov 0022, *Staphylococcus Typhi* (ATCC 19214) *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Esterobacter cloacae* Newprov 0083. O inóculo foi preparado através de uma diluição da massa celular bacteriana a partir do cultivo de 24 h. A concentração final de células bacterianas foi ajustada de acordo com a Escala 0,5 de McFarland (1,5 x 10⁸ UFC mL⁻¹) em solução salina estéril 0,9% e após realizada a leitura em espectrofotômetro (Spectra Max Plus) a 625 nm para confirmação. A seguir, foi feita diluição da suspensão 1:10 em meio da cultura Mueller Hinton Caldo (Kasvi[®]) e adicionado a microplaca, obtendo-se um inóculo 1,5 x 10⁷ UFC mL⁻¹.

2.5.2. Atividade antibacteriana pelo método de microdiluição em caldo e determinação da concentração inibitória mínima (CIM) e da concentração bactericida mínima (CBM)

A concentração inibitória mínima (CIM) de cada microrganismo frente aos OEs foi realizada por meio da técnica de microdiluição em caldo usando microplacas de 96 poços. Para cada microrganismo, foi realizada uma suspensão padronizada em solução salina conforme descrito no item 2.5.1. A CIM foi fornecida de acordo com o método de microdiluição em caldo (CLSI, 2015) modificado para produtos naturais. Os OEs foram avaliados na faixa de concentração entre 0,009 e 10,00 mg mL⁻¹. Após a diluição seriada, 50 µl do inóculo foi adicionado a cada poço e submetido à incubação a 35° C por 24 h. A leitura foi realizada com a adição de 20 µL de revelador 2,3,5-cloreto de trifeniltetrazólio (Reatec[®]) a 1,0% em cada poço seguida de incubação das microplacas a 35° C por 20 min. A CIM foi definida pela menor concentração que resultou na inibição do crescimento visual de acordo com o revelador. Foi utilizado como controle positivo o antibiótico Estreptomicina (Sigma) (0,0097 - 0,5 mg mL⁻¹) (Beloti *et al.*, 1999). Após a leitura, 2 µL de cada poço foi cultivado em meio de cultura Mueller Hinton Agar (Kasvi[®]) e incubadas a 35 °C por 24 h para determinação da concentração bactericida mínima (CBM) do EB frente aos microrganismos estudados.

2.6. Preparação da solução polimérica

Soluções poliméricas foram preparadas dissolvendo 1,0100 g de Poli Etilcelulose (Sigma-Aldrich[®]) em 2,5 mL de tetrahidrofurano (Neon, Brasil) e 7,5 mL de dimetilacetamida (Sigma-Aldrich[®]). A essa solução foi adicionado OE de *G. integrifolia*, extraído da flor, fruto e folha. A proporção utilizada para os OEs foi de 10% (0,1000 g) em relação à massa do polímero. A solução foi mantida sob agitação magnética por 24 h à temperatura ambiente e, em seguida, submetida ao processo de eletrofiação. Estudos comparativos foram realizados com membranas poliméricas sem adição de OE.

2.7. Parâmetros para eletrofiação

A eletrofiação foi realizada em um eletrofiador com coletor rotativo de 20 cm a 1000 rpm, a ± 20 °C, umidade relativa do ar ± 30 %. As soluções foram colocadas em uma seringa de vidro graduada de 10 mL, de acordo com a quantidade de cada solução, e

acoplada a uma agulha de diâmetro interno de 0,7 mm. A seringa foi anexada a uma bomba de ejeção com fluxo de 0,73 - 0,98 mL.h⁻¹ e tensão de 18-20 kV. O coletor rotativo foi posicionado alinhando-se a ponta da agulha a uma distância de 15 cm. Esses parâmetros também foram encontrados nos trabalhos de Goes *et al.* (2012), Hardt *et al.* (2021) e Antunes *et al.* (2021).

2.8. Caracterização das nanofibras

O estudo morfológico das NFs foi obtido usando microscopia eletrônica de varredura (MEV) equipamento Zeiss EVO MA10. As amostras das NFs foram fixadas no porta amostras com fita dupla face de carbono e metalizadas com uma fina camada de ouro, metalizador QUORUM. O diâmetro médio das NFs foi determinado utilizando o programa de processamento de imagem ImageJ (versão 1.51) totalizando 100 medições para cada amostra.

A análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) foi realizada em equipamento Shimadzu DSC 60. Aproximadamente 6 mg das amostras foram utilizadas, aquecendo-se de 30 °C a 300 °C com razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹ sob fluxo de nitrogênio (N₂) com vazão de 50 cm³ min⁻¹.

A estabilidade térmica foi avaliada via Análise Termogravimétrica (TGA) utilizando o equipamento termogravimétrico Perkin Elmer (modelo STA 6000). Aproximadamente 5 mg das amostras foram aquecidas de 30 °C a 600 °C com razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹, sob fluxo de nitrogênio (N₂) com vazão de 50 cm³ min⁻¹.

Para observar possíveis alterações na superfície das fibras após a incorporação do OE, foram realizadas análises nos espectros de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR). Os espectros de FTIR das membranas produzidas foram obtidos com o módulo de Reflectância Total Atenuada (ATR) em um dispositivo Perkin Elmer (modelo Frontier). Obtendo os espectros na faixa de números de onda de 4000 - 400 cm⁻¹, com resolução de 2 cm⁻¹ e um total de 8 acumulações.

A Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por energia dispersiva (EDX) foi determinada utilizando o equipamento Shimadzu EDX-7200 com faixa de medição do Na₁₁ a U₉₂, com voltagem de 4 kV a 50 kV e corrente 1 µA a 1000 µA. A radiação X

detectada é específica dos números atômicos dos elementos constituintes da amostra, possibilitando identificação e a quantificação da concentração elementar. Foram obtidas as concentrações aparentes dos elementos, bem como calculadas as médias das porcentagens (%).

A resistência mecânica das NF foi determinada utilizando uma máquina universal de ensaios Biopdi/ Brasil. Os filmes foram cortados em tamanho padrão com dimensões de 60 mm × 10 mm. A espessura das amostras foi mensurada com um medidor de espessura analógico Mitutoyo, NO.730, 5 vezes em diferentes locais da amostra. Uma célula de carga de 100 N foi usada para realizar o teste de tração com velocidade de deslocamento 5 mm min⁻¹, a ± 25 °C e umidade relativa de ± 30 %. Os parâmetros obtidos pela análise foram o módulo elasticidade em MPa, a tensão de ruptura em MPa e o alongamento em %, e a média desses parâmetros foi obtida por quintuplicata.

As medições de ângulo de contato foram realizadas utilizando um microscópio USB com ampliação de 10 vezes ligado a um computador. Para a análise uma gota de água destilada de 5 µL foi depositada sobre a superfície das NFs. A gota formada foi monitorada por um período tempo de 0 segundos a 300 segundos a temperatura ambiente. A partir das imagens, o ângulo de contato foi determinado por meio do ângulo entre a tangente da interface líquido/ar e a tangente entre a interface sólido/ar, utilizando o programa ImageJ (versão 1.51).

O grau de intumescimento e perda de massa (g) das NFs foram realizadas a partir do corte em círculos de 3 cm de diâmetro e pesadas (M_s), foram mergulhadas em solução tampão fosfato pH 5,75 a temperatura ambiente. Após 24 h as NFs foram retiradas da solução e com papel filtro retirou-se o excesso superficial da solução, em seguida, pesou-se (M_m) novamente as NFs. O grau de intumescimento foi calculado pela equação (1).

$$\text{Intumescimento (\%)} = \left(\frac{M_m - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (1)$$

Para calcular a perda de massa (g) das NFs, após o estudo de intumescimento as NFs foram completamente secas na dessecadora por 24 h e pesadas (M_f) novamente. A perda de massa foi calculada pela equação (2).

$$\text{Perda de massa (\%)} = \left(\frac{M_s - M_f}{M_s} \right) \times 100 \quad (2)$$

2.9. Atividade antibacteriana das NFs

A atividade antimicrobiana foi realizada utilizando microplacas de 24 poços. Para cada microrganismo, foi realizada uma suspensão padronizada em solução salina (NaCl). Foram testadas 2 cepas bacterianas *Staphylococcus aureus* (ATC 29213) e *Escherichia coli* (ATC 25922). Os microrganismos foram provenientes do Laboratório de Biotecnologia de Produtos Vegetais e Microrganismos da Universidade Paranaense. Para os ensaios foi preparada uma diluição da massa celular bacteriana a partir do cultivo de 24 h. A concentração final de células bacterianas foi ajustada de acordo com a Escala 0,5 de McFarland ($1,5 \times 10^8$ UFC.mL⁻¹) em solução salina estéril 0,9% e realizada a leitura em espectrofotômetro (Spectra Max Plus) a 625 nm. A diluição foi realizada em suspensão 1:10 em meio da cultura Mueller Hinton Caldo (Kasvi®) e adicionado a microplaca, obtendo-se um inóculo $1,5 \times 10^7$ UFC.mL⁻¹ (CLSI, 2015). Nos poços foram adicionados 990 µL de meio Mueller Hinton Caldo (Kasvi®), os discos das NFs de EC incorporados com OEs das flores, fruto e folhas de *G. integrifolia*, mais 10 µL de inóculo. Foram usados como controle o meio puro com inóculo (controle +), os discos da NF de EC pura com inóculo, controle comercial discos de Estreptomicina com inóculo, meio e os filmes impregnados sem adição do inóculo. A avaliação do crescimento das bactérias foi realizada por leitura espectrofotométrica (Spectra Max Plus) dos meios de cultivo em um comprimento de onda de 600 nm. O valor real do crescimento dos microrganismos foi calculado pelos valores de absorvância após 24 h e 48 h, utilizando como branco o meio de cultura isento do inóculo.

2.10 Análise estatística

Todos os testes foram realizados em triplicatas, bem como os ensaios antimicrobianos. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as diferenças entre as médias determinadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) pelo programa Statistica® 8.0.

3. Resultados e Discussão

3.1 Índices físico-químicos

Os índices físico-químicos determinados através de métodos padronizados podem ser usados para atestar pureza, estudos farmacológicos, bem como identificar adulterações em OE (Do *et al.*, 2015). O rendimento, índice de refração, poder rotatório e densidade dos OEs de *G. integrifolia* extraída de flores, folhas e frutos são apresentados na Tabela 1, bem como o rendimento de cada um. A densidade dos OE extraídos (Tabela 1) de *G. integrifolia* revelaram valores próximos dos relatados por Raimundo *et al.* (2021), sendo densidades de 1,37; 1,45 e 1,48 g.mL⁻¹ para OE das flores, folhas e frutos, respectivamente, com Bortolucci *et al.* (2021), encontraram densidade de 1,48 g.mL⁻¹ para o OE dos frutos.

Tabela 1. Índices físico-químicos para densidade absoluta (g.mL⁻¹), índice de refração, rotação óptica específica e rendimento (%) do OE de flores, folhas e frutos de *G. integrifolia*.

Parte da planta	Densidade absoluta (g.mL ⁻¹)	Índice de refração (n^{20}_D)	Rotação óptica específica $[\alpha]^{20}_D$	Rendimento (%)
Flor	1,28 ± 0,06 ^a	1,62 ± 0,01 ^a	+8,35° ± 0,12 ^c	0,46 ± 0,05 ^a
Folha	1,17 ± 0,08 ^b	1,59 ± 0,01 ^b	+12,58° ± 0,12 ^a	0,05 ± 0,01 ^c
Fruto	1,20 ± 0,14 ^a	1,62 ± 0,01 ^a	+11,25° ± 0,16 ^b	0,22 ± 0,06 ^b

Os valores representam a média ± desvio padrão dos OE obtidos. As letras indicam diferença significativa entre os valores pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Alguns fatores como as condições climáticas (temperatura e umidade do ar), fases de desenvolvimento da planta, condições de cultivo, período de coleta e o índice pluviométrico influenciaram nessa diferença de densidade (Tabela 2), bem como a

presença dos compostos organossulfurados (Tabela 3), com cinco e até seis átomos de enxofre.

Os resultados apresentados por Silva *et al.* (2023) com relação ao índice de refração diferiram para o OE das folhas (1,61), bem como dois dos seus compostos majoritários que foram 2,3,5-tritiaexano (17,75%), tritiometoximetano (15,04%). Sendo assim, isso indica que o índice de refração seja um parâmetro qualitativo que altera de acordo com as substâncias presentes em cada OE, além de ser influenciado pelo período de coleta e índice pluviométrico do material vegetal estudado (Tabela 2).

A análise da rotação óptica específica (Tabela 1) mostrou que os OE de *G. integrifolia* é opticamente ativo apresentando ângulos de desvio diferentes, mas todos eles foram desviados para a direita (+). O único estudo que relatou a rotação óptica dos OEs da flor, folha e fruto de *G. integrifolia* foi Silva *et al.* (2023), apresentou resultados semelhantes, sendo para o OE da flor (+ 8.28 °), folha (+ 12.65) e fruto (+ 11.16), sendo todos com desvio dextrogiro.

Tabela 2: Período de coleta, índice pluviométrico, método de extração e compostos majoritários do OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* descrita por diferentes autores.

Localização	Método de extração/ tempo	Índice pluviométrico	Período de coleta	Partes da planta			Referência
				Flor	Folha	Fruto	
Umuarama - PR, S 23°46'16'' WO 53°19'38'', 442 m altitude	Hidrodestilação/ 3 horas	108,9 mm (Flores) 71,1 mm (Frutos) 152,4mm (Folhas)	Flores (Março - 2022) Frutos (Julho - 2022) Folhas (Outubro - 2022)	2,2- dissulfanediildiethanetiol (58,18%) 2,3,5-trithiahexano (27%)	2,2- dissulfanodiildietanotiol (46,64%) fitol (15,85%)	2,2- disulfanediildiethanetiol (58,10%) 2,3,5-trithiahexano (18,31%)	Estudo atual
Umuarama - PR, S 23°46'16'' WO 53°19'38'', 442 m altitude	Hidrodestilação/ 3 horas	132mm (Flores) 94mm (Frutos) 195mm (Folhas)	Flores (Março - 2021) Frutos (Julho - 2021) Folhas (Outubro - 2021)	2,2- dissulfanodiildietanotiol (47,00%) 2,3,5-tritiaexano (17,89%) n-etil-1,3-ditioisindol (13,94%)	2,2- dissulfanodiildietanotiol (41,82%) 2,3,5-tritiaexano (17,75%) tritiometoximetano (15,04%)	2,2- dissulfanodiildietanotiol (44,39%) trissulfeto de dimetil (19,40%) lentionina (9,27%)	Silva <i>et al.</i> , 2023.
Umuarama - PR, S 23°46'16'' WO 53°19'38'', 442 m altitude	Hidrodestilação/ 3 horas	143,3mm (Frutos) 500-600 mm (Flores e folhas)	Flores (Dezembro - 2015) Frutos (Maio/Junho - 2015) Folhas (Dezembro - 2015)	metionina, éster etílico (45,28%) sulfeto de p-tolil de metila (17,08%) n-etil-1,3-ditioisindol (13,40%)	3,5-ditiaexanol-5,5-dióxido (38,93%) 1,3,5-tritiano (13,74%) n-etil-1,3-ditioisindol (12,58%)	trissulfeto de dimetil (15,28%) 2,8-ditianonano (52,63%) lentionina (14,69%)	Raimundo <i>et al.</i> , 2021.

Comparando o rendimento do OE do presente estudo (Tabela 1) como o encontrado por Raimundo *et al.* (2021), o OE das flores foi o dobro do valor (0,19%), para o OE dos frutos foi 1,5 vezes maior (0,14%) e para as folhas, o rendimento foi semelhante ao estudo, que obtiveram 0,055%. Em relação a Bortolucci *et al.* (2021), o rendimento dos frutos do presente estudo foi quatro vezes maior que o encontrado pelos autores (0,05%). O rendimento do OE pode variar de acordo com as características genéticas, regionais e climáticas da planta (Baser; Buchbauer, 2010), evidenciado na Tabela 2.

3.2 Composição química dos óleos essenciais

Através da análise por CG/EM dos OEs de *G. integrifolia* extraída de flores, folhas e frutos (Tabela 3), foi possível identificar compostos organosulfurados como classe majoritária e um total de compostos identificados de 9,98 % nas flores, 92,57 % nas folhas e 99,99 % nos frutos.

Tabela 3. Composição química do óleo essencial de flores, folhas e frutos de *G. integrifolia* por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-EM).

Pico	TR	COMPOSTO	FM	PM	Área Relativa (%)			IR		Fonte da Literatura
					Flores	Folhas	Frutos	Calc.	Lit.	
1	3.177	Dissulfeto, dimetil	C ₂ H ₆ S ₂	94	0,59	1,13	1,22	800	785	Valim <i>et al.</i> , 2003.
2	3.264	3-etiltiofeno	C ₆ H ₈ S	112	-	0,38	-	804	810	Bortolucci <i>et al.</i> , 2022.
3	3.733	2,4-ditiopentano	C ₃ H ₈ S ₂	108	-	0,24	-	835	847	Bortolucci <i>et al.</i> , 2022.
4	3.998	(E)-2-Hexenal	C ₆ H ₁₀ O	98	-	2,90	-	845	841	Mallia <i>et al.</i> , 2007.
5	4.120	3-Metilpenta-1,4-dieno-3-ol	C ₆ H ₁₀ O	98	-	0,96	-	856	850	Mu <i>et al.</i> , 2007.
6	4.224	n.i			-	0,52	-	859		
7	5.055	n.i			-	0,30	-	897		
8	6.476	Dimetil trissulfeto	C ₂ H ₆ S ₃	126	0,26	0,19	0,47	956	956	Bonaiti <i>et al.</i> , 2005.
9	8.323	Limoneno	C ₁₀ H ₁₆	136	0,21	-	-	1021	1020	Basta <i>et al.</i> , 2006.
10	8.385	Linalol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0,26	0,36	0,25	1023	1023	Kundakovic <i>et al.</i> , 2007.
11	10.369	1,2,4-tritriolano	C ₂ H ₄ S ₃	124	-	1,57	-	1120	1127	Madruga <i>et al.</i> , 1998.
12	11.126	2,3,5-Tritiahexano	C ₃ H ₈ S ₃	140	27,00	10,63	18,31	1125	1134	Andriamaharavo, 2014.
13	11.332	2-Tianonano	C ₈ H ₁₈ S	146	-	1,62	-	1123	1117	Garbuzov <i>et al.</i> , 1985.
14	12.377	Dimetil tetrassulfeto	C ₂ H ₆ S ₄	158	0,22	6,93	0,22	1191	1200	Pyun <i>et al.</i> , 2006.
15	14.883	n.i			0,36	-	0,36	1246		
16	15.917	n.i			-	0,28	-	1284		
17	17.603	Tritiometoximetano	C ₄ H ₁₀ S ₃	154	4,06	0,70	5,82	1358	1365	Díaz <i>et al.</i> , 2011.
18	19.251	n.i			-	0,24	-	1409		
19	21.156	Trans-β-ionona	C ₁₃ H ₂₀ O	192	0,36	0,44	-	1486	1485	Roussis <i>et al.</i> , 2000.
20	21.629	2,2-Dissulfanodiildietanotiol	C ₄ H ₁₀ S ₄	186	58,18	46,64	58,10	1757	1760	Bortolucci <i>et al.</i> , 2022.
21	22.331	Lentionina	C ₂ H ₄ S ₅	188	0,58	0,44	0,42	1575	1590	Silva <i>et al.</i> , 2023.
22	24.619	3,5-Ditiaexanol 5.,5-dióxido	C ₄ H ₁₀ O ₃ S ₂	170	-	0,26	-	1644	1658	Silva <i>et al.</i> , 2023.
23	27.165	Etanol, 2-(octiltio)	C ₁₀ H ₂₂ OS	190	5,60	2,02	9,38	1770	1780	Bortolucci <i>et al.</i> , 2022.
24	28.826	n.i			-	0,43	-	1828		

25	30.015	n-etil-1,3-ditioisindol	C ₁₀ H ₁₃ NS ₂	211.4	-	1,22	-	1851	1847	Bortolucci <i>et al.</i> , 2022.
26	30.111	Hexatiepano	CH ₂ S ₆	216.4	-	1,35	-	1887	1880	Bortolucci <i>et al.</i> , 2022.
27	33.502	n.i			-	0,58	-	2069		
28	33.979	Fitol	C ₂₀ H ₄₀ O	296	1,91	15,85	0,56	2094	2087	Mu <i>et al.</i> , 2007.
29	35.908	3	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	226,35	-	0,35	-	2200	2194	Bortolucci <i>et al.</i> , 2022.
Total identificado						99,98	92,57	99,99		
Organossulfurados						61,53	55,55	72,72		
Monoterpenos						7,69				
Monoterpenos oxigenados						7,69	3,70	9,09		
Diterpenos oxigenados						7,69	3,70	9,09		
Outros compostos						7,69	7,40			
Não identificados						7,69	22,22	9,09		

Os compostos estão listados em ordem de eluição na coluna HP-5MS UI. O índice de retenção (IR) foi calculado usando uma série homóloga padrão de n-alcanos C7–C28 na coluna Agilent HP-5MS. A identificação foi baseada na comparação dos espectros de massa encontrados na biblioteca NIST 11.0. Área relativa (%): porcentagem da área ocupada pelo composto no cromatograma; IR Lit: Índice de retenção encontrado na literatura; n.i = Compostos não identificados; (-): Ausente; TR: Tempo de retenção. PM: Peso molecular. FM: Fórmula molecular.

Um diagrama de Venn (Figura 3) foi criado para mostrar a distribuição dos compostos identificados nos OE.

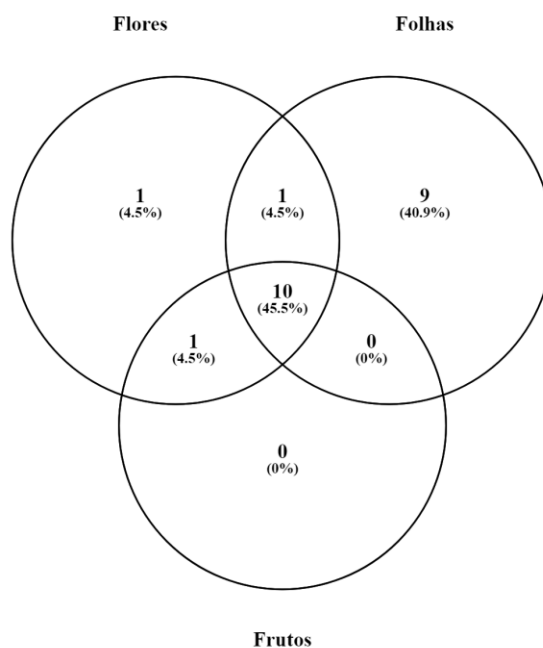


Figura 3: Diagrama de Venn mostrando a distribuição dos compostos identificados nos OE das folhas, flores e frutos de *G. integrifolia*. O diagrama de Venn foi gerado com a ferramenta do site Bioinformatics and Systems Biology of Gent (<https://bioinfogp.cnb.csic.es/tools/venny/> acessado em 22 de novembro de 2025).

A composição química das plantas pode variar devido a fatores como a genética da planta, o ambiente em que ela cresce, localização geográfica, as condições de cultivo, clima e o tipo de solo (Yu, 2025). A planta produz os compostos químicos de acordo com as condições em cada ecossistema e, portanto, *G. integrifolia* produziu diferentes compostos como metabólitos voláteis (Tabela 3). Foi possível identificar organossulfurados como classe majoritária, sendo para o OE das flores, folhas e frutos o composto 2,2-dissulfanodiildietanotiol com 58,18%, 46,64% e 58,10%, respectivamente. Como segundo composto mais abundante no OE de *G. integrifolia*, nas flores e frutos foi o 2,3,5-trithiahexano como 27,00% e 18,31%, respectivamente, já nas folhas foi fitol com 15,85%. O composto 2,3,5-trithiahexano foi identificado nas folhas com 10,63% e para as flores e frutos o composto etanol, 2-(octiltio) com 5,60 % e 9,38%, respectivamente.

Com o diagrama de Venn (Figura 3) constatou-se que o limoneno é o composto exclusivamente presente nas flores, bem como a trans- β -ionona presente nas flores e folhas. Dez compostos são comuns ao OE das flores, folhas e frutos como dissulfeto dimetil; dimetil trissulfeto; linalol; 2,3,5-tritiahexano; tritiometoximetano, 2,2-dissulfanodiildietanotiol; lentionina; etanol, 2-(octiltio) e fitol. A substância tetrassulfeto dimetil foi a única em comum entre as flores e frutos. Já no OE das folhas foi encontrado nove compostos exclusivos como 3-etiltiofeno; 2,4-ditiopentano; 1,2,4-tritiolano; 2-tianonano; timetil tetrassulfeto; 3,5-ditiaexanol 5,5-dióxido; n-etil-1,3-ditioisindol; hexatiepano e propilundecenoato.

Comparando esses compostos identificados nos OE do presente estudo (Tabela 3) com análises realizadas por Raimundo *et al.* (2021), Bortolucci *et al.* (2021) e Silva *et al.* (2023), nas quais utilizaram exemplares da mesma árvore de *G. integrifolia* os resultados mostraram que houve diferença na composição química (Tabela 3). As diferenças de composição e concentração de compostos no OE do presente estudo podem estar relacionadas aos índices pluviométricos diferentes, temperatura ambiente no dia de coleta, bem como o período de coleta (Tabela 2). No presente estudo, as flores foram coletadas em março, frutos em julho e folhas em outubro de 2022, no entanto, Raimundo *et al.* (2021, 2017) coletaram as flores e folhas em dezembro de 2015 e Silva *et al.* (2023) no mês de março flores, julho frutos e folhas outubro de 2021. Portanto, houve coletas em períodos distintos para as diferentes partes de *G. integrifolia*, sendo que Raimundo *et al.* (2021, 2017) coletou flores e folhas no mesmo período (Tabela 2), porém, Silva *et al.* (2023) coletou no mesmo período do estudo atual.

Além disso, os fatores de manejo como a poda desse exemplar de *G. integrifolia* utilizado por diferentes pesquisadores há mais de sete anos, pode ter influenciado também na fenologia da planta. A concentração de compostos bioativos em plantas é determinada principalmente por fatores genéticos. No entanto, fatores externos, como as condições climáticas, podem também influenciar a biossíntese desses compostos (Latocha; Lata; Jankowski, 2023).

3.3 Atividade antibacteriana dos óleos essenciais das flores, fruto e folhas de *G. integrifolia*

CIM e CBM foram analisados para as doze bactérias Gram positivas e negativas utilizando como controle positivo a estreptomicina. Os valores da CIM para os OE das flores, folhas e frutos variaram de 2,50 a 10,00 mg.mL⁻¹, para a estreptomicina variaram de 0,001 a 0,09 mg.mL⁻¹ (Tabela 4). Os menores valores de CIM obtidos para o OE das flores foram contra *S. aureus* Newprov, *L. monocytogenes* e *B. cereus*, para as folhas foram *S. aureus* ATCC 29213, *S. aureus* Newprov, *S. sonnei* e *P. aeruginosa* e para os frutos foram *S. aureus* ATCC 29213, *S. aureus* Newprov e *S. sonnei* (Tabela 4).

Para o CBM do OE das flores, folhas e frutos os valores variaram de 2,50 a 5,00 mg.mL⁻¹ (Tabela 4), para estreptomicina variou de 0,04 a 0,34 mg.mL⁻¹. Os menores valores de CBM obtidos para o OE das folhas foram contra *S. aureus* Newprov e *P. aeruginosa*, no entanto, para os OE das flores e frutos todos foram maiores que 10.00 mg.mL⁻¹ contra todas as bactérias analisadas (Tabela 4). Mesmo assim, o ensaio CBM demonstrou ser bacteriostático contra todas as cepas utilizadas, uma vez que inibiu o crescimento das cepas bacterianas selecionadas. O OE dos frutos apresentou um CIM significativo para a cepa Gram-positiva *Staphylococcus aureus* Newprov (Tabela 4), seguida por *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 e para a Gram-negativa *Shigella sonnei*, *E. coli* Newprov e *Pseudomonas aeruginosa*. O OE das flores teve CIM com ação contra a cepa Gram-positiva *Staphylococcus aureus* Newprov, *Bacillus cereus* e *Listeria monocytogenes* e Gram-negativa *Pseudomonas aeruginosa*. No entanto, a CIM está acima do controle positivo comercial, tendo em vista, que o OE é uma mistura de diversos compostos químicos (Tabela 3) e o controle positivo é uma substância pura.

A presença de enxofre em diversas partes de *G. integrifolia* pode conferir a esta espécie propriedades inseticidas e antibacteriana, uma vez que o enxofre é um elemento químico amplamente utilizado para o controle de insetos e fungos, segundo Raimundo *et al.* (2018). Estudos desenvolvidos por Avato *et al.* (2000) com *Allium sativum* L. sugeriram que o dialildissulfeto (contém dois átomos de enxofre por molécula) e dialiltrissulfeto (contém três átomos de enxofre por molécula) presentes no OE, mostraram atividade antibacteriana contra *S. aureus* (25923) (CIM = 0,25 mg.mL⁻¹) e *P. aeruginosa* (CIM = 0,6 mg.mL⁻¹). Sendo mais um estudo relacionando compostos

organossulfurados com atividade antibacteriana, considerando que no OE de *G. integrifolia* tem alta concentração de compostos organossulfurados (Tabela 3), corroboram nos resultados antimicrobianos apresentados.

De acordo com Mann *et al.* (2011), os compostos de enxofre com três átomos de enxofre (trissulfetos) são mais eficazes como inseticidas do que os compostos com dois átomos de enxofre (dissulfetos) ou um átomo de enxofre (monossulfetos). Esta afirmação foi apoiada por um estudo de (Huang; Chen; Ho, 2000), que avaliou o efeito de dois compostos de enxofre no inseto *Sitophilus zeamais*, que ataca o milho.

Sendo assim, a atividade antibacteriana dos OE de *G. integrifolia* pode ser atribuída a uma variedade de compostos químicos presentes na planta, incluindo o dissulfanodiidietanotiol, 2,3,5-tritioexano, lentionina, dimetil trissulfeto e dimetil tetrassulfeto, compostos majoritários organossulfurados presentes no OE das flores, frutos e folhas, com três e quatro átomos de enxofre. Vale destacar, que por ser uma mistura complexa de várias substâncias, outras substâncias presentes nos OE podem agir nessa atividade antibacteriana. Contudo, atividade antibacteriana relatada no presente estudo com o OE das flores, folhas e frutos de *G. integrifolia* sugere ser viável sua utilização, necessitando de mais estudos como atividade antibacteriana *in vivo*. É válido ressaltar que existem poucos trabalhos sobre a atividade antibacteriana de *G. integrifolia*.

Tabela 4: Concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM) de OE de *G. integrifolia* das folhas, frutos e flores e controle positivo estreptomicina.

Bactéria	OE Folha (mg.mL ⁻¹)	OE Fruto (mg.mL ⁻¹)	OE Flor (mg.mL ⁻¹)	Estreptomicina (mg.mL ⁻¹)
	CIM CBM	CIM CBM	CIM CBM	CIM CBM
Gram-positiva				
<i>S. aureus</i> (29213)	2,50 ± 0,00 ^b > 10,00 ^b	4,17 ± 1,44 ^c > 10,00 ^b	10,00 ± 0,00 ^d > 10,00 ^b	0,09 ± 0,05 ^a 0,06 ± 0,05 ^a
<i>S. aureus</i> Newprov (0023)	2,50 ± 0,00 ^d 5,00 ± 0,00 ^b	0,31 ± 0,00 ^b > 10,00 ^d	0,63 ± 0,00 ^c > 10,00 ^d	0,003 ± 0,001 ^a 0,09 ± 0,05 ^a
<i>B. cereus</i> (12228)	5,00 ± 0,00 ^b 5,00 ± 0,00 ^b	10,00 ± 0,00 ^c > 10,00 ^c	5,00 ± 0,00 ^b > 10,00 ^c	0,01 ± 0,00 ^a 0,29 ± 0,19 ^a
<i>S. aureus</i> (25923)	> 10,00 ^c > 10,00 ^b	10,00 ± 0,00 ^b > 10,00 ^b	> 10,00 ^c > 10,00 ^b	0,01 ± 0,00 ^a 0,35 ± 0,25 ^a
<i>L. monocytogenes</i> (7644)	2,50 ± 0,00 ^b 5,00 ± 0,00 ^b	10,00 ± 0,00 ^c > 10,00 ^c	5,00 ± 0,00 ^b > 10,00 ^c	0,01 ± 0,00 ^a 0,34 ± 0,27 ^a
<i>S. epidermidis</i> (12228)	5,00 ± 0,00 ^b > 10,00 ^b	10,0 ± 0,00 ^c > 10,00 ^b	> 10,00 ^d > 10,00 ^b	0,03 ± 0,00 ^a 0,21 ± 0,07 ^a
Gram-negativa				
<i>S. sonnei</i> (25931)	2,50 ± 0,00 ^b > 10,00 ^b	2,50 ± 0,00 ^b > 10,00 ^b	> 10,00 ^c > 10,00 ^b	0,004 ± 0,00 ^a 0,38 ± 0,18 ^a
<i>E. coli</i> Newprov (0022)	> 10,00 ^c 5,00 ± 0,00 ^b	5,00 ± 0,00 ^b > 10,00 ^c	> 10,00 ^c > 10,00 ^c	0,001 ± 0,00 ^a 0,15 ± 0,10 ^a
<i>P. aeruginosa</i> (27853)	2,50 ± 0,00 ^b 5,00 ± 0,00 ^b	5,00 ± 0,00 ^c > 10,00 ^c	10,00 ± 0,00 ^d > 10,00 ^c	0,02 ± 0,03 ^a 0,09 ± 0,05 ^a
<i>S. Typhi</i> (19214)	> 10,00 ^c > 10,00 ^b	10,00 ± 0,00 ^b > 10,00 ^b	> 10,00 ^c > 10,00 ^b	0,01 ± 0,00 ^a 0,09 ± 0,14 ^a
<i>E. coli</i> (25922)	10,00 ± 0,00 ^b > 10,00 ^b	10,00 ± 0,00 ^b > 10,00 ^b	> 10,00 ^c > 10,00 ^b	0,01 ± 0,00 ^a 0,04 ± 0,02 ^a
<i>E. cloacae</i> Newprov (0083)	> 10,00 ^b > 10,00 ^b	> 10,00 ^b > 10,00 ^b	> 10,00 ^b > 10,00 ^b	0,03 ± 0,00 ^a 0,13 ± 0,00 ^a

*As médias seguidas por letras diferentes na mesma linha para CIM ou para CBM diferem pelo Teste de Tukey (diferença significativa) teste ($p \leq 0,05$). *Bacillus cereus*; *Enterobacter cloacae* Newprov; *Escherichia coli*; *Escherichia cloacae* Newprov; *Listeria monocytogenes*; *Pseudomonas aeruginosa*; *Salmonella aureus*; *Staphylococcus aureus*; *Staphylococcus aureus* Newprov; *Staphylococcus epidermidis*; *Staphylococcus sonnei*; *Staphylococcus Typhi*. OE: óleo essencial.

3.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A partir do estudo morfológico e do diâmetro médio das NFs eletrofiadas de EC pura e incorporadas com OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* (Figura 4) foi possível observar a formação de fibras, em escala nanométrica, com diâmetro médio variando de 217 a 250 nm. Além disso, observa-se que tanto na NF de EC pura, quanto nas NFs incorporadas, apresentaram membranas homogêneas, lisas e com poucas e/ou ausência de imperfeições (*beads*).

A NF de EC pura detém um diâmetro médio maior ($250,83 \text{ nm} \pm 9,99$) (Tabela 5) quando comparada com as NFs incorporadas com OE, na qual a NF de EC/OE folha foi a que apresentou a maior variação no diâmetro médio ($217,79 \text{ nm} \pm 8,03$). Isso pode ser causado pelas interações intermoleculares entre os compostos organossulfurados do OE da folha (Tabela 3) e a EC (Liu *et al.*, 2018). Esse fato pode ser diretamente relacionado à interação OE-EC, modificando propriedades importantes, como viscosidade e tensão superficial, levando a alteração no diâmetro médio das fibras, como sugerido por Balaji *et al.* (2016). Estudo recente realizado por Alexandre *et al.* (2025), apresentou resultados sobre interferência no diâmetro das NFs de Ecovio[®] incorporadas com 5 % de OEs da flor, fruto e folha de *G. integrifolia*, revelaram que houve diminuição no diâmetro médio das NFs, sendo $947,66 \text{ nm}$ para NF de Ecovio[®] pura contra $574,86 \text{ nm}$ para NF de Ecovio[®] com OE do fruto e $518,12 \text{ nm}$ para Ecovio[®] com OE da flor, concluindo que a interação físico-química da matriz polimérica com os principais compostos do OE, principalmente, os organossulfurados, influenciou nas mudanças promovidas pelas soluções poliméricas, bem como na formação das fibras. Uma maior condutividade exige uma densidade de carga maior para a formação do jato, resultando em um jato mais fino e, conseqüentemente, em fibras com diâmetro menor (Nataraj *et al.*, 2020; Yu *et al.*, 2021).

Ao contrário do observado por Hosseini *et al.* (2021), que relatou um aumento no diâmetro das fibras de zeína proporcional à concentração de OE de alecrim 10% (v/v, %), constando aumento no diâmetro das NFs de 193 nm para a NF pura para 692 nm para a NF incorporada com OE de alecrim, as NFs de EC contendo OE de *G. integrifolia* mantiveram diâmetros reduzidos (217 - 250 nm). Isso sugere que a interação do OE de *G. integrifolia* com a matriz de EC não comprometeu o estiramento do jato polimérico durante a eletrofição.

Tabela 5. Diâmetro médio das NFs EC pura e incorporada com OE de flores, folhas e frutos de *G. integrifolia*.

NFs	Diâmetro médio da NF (nm)
EC	250,83 ± 9,99 ^a
EC/OE Flor	234,43 ± 4,73 ^b
EC/OE Fruto	234,84 ± 4,58 ^b
EC/OE Folha	217,79 ± 8,03 ^c

Os valores representam a média ± desvio padrão dos OE obtidos. As letras indicam diferença significativa entre os valores pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). EC: etilcelulose, OE: óleo essencial.

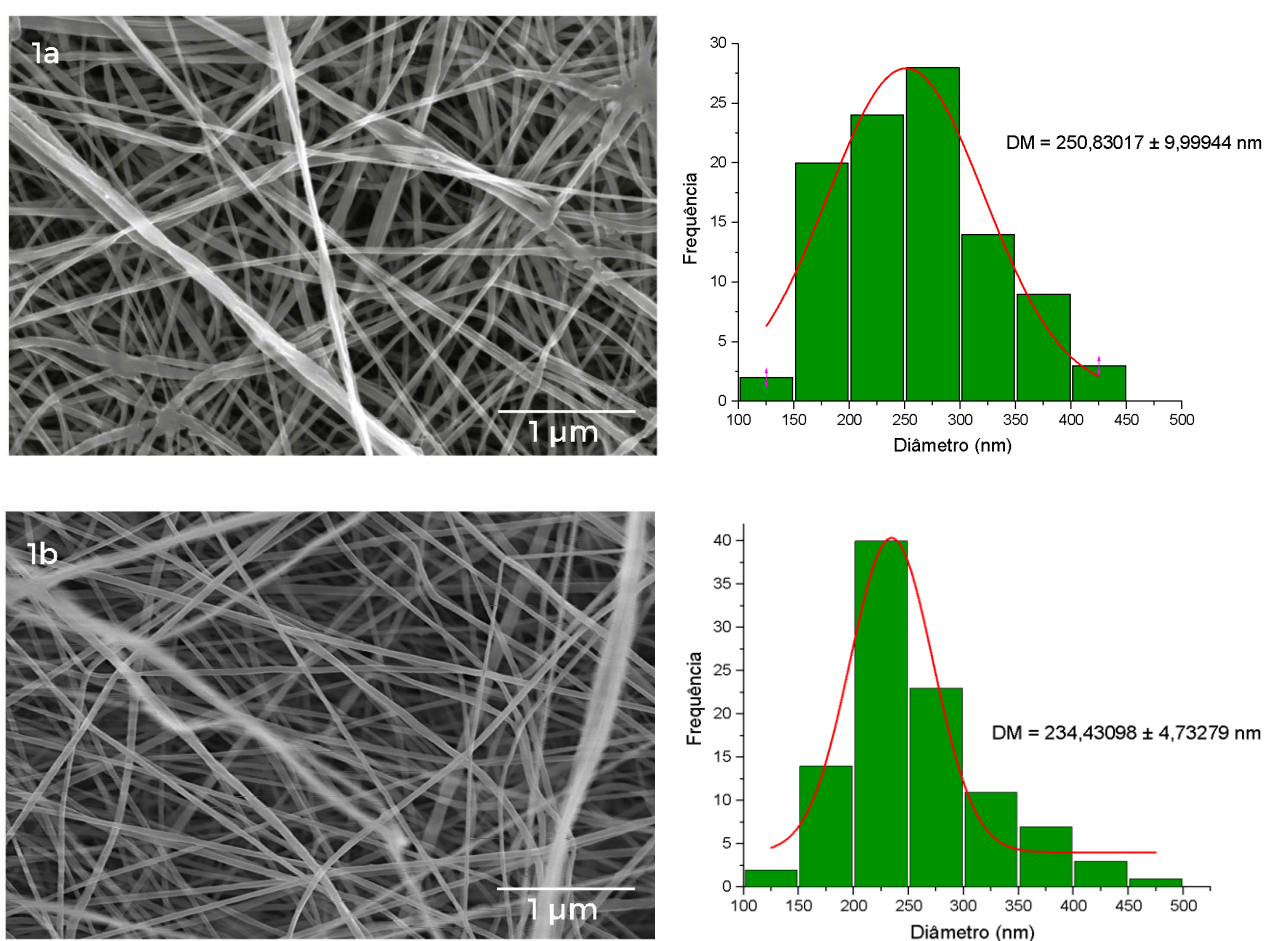


Figura 4: Microscopia eletrônica de varredura e diâmetro médio das NFs: 1a – NF de etilcelulose sem incorporação; 1b - NF incorporada com OE da flor de *Gallesia integrifolia*; 1c - NF incorporada com OE do fruto; 1d - NF incorporada com OE da folha. NF: nanofibra, OE: óleo essencial.

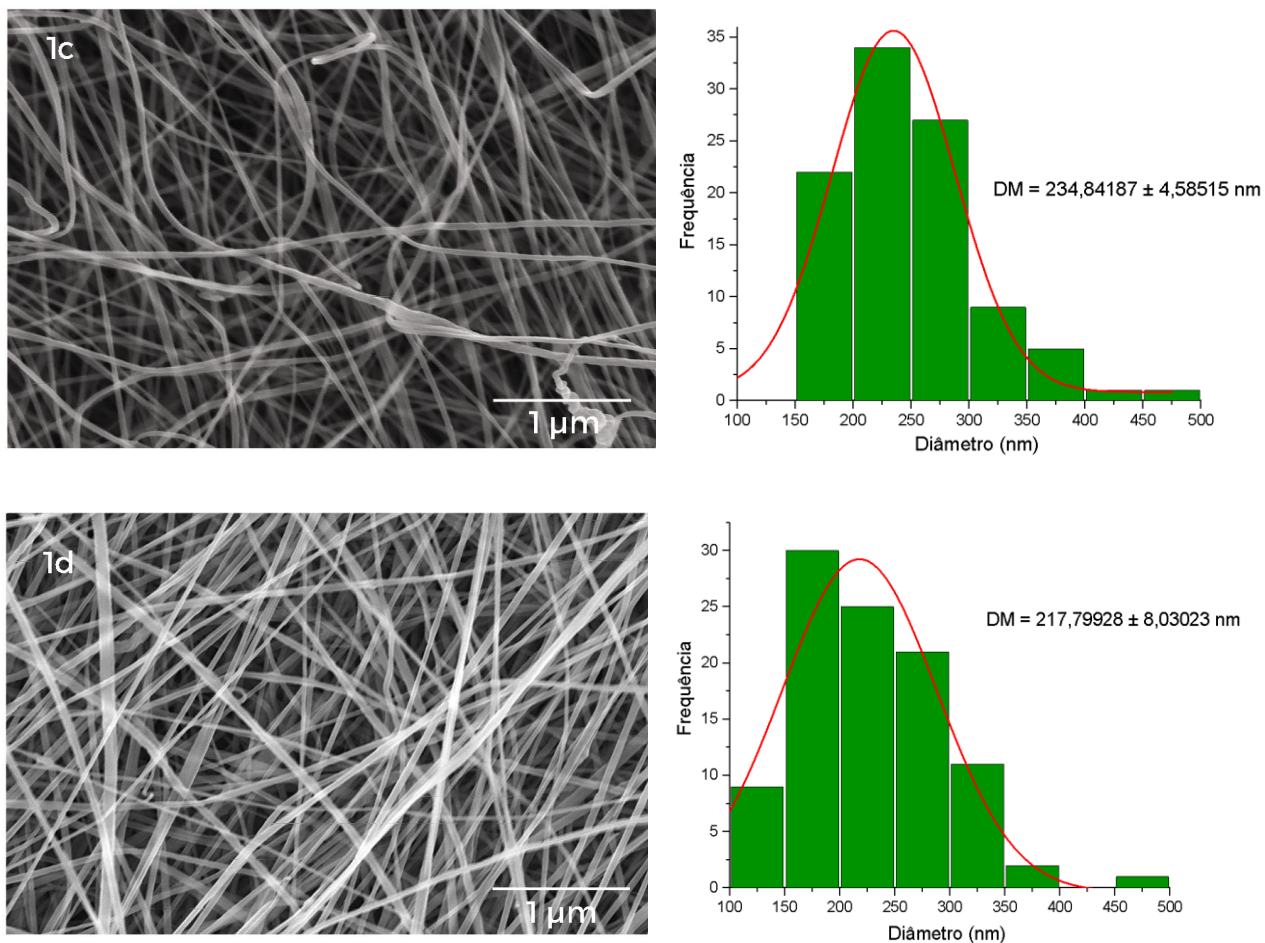


Figura 4 (cont.): Microscopia eletrônica de varredura e diâmetro médio das NFs: 1a – NF de etilcelulose sem incorporação; 1b - NF incorporada com OE da flor de *Gallesia integrifolia*; 1c - NF incorporada com OE do fruto; 1d - NF incorporada com OE da folha. NF: nanofibra, OE: óleo essencial.

3.5 FTIR

Os espectros das NFs eletrofiadas de EC puro e incorporadas com OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* são apresentadas na Figura 5.

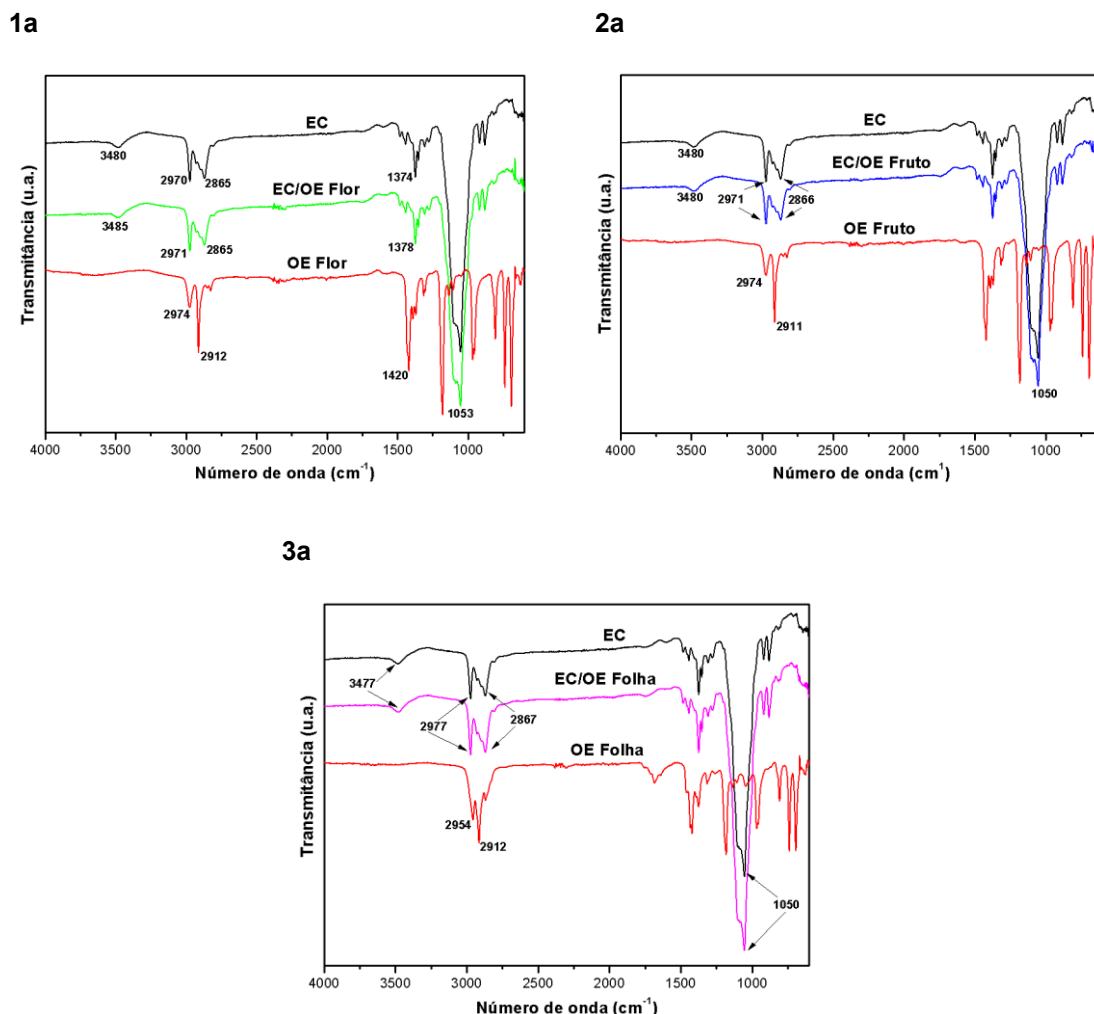


Figura 5: Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das NFs de (EC) etilcelulose pura, 1a (EC/OE Flor) etilcelulose incorporada com óleo essencial da flor, 2a (EC/OE Fruto) etilcelulose incorporada com óleo essencial do fruto e 3a (EC/OE Folha) etilcelulose incorporada com óleo essencial da folha.

Observando a Figura 5 é possível identificar a presença das bandas características da EC. Uma banda em torno de 3500 cm^{-1} , característica do alongamento O-H, na região de $2970 - 2860\text{ cm}^{-1}$, observa-se a presença da vibração de estiramento C-H (alifático). Além disso, são evidenciadas bandas em torno de 1400 e 1100 cm^{-1} , correspondendo ao alongamento C-O-C e ao alongamento C-O, respectivamente (Rashidi *et al.*, 2021; Silverstein, 2005).

As bandas características dos OEs de *G. integrifolia* estão presentes entre $2340-2350\text{ cm}^{-1}$, sendo uma banda fraca do alongamento S-H. Entre $400-500\text{ cm}^{-1}$ estiramento

S-S e entre 1185-1200 cm^{-1} estiramento S=O (Silverstein, 2005), fazendo referência aos compostos encontrados pela análise de CG/SM (Tabela 3).

A análise dos espectros de infravermelho das NFs de EC incorporadas com OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* não revelaram deslocamentos ou alargamentos significativos nas bandas, indicando que o OE possui bandas vibracionais na mesma região que o polímero ou ausência de modificações estruturais significativas da EC durante o processo de eletrofiação das NFs.

3.6 Análises de TGA

As formas de degradação térmica das NFs de EC pura e incorporada com OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* são apresentadas na Figura 6. A primeira fase de decomposição (25 - 150 °C) foi relacionada à perda de teor de água livre e componentes voláteis (Liu *et al.*, 2018). A segunda e principal perda de $\pm 50\%$ do peso aconteceu após 200 °C até 430 °C e está geralmente relacionada à decomposição térmica da estrutura do polímero EC, bem como a decomposição das cadeias moleculares presentes nos OEs incorporados, a carbonização dos componentes ocorreu após a temperatura de 430 °C.

A análise dos termogramas (Figura 6) revela um processo de degradação das membranas em duas fases distintas, embora a temperatura exata de transição entre elas não seja clara. De acordo com Lai *et al.* (2010), a primeira etapa da degradação envolve a oxidação dos grupos éteres da etilcelulose, levando à formação de peróxidos. Em seguida, ocorre a decomposição desses peróxidos, resultando na liberação de aldeídos, álcoois, alquil-hidroperóxidos e outros compostos.

Ao avaliar as curvas termogravimétricas das NFs de EC incorporadas com OE de *G. integrifolia* (Figura 6) a curva EC/OE Flor deslocou o início da degradação para uma temperatura ligeiramente superior à da EC pura (+ 5 °C). Isso sugere uma interação entre a matriz polimérica e o OE, possivelmente criando uma barreira térmica inicial, EC/OE Fruto teve um comportamento muito próximo ao da EC pura, com uma redução na T_{onset} (2 °C a menos), no entanto, nota-se a menor estabilidade térmica entre todos para EC/ OE Folha (Figura 6), observado pelo deslocamento do pico da derivada para menor temperatura (320 °C), como também a diminuição de T_{onset} (294 °C) quando comparado NF de EC pura (324 °C).

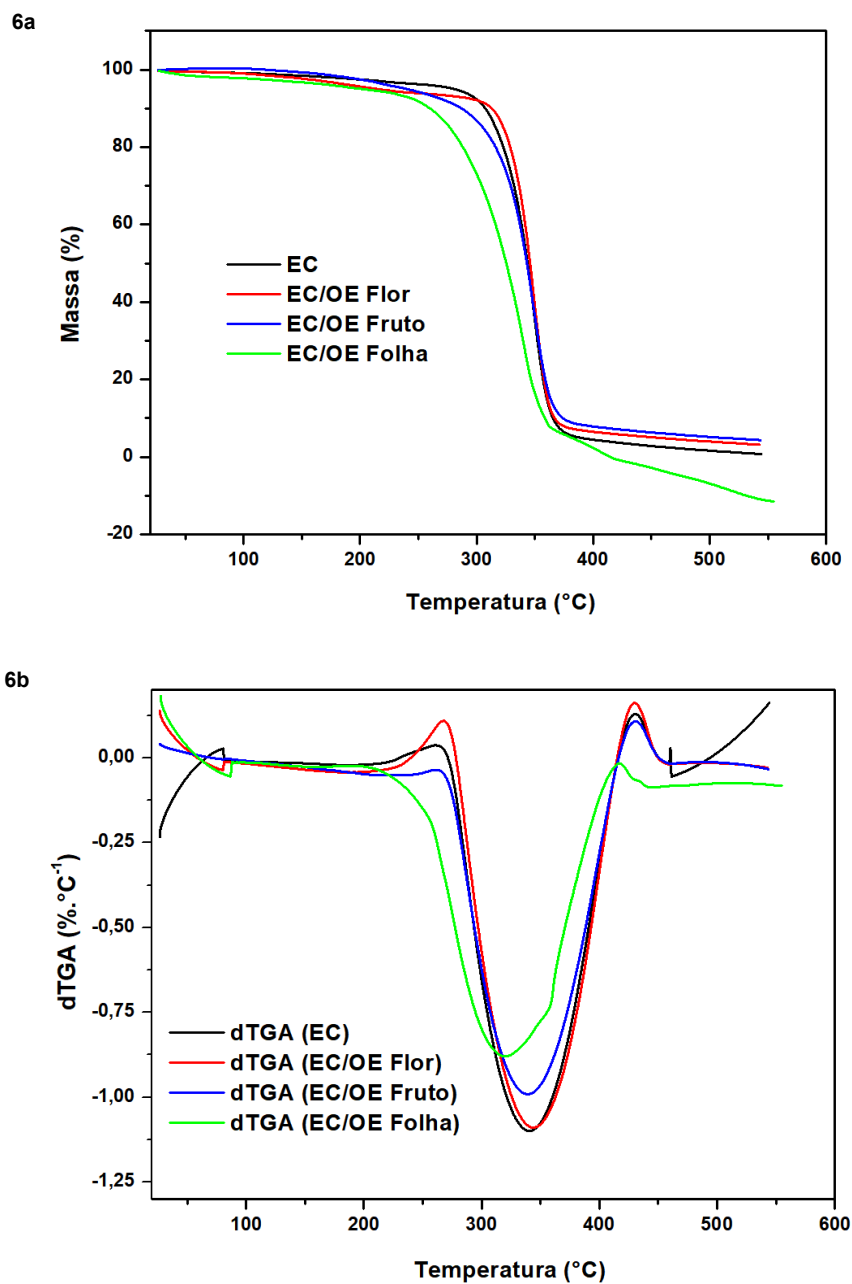


Figura 6: (6a) Análise Termogravimétrica (TGA) das NFs de (EC), (EC/OE Flor) etilcelulose incorporada com OE da flor, (EC/OE Fruto) etilcelulose incorporada com OE do fruto e (EC/OE Folha) etilcelulose incorporada com OE da folha. (6b) Primeira derivada (dTGA) das NFs eletrofiadas.

Este efeito indica que a adição do OE da folha no processo de eletrofição da membrana resulta em um material com maior susceptibilidade à degradação térmica, sugerindo que OE da folha é a variável que favorece a degradação térmica, possivelmente

catalisando o processo de degradação, sugerindo que o OE da folha é provavelmente mais volátil ou interage com a matriz de forma a desestabilizá-la mais cedo.

Beikzadeh *et al.* (2025) incorporaram OE de cominho a NFs eletrofiadas com EC/Mucilagem de semente de sálvia na proporção 85:15 com 10 % em massa de OE, concluindo que a NF incorporada houve uma melhora nas propriedades térmicas (110 - 350 °C; destruição térmica das ligações) contra EC/Mucilagem pura (180 - 350 °C) devido à criação de ligações de hidrogênio entre as moléculas de EC/Mucilagem e OE de cominho que pode causar compactação e uniformidade da estrutura da fibra.

3.7 Análises de DSC

Analisando os termogramas apresentados pela Figura 7, o primeiro pico (1) entre 50 °C a 100 °C está associado a uma perda inicial de água adsorvida no material, bem como volatilização de componentes de baixo peso molecular presentes nos OE. Davidovich *et al.* (2014), realizou repetições da análise de DSC com a EC e ao submeter o material a uma segunda rampa de aquecimento, o pico endotérmico nesta faixa de temperatura deixou de ser observado, comprovando essa associação com a perda de água.

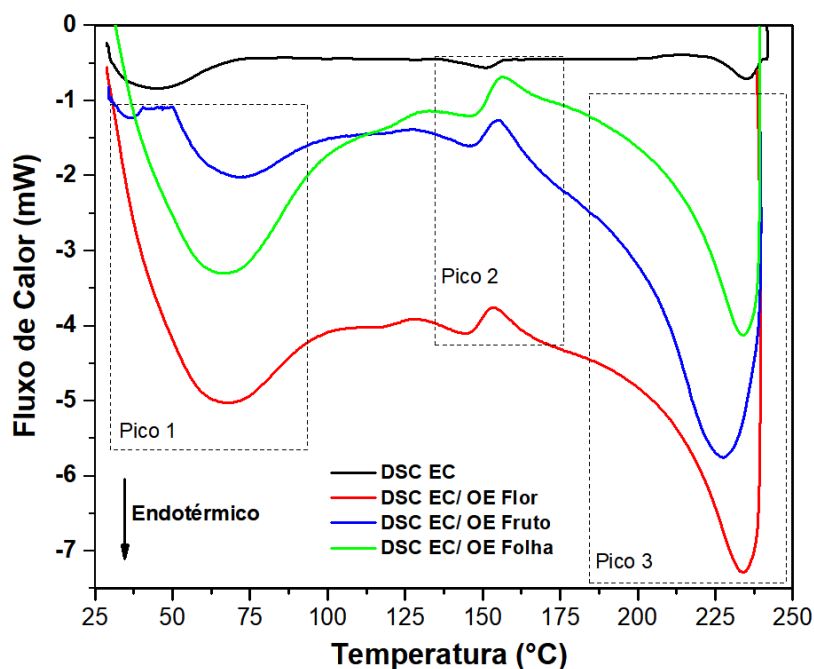


Figura 7: Análise Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) das NFs de (EC) etilcelulose pura, (EC/OE Flor) etilcelulose incorporada com óleo essencial da flor, (EC/OE Fruto) etilcelulose incorporada com óleo essencial do fruto e (EC/OE Folha) etilcelulose incorporada com óleo essencial da folha.

O pico (2) em 152 °C e o pico (3) em 235,30 °C para EC pura (Tabela 6) podem estar associados sua fusão. A faixa de fusão, em torno de 180 °C, e o comportamento da EC apresentam incertezas, uma vez que suas propriedades físico-químicas são fortemente influenciadas pelo grau de substituição ao longo da cadeia polimérica (Figura 2). Embora esse evento possa estar associado à temperatura de fusão do material, a possibilidade de uma reação de pirólise concomitante torna a natureza exata dessa transição pouco clara na literatura (Lai *et al.*, 2010). Sendo a EC classificada como um material majoritariamente amorfo, é reconhecido que este polímero é passível de apresentar propriedades de cristais líquidos. Os resultados de Basta *et al.* (2021) indicam que a EC possui a capacidade de formar tanto fases liotrópicas, isto é, formadas pela interação entre moléculas anfífilas e um solvente sendo a concentração o fator determinante, quanto fases termotrópicas, ou seja, formadas por moléculas que possuem uma forma característica e a temperatura é o fator que induz a formação das diferentes fases. Os dois picos endotérmicos observados na análise por DSC corroboram essa afirmação, sugerindo a ocorrência de transições de fase relacionadas à formação de mesofases (fase líquido-cristalina). A temperatura de transição vítrea (T_g) para EC pura ocorre na faixa de 120 a 135 °C, como é considerada um material com elevada rigidez e, devido a isso, a mudança na linha de base do termograma é relativamente sutil, o que dificulta a detecção desta transição (Lai *et al.*, 2010; Basta *et al.*, 2021). Para a NF de EC pura eletrofiada a T_g ficou em torno de 130 °C.

Foram calculadas as energias envolvidas para cada NF nos eventos principais que podem estar associados à fusão do polímero, a temperatura de fusão (T_m) foi determinada pelo ponto máximo do pico (3), onde a taxa de absorção de calor é máxima e a entalpia de fusão (ΔH_m) foi calculada pela integração da área do pico (3). Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 6, onde é possível visualizar um aumento na entalpia de fusão das NFs.

Tabela 6. Entalpias de fusão das NFs EC pura e incorporada com OE de flores, folhas e frutos de *G. integrifolia*.

NFs	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)
EC	235,30	-1,90
EC/OE Flor	234,00	-4,54
EC/OE Fruto	227,12	-3,53
EC/OE Folha	233,68	-4,63

T_m – temperatura de fusão; ΔH_m – entalpia de fusão; (EC) etilcelulose pura, (EC/OE Flor) etilcelulose incorporada com óleo essencial da flor, (EC/OE Fruto) etilcelulose incorporada com óleo essencial do fruto e (EC/OE Folha) etilcelulose incorporada com óleo essencial da folha.

O DSC das NFs incorporadas com OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* (Figura 7) foi possível observar o pico (2) (146 °C), pico exotérmico bem definido nesta região. Isso indica o fenômeno de cristalização, onde os OE atuam como agentes nucleantes ou plastificantes, dando mobilidade às cadeias poliméricas para se organizarem em cristais antes da fusão (Rashidi *et al.*, 2021).

A incorporação dos OE de *G. integrifolia* causou redução da T_m , sendo para EC pura 235,30 °C contra EC/OE Flor 234 °C, EC/OE Fruto 227,12 °C e EC/OE Folha 233,68 °C, a queda acentuada na T_m do Fruto indica um forte efeito plastificante, sugerindo que o OE penetrou, principalmente, os compostos organossulfurados (Tabela 3), entre as cadeias poliméricas, aumentando o volume livre e reduzindo as forças intermoleculares, o que permite que a NF funda a uma temperatura menor. Concomitantemente, observa-se um aumento na entalpia de fusão das NFs incorporadas, quando comparado a NF de EC pura. Esse acréscimo na entalpia sugere um aumento na cristalinidade do material, uma vez que estruturas cristalinas, caracterizadas por um arranjo molecular altamente ordenado, exigem maior quantidade de energia para a ruptura das ligações intermoleculares durante a fusão. Em contrapartida, materiais amorfo, com estrutura desorganizada, apresentam menor energia de fusão devido à menor quantidade de interações a serem rompidas (Canevarolo, 2017).

3.8 Análises de EDX

A utilização da EDX como ferramenta analítica foi crucial para confirmar a composição elementar de superfície das NFs de EC incorporadas com OE de *G. integrifolia*. Os resultados obtidos, evidenciados na Tabela 7, demonstraram que o carbono é o elemento predominante, alinhado com a estrutura química esperada para este polímero. Os resultados demonstram que o carbono é o elemento predominante (com teores que variam de aproximadamente 94,7% a 99,2% nas amostras citadas), o que está em total conformidade com a estrutura química esperada para a etilcelulose.

Tabela 7. Resultados dos teores elementares das NFs EC incorporadas com OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia*.

Elemento Químico	Proporção (%)			
	EC	EC/OE Flor	EC/OE Fruto	EC/OE Folha
Al	0,478 ± 0,18	1,714 ± 0,33	0,098 ± 0,01	0,084 ± 0,01
S	0,039 ± 0,00	3,023 ± 0,25	3,335 ± 0,00	2,448 ± 0,00
Ca	0,227 ± 0,00	0,269 ± 0,04	0,008 ± 0,00	0,008 ± 0,00
Ag	0,011 ± 0,00	--	0,008 ± 0,00	--
Fe	0,006 ± 0,00	0,063 ± 0,00	0,004 ± 0,00	0,004 ± 0,00
Sm	0,006 ± 0,00	--	0,010 ± 0,00	--
Cu	0,005 ± 0,00	0,036 ± 0,00	0,004 ± 0,00	0,004 ± 0,00
Cr	0,004 ± 0,00	0,038 ± 0,00	0,003 ± 0,00	0,003 ± 0,00
Mo	0,003 ± 0,00	--	--	0,003 ± 0,00
Zn	--	--	0,002 ± 0,00	0,001 ± 0,00
C	99,21	94,730	96,515	97,384
	99,989	99,873	99,987	99,939

*EC: etilcelulose, OE: óleo essencial, NFs: nanofibras.

A identificação dos elementos químicos presentes nas superfícies das NFs incorporadas com OE da flor de *G. integrifolia* indicou uma predominância de enxofre (3.023%) (Tabela 7), sugerindo a presença significativa de compostos organossulfurados (Tabela 3) nestas NFs. Esses resultados sugerem que os compostos sulfurados presentes no OE da flor foram eficientemente incorporados à matriz da NF. Os teores de enxofre nas NFs incorporadas com os OEs do fruto (3,335%) e da folha (2.448%) (Tabela 7) também evidenciaram a absorção dos compostos presentes nesses OEs, embora em menor proporção. Esses dados corroboram com os obtidos pelo CG/EM (Tabela 3), no qual apresentou para o OE da flor, fruto e folha o composto organossulfurado 2,2-dissulfanodiildietanotiol como majoritário, o mesmo majoritário também relatado por Silva *et al.* (2023).

Kilic *et al.* (2023) demonstraram a eficácia da espectroscopia EDX para mapear a distribuição espacial de aditivos funcionais em nanofibras eletrofiadas, utilizando um elemento marcador específico (Fe) para diferenciar entre deposição superficial e encapsulamento no núcleo da fibra. Validando a técnica para confirmar a retenção de aditivos sensíveis em matrizes poliméricas, diferenciando uma mistura física simples de uma incorporação estável, corroborando com o presente trabalho, na qual a sua detecção de enxofre em alta quantidade (de ~0,04% para ~3,3%) prova que os compostos voláteis não foram totalmente evaporados durante o processo de eletrofiação.

3.9 Análise mecânica

Os ensaios de resistência a tração para as NFs de EC pura e incorporadas com os OEs de *G. integrifolia* estão representados na Tabela 8, com os valores de resistência a tração, alongamento na ruptura e módulo de elasticidade.

Tabela 8. Parâmetros obtidos a partir das análises mecânicas das NFs.

NFs	(σ) (Mpa)	(ϵ) (%)	Módulo de Elasticidade (Mpa)
EC	1,40 ± 0,08	9,29 ± 0,17	60,30 ± 1,67
EC/OE Flor	2,29 ± 0,22	21,05 ± 2,78	46,06 ± 6,08
EC/OE Fruto	2,17 ± 0,12	10,67 ± 0,35	84,32 ± 1,43
EC/OE Folha	1,91 ± 0,13	12,47 ± 1,01	40,06 ± 0,75

σ – Tensão de ruptura em Mpa; ϵ - Alongamento em %; Módulo de elasticidade em Mpa (Trinca *et al.*, 2017). *EC: etilcelulose, OE: óleo essencial, NFs: nanofibras.

As características mecânicas da NFs de EC incorporadas com OE de *G. integrifolia* foram alteradas significativamente com relação a NF de EC pura. A incorporação do OE da flor levou ao aumento da resistência mecânica da NF, $\sigma = 2.29 \pm 0.22$ MPa, contra $\sigma = 1.40 \pm 0.08$ MPa da EC pura, houve também um aumento no alongamento com $\epsilon = 21.05 \pm 2.78$ %, contra $\epsilon = 9.29 \pm 0.17$ %, respectivamente. O que deixa a NF de EC/OE flor mais dúctil, ou seja, pode ser deformada plasticamente em maior extensão antes de romper e geralmente mais fácil de moldar e processar. Com relação ao módulo elasticidade a NF com OE da flor diminuiu (46.06 ± 6.08 Mpa), deixando a NF menos rígida com relação a NF de EC pura (60.30 ± 1.67 Mpa). Na comparação da NF incorporada com OE do fruto somente o módulo elasticidade variou significativamente (84.32 ± 1.43 Mpa) com relação a NF de EC pura, deixando a fibra mais rígida e mais resistentes a deformações permanentes. Já para a NF com OE da folha houve um pequeno aumento na resistência mecânica com $\sigma = 1.91 \pm 0.13$ Mpa e no alongamento com $\epsilon = 12.47 \pm 1.01$ %, no entanto, a NF perdeu em rigidez e resistência a deformações com módulo elasticidade em 40.06 ± 0.75 Mpa.

De modo geral, todas as NF incorporadas com OE de *G. integrifolia* houve um aumento na resistência mecânica, mostrando um aumento nas interações intermoleculares entre as cadeias poliméricas da EC e os compostos presentes em cada OE incorporado,

principalmente os organossulfurados (57,14 % Flor, 48,38 %, Folha, 66,66 % Fruto - Tabela 3). A redução acentuada no módulo de elasticidade observada nas amostras com OE da Flor e folha (Tabela 8) é consistente com o efeito plastificante relatado por Atarés e Chiralt. (2016), onde componentes de baixo peso molecular se intercalam nas cadeias poliméricas, reduzindo as forças intermoleculares e aumentando a ductilidade do material. Estudo realizado por Alexandre *et al.* (2025), apresentou NFs eletrofiadas com Ecovio® incorporadas com OEs da flor, fruto e folha de *G. integrifolia*, revelaram aumento na resistência mecânica para todas as NFs incorporadas com OE, bem como aumento no alongamento, propondo que a adição do OE modificou as propriedades mecânicas das NF com relação a NF com Ecovio® pura.

Com esses resultados obtidos, as NFs incorporadas têm resistência mecânica suficiente para suportar a força aplicada a elas e possivelmente podem ser usadas como curativos para feridas (Zuman *et al.*, 2011).

3.10 Ângulo de contato com a água

A hidrofiliabilidade da membrana, ou seja, sua capacidade de interagir com a água, é um fator determinante em diversas aplicações biomédicas. Essa propriedade pode influenciar significativamente a liberação controlada de fármacos e a interação das células com o material, como a adesão e o crescimento (Zhu *et al.*, 2019). Ângulos de contato inferiores a 90° denotam alta molhabilidade, ao passo que valores superiores a 90° caracterizam baixa molhabilidade (Yuan *et al.*, 2013).

A molhabilidade da superfície das NFs de EC pura e incorporada com OE de *G. integrifolia* foi estudada pela medição do ângulo de contato com a água. De acordo com Tabela 9, a incorporação do OE da flor e do fruto levou a diminuição gradual nos valores do ângulo de contato entre 0 segundos com $133,85 \pm 4,95^\circ$ e $123,70 \pm 3,04^\circ$, respectivamente, e 900 segundos com $83,63 \pm 11,84^\circ$ e $107,40 \pm 2,26^\circ$, respectivamente, sendo que a NF de EC pura iniciou em $132,85 \pm 4,31^\circ$ e terminou em $117,80 \pm 6,86^\circ$, permanecendo praticamente constante, pois apresenta características hidrofóbicas. Esse comportamento demonstra uma alteração na molhabilidade da superfície da NF, bem como seu caráter hidrofílico, sugerindo que os compostos organossulfurados do OE de *G. integrifolia* podem estar interagindo na superfície da NF. Para a NF de EC incorporada

com OE da folha o ângulo de contato permaneceu basicamente constante durante todo o teste iniciando com $119,55 \pm 0,49^\circ$ e terminando com $111,93 \pm 7,20^\circ$, no entanto, iniciou-se com ângulo de contato mais baixo entre as NFs incorporadas, mostrando ter alterações na molhabilidade da superfície da NF e aumentando a tendência da NF em absorver água.

Tabela 9. Ângulo de contato das NFs de EC pura e incorporadas com OE de *G. integrifolia*.

NFs	Ângulo de Contato (°)				
	0s	120s	300s	600s	900s
EC	$132,85 \pm 4,31$	$128,65 \pm 0,57$	$124,40 \pm 1,91$	$122,50 \pm 0,85$	$117,80 \pm 6,86$
EC/OE Flor	$133,85 \pm 4,95$	$111,60 \pm 2,90$	$93,98 \pm 6,47$	$88,95 \pm 7,35$	$83,63 \pm 11,84$
EC/OE Fruto	$123,70 \pm 3,04$	$120,00 \pm 3,54$	$118,35 \pm 1,63$	$116,93 \pm 2,16$	$107,40 \pm 2,26$
EC/OE Folha	$119,55 \pm 0,49$	$114,63 \pm 7,46$	$116,70 \pm 4,72$	$112,80 \pm 0,61$	$111,93 \pm 7,20$

*EC: etilcelulose, OE: óleo essencial, NFs: nanofibras.

Li *et al.*, (2018) relataram ângulos de contato com a água superiores a 120° para membranas contendo o polímero EC. Wang *et al.*, (2013) obtiveram resultados semelhantes, identificando ângulos de contato entre 138° e 151° . Os resultados permitem observar que todas as NFs exibiram ângulos de contato maiores que 90° , indicando que não houve significativa molhabilidade da superfície, o que atribui aos materiais um caráter altamente hidrofóbico. Contudo, as incorporações dos OE de *G. integrifolia* alteraram a interação da água com a superfície das NFs eletrofiadas. Alexandre *et al.* (2025), apresentou para NFs eletrofiadas com Ecovio® incorporadas com OEs da flor, fruto e folha de *G. integrifolia* resultados semelhantes, no qual o ângulo de contato da NF com OE da folha e fruto houve redução, com médias de $125,66^\circ$ e $127,39^\circ$, respectivamente, contra $133,65^\circ$ de média para a NF pura, relatando que a hidrofobicidade modificou com as incorporações. Para a NF incorporada com OE da flor a média foi de $133,16^\circ$, ou seja, próxima da NF pura, se aproximando dos resultados do presente trabalho.

3.11 Grau de intumescimento e perda de massa

O grau de intumescimento representa a capacidade de uma NF absorver um líquido e aumentar seu volume, enquanto que a perda de massa das NFs corresponde à

quantidade de material que é perdida pela NF ao longo do tempo, geralmente devido à dissolução em um líquido ou degradação. A Figura 8 apresenta os resultados para essas duas análises após 24 horas de teste em água com a NF de EC pura e incorporadas com os OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia*.

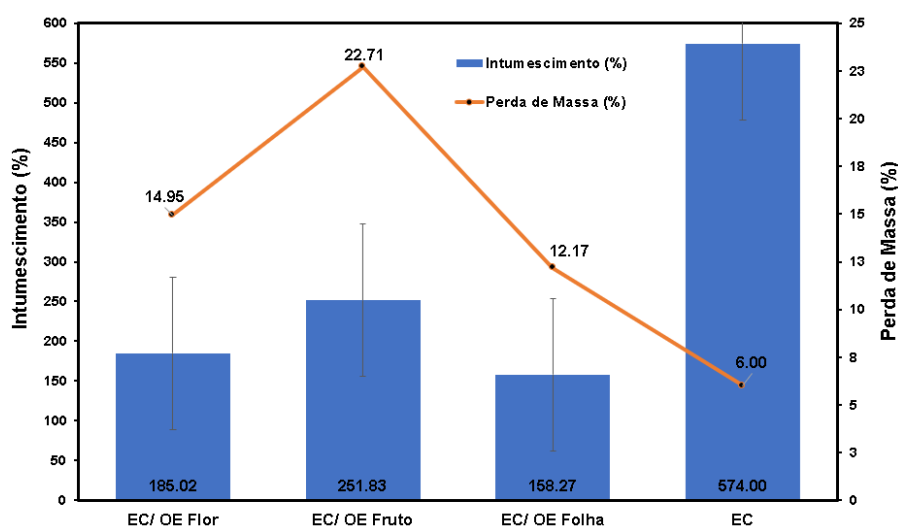


Figura 8: Grau de intumescimento e perda de massa das NFs de (EC) etilcelulose pura, (EC/OE Flor) etilcelulose incorporada com óleo essencial da flor, (EC/OE Fruto) etilcelulose incorporada com óleo essencial do fruto e (EC/OE Folha) etilcelulose incorporada com óleo essencial da folha.

Os resultados apresentados na Figura 8 mostram que o intumescimento das NFs de EC incorporadas com OE de *G. integrifolia* reduziram frente a NF de EC. A NF com OE da folha apresentou o menor intumescimento de todos (156,27%) e uma perda de massa intermediária (12,17%), análise cromatográfica (Tabela 3) revela que o OE da folha possui uma concentração de fitol (15,85%) muito superior à das outras partes (Fruto: 0,56%; Flor: 1,91%), sendo um álcool diterpênico de cadeia longa, altamente hidrofóbico, sugere que esse composto e os organossulfurados (48,38 %) criaram uma barreira eficaz contra a água, refletindo no ângulo de contato apresentado pela NF.

O EC/OE fruto teve um intumescimento baixo (251,03%), mas destaca-se pela maior perda de massa (22,71%) entre todas as amostras. Apresentou, segundo a Tabela 3 maior concentração de compostos organossulfurados (66,66%), como o 2,2-Dissulfanodiildietanotiol e o 2,3,5-Tritiahexano, essa alta carga desses compostos pode ter desestabilizado a integridade da matriz de EC. A amostra EC/OE flor apresentou intumescimento de 185,02% e uma perda de massa de 14,95%, mesmo com a entrada da

água (ângulo $< 90^\circ$ - Tabela 9), a fibra não absorveu água, isso sugere que a penetração da água resultou mais no arraste de compostos (solubilização/erosão) do que na hidratação das cadeias poliméricas (Ghorbani *et al.*, 2021). As NFs incorporadas podem ter modificado a superfície das NFs de EC pela presença de seus compostos organossulfurados, principalmente, os voláteis (Tabela 3), deixando-as menos porosas e mais suscetíveis a degradação (Aydogdu *et al.*, 2017)

De forma geral as NFs incorporadas apresentaram uma redução no grau de intumescimento o que minimiza sua deformação e contribui para uma maior rigidez e resistência mecânica, ficando de acordo com os testes de análise mecânica das NFs. O aumento na perda de massa das NFs sugere uma degradação gradual do material e uma possível liberação controlada dos compostos dos OE incorporados.

3.12. Atividade antibacteriana das Nanofibras

A Tabela 10 apresenta a atividade antibacteriana das NFs de EC incorporadas com OE da flor, fruto e a folha de *G. integrifolia*, tem em vista avaliar a eficácia antibacteriana destas NFs contra duas bactérias importantes, *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) e *Escherichia coli* (ATCC 25922). *Staphylococcus aureus* é agente etiológico de múltiplas infecções. A taxa de efeito bacteriano nestes quadros varia de 12,5% a 75,6%, sendo influenciada diretamente pela especificidade farmacológica, duração da intervenção e frequência do acompanhamento laboratorial subsequente (Bryan *et al.*, 2016), já a patogênese de *E. coli* baseia-se na sua capacidade de um microrganismo comensal (habitante normal do intestino) para um patogénico, através da aquisição de genes de virulência (Alhadlaq *et al.*, 2024).

A atividade foi medida por meio da absorbância (ABS) e da relação percentual entre Relação Controle/tTratamento (RC/Tr %), com coletas realizadas em períodos de 24 e 48 horas. Os resultados comparam diretamente as NFs incorporadas com o desempenho de um controle de Estreptomicina, demonstrando as diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. A maior eficácia foi indicada pelo valor mais negativo da RC/Tr (%).

Tabela 10. Absorbância (ABS) e relação controle (+) / tratamentos (RC/Tr %) da atividade antibacteriana das nanofibras de etilcelulose (EC) incorporadas com óleo essencial (OE) de *G. integrifolia* da flor, fruto e folha e controle estreptomicina.

Bactéria		EC	EC/OE Flor	EC/ OE Fruto	EC/ OE Folha	Estreptomicina
		ABS RC/Tr (%)	ABS RC/Tr (%)	ABS RC/Tr (%)	ABS RC/Tr (%)	ABS RC/Tr (%)
<i>S. aureus</i> (29213)	24 h	31,31 ^a	51,88 ^b	13,11 ^c	-1,96 ^d	-18,86 ^e
	48 h	156,63 ^a	-17,26 ^c	31,50 ^b	-55,50 ^c	-2,83 ^d
<i>E. coli</i> (25922)	24 h	17,20 ^a	-19,70 ^c	-39,10 ^d	-38,18 ^d	-27,40 ^b
	48 h	1,80 ^a	-45,14 ^b	-56,11 ^c	-66,00 ^d	-58,29 ^c

As médias seguidas por letras diferentes na mesma linha para RC/Tr diferem pelo HSD de Tukey (diferença significativa) teste ($p \leq 0,05$). *Escherichia coli*; *Staphylococcus aureus*. EC: etilcelulose, OE: óleo essencial.

A análise da atividade antibacteriana demonstrou que a incorporação dos OEs de *G. integrifolia* conferiu às NFs de EC propriedades inibitórias distintas, dependendo da parte da planta utilizada e do microrganismo testado. Para a bactéria *S. aureus*, observou-se uma progressão significativa na eficácia entre 24 e 48 h, com destaque para EC/OE Folha que apresentou o desempenho mais robusto, com eficácia de -55,50 % em 48 h, ou seja, menor crescimento bacteriano. A NF com OE da folha superou estatisticamente a Estreptomicina que em 48 h teve -2,83 % de inibição, sugerindo que a liberação dos compostos ativos da folha pela matriz polimérica é altamente eficaz contra esta cepa. Em seguida, para o EC/OE Flor em 48 h teve uma eficácia de inibição de -17,26%, superando também a Estreptomicina. A NF de EC pura apresentou o maior crescimento (156,63 %), confirmando que o polímero isolado não possui atividade intrínseca contra *S. aureus*.

O OE da folha (Tabela 3), rico em fitol (15,85 %), apresentou a menor Concentração Inibitória Mínima (2,50 mg.mL⁻¹) (Tabela 4) para a cepa *S. aureus* (29213), confirmando sua efetividade frente a cepa. Os OEs do fruto e da flor, que possuem pouco fitol, necessitaram de concentrações maiores (4,17 mg.mL⁻¹ e 10,00 mg.mL⁻¹, respectivamente) para obter efeito inibitório, isso refletiu na atividade antibacteriana das NFs incorporadas. O fitol é conhecido por sua capacidade de interagir com as membranas lipídicas das bactérias, aumentando sua permeabilidade e facilitando a entrada de outros compostos ativos, o que pode explicar o sinergismo com os organossulfurados presentes nos OEs de *G. integrifolia* (Islam *et al.*, 2021).

Para *E. coli* os tratamentos EC/OE Folha (-66,00 %) e EC/OE Fruto (-56,11 %) não apresentaram diferença estatística significativa entre si ou em relação à Estreptomicina (-58,29%) no período de 48h, revelando maior eficácia contra essa cepa, isso indica que tanto o fruto quanto a folha de *G. integrifolia* possuem fitoquímicos capazes de permear a membrana externa da *E. coli*, com a nanofibra atuando como um sistema de entrega eficiente ao longo do tempo. A NF com OE da flor também apresentou eficácia (-45,14 %), evidenciando que os compostos bioativos presentes nesses OEs realmente foram incorporados as NFs e agiram de forma efetiva na inibição dessa cepa.

A análise química revela que a maior parte da composição química dos OEs de *G. integrifolia* é formada por compostos organossulfurados (Tabela 3), representando 61,53 % nas flores, 55,55 % nas folhas e 72,72 % nos frutos. O composto majoritário em todas as partes é o 2,2-dissulfanodiildietantiol, com áreas relativas que variam de 46,64% a 58,18%. Compostos químicos organossulfurados como lentionina (0,58 %, 0,44 %, 0,42 % OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia*, respectivamente) (Tabela 3) e dimetil trissulfeto (0,26 %, 0,19 %, 0,47 % OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia*, respectivamente) foram reportados com potencial agente anti-inflamatório (Bortolucci *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023), o dimetil trissulfeto em especial, foi relatado como opção de tratamento complementar para dor neuropática (Dombi *et al.*, 2021). A presença desses compostos é fundamental para a atividade biológica observada nas nanofibras. Ambos os compostos compartilham a característica de serem pequenas moléculas hidrofóbicas, o que permite que elas atravessem a barreira lipídica da bactéria sem a necessidade de transportadores específicos (Wu *et al.*, 2023; Zheng *et al.*, 2022).

O composto dimetil tetrassulfeto presente no OE da flor (0,22%), fruto (0,22 %) e, principalmente, na folha (6,93%) tem potente atividade antimicrobiana contra patógenos clinicamente relevantes, agindo no rompimento da membrana plasmática de *S. aureus* e promovendo estresse oxidativo com a presença de grupo sulfeto (S -S) como mecanismo primário. Já *E. coli*, age de forma primária com inibição enzimática interferindo em enzimas-chave da respiração celular, bloqueando, por exemplo, a produção de adenosina trifosfato (ATP) (Xu *et al.*, 2024).

Estudos realizados por Alexandre *et al.* (2025), produziram NF de Ecovio® eletrofiadas com OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia*, na proporção de 5 % (m/m) em relação a massa do polímero, os testes de atividade antimicrobiana foram realizados

contra as cepas *S. aureus*, *Candida albicans* e *Pseudomonas aeruginosa*, revelando maior inibição por crescimento de unidades formadoras de colônias para *C. albicans* e *P. aeruginosa*, confirmando a potente atividade antifúngica de *G. integrifolia* e apresentando dados inéditos sobre a ação dos OEs dessa planta incorporados em nanofibras eletrofiadas.

O composto bioativo majoritário para os OEs da flor, fruto e folhas de *G. integrifolia* 2,2-dissulfanodiildietantiol (Tabela 3) é um composto orgânico de enxofre que contém tanto uma ligação dissulfeto (S-S) quanto grupos funcionais tiol (-SH) e apresenta na literatura poucos estudos. Silva *et al.* 2023 identificou como majoritário o 2,2-dissulfanodiildietantiol nos OEs da flor, fruto e folhas de *G. integrifolia*, confirmando atividade anti-inflamatória nos OEs da folha e fruto, no entanto, a ação bioativa desse composto em específico requer mais estudos que possam correlacionar com sua possível ação antibacteriana.

4. Conclusões

A eletrofiação se mostrou uma técnica eficiente para a produção de NFs de EC incorporadas com o OE da flor, fruto e folha de *G. integrifolia*, propiciando a formação de fibras uniformes, em escala nanométrica, com diâmetro médio entre 217 a 250 nm. O MEV revelou a formação de fibras com diâmetros nanométricos e morfologia homogênea. A análise por FTIR indicou a presença das bandas características da EC e dos OEs, sugerindo a interação entre os componentes. A de TGA demonstrou que a incorporação dos OEs influenciou a estabilidade térmica das NFs, enquanto o DSC indicou alterações nas propriedades térmicas e na cristalinidade e o EDX evidenciou a presença do elemento enxofre característico dos OEs de *G. integrifolia*. Os testes mecânicos revelaram que a incorporação dos OEs alterou as propriedades mecânicas das NFs, com aumento da resistência e ductilidade. Os testes de ângulo de contato demonstraram que a incorporação dos OEs modificou a hidrofobicidade das superfícies das NFs. Além disso, os testes de intumescimento e perda de massa indicaram que as NFs incorporadas apresentaram menor grau de intumescimento e maior perda de massa, sugerindo uma possível liberação controlada dos compostos dos OEs.

A atividade antibacteriana apresentada pelas NFs incorporadas com os OEs demonstrou que a incorporação do OE de *G. integrifolia* constitui uma estratégia promissora para o desenvolvimento de novos agentes antibacterianos, permitindo que os compostos voláteis presentes nos OEs a partir das nanofibras exercessem atividade inibitória contra patógenos de relevância clínica. Nossa pesquisa visa trazer mais dados científicos que possam destacar os benefícios dessa espécie. Apesar dos resultados promissores, investigações adicionais *in vivo* e estudos de citotoxicidade prolongada são fundamentais para validar a segurança e a eficácia desta espécie como agente terapêutico em sistemas de liberação controlada.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil - Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares (CAPES-PROSUP) pela bolsa e a Universidade Paranaense, UniCesumar e Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Toledo pelo financiamento de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. 4. ed. San Antonio, Texas: Allured Business Media, 2017.
- AHMADI, P., JAHANBAN-ESFAHLAN, A., AHMADI, A., TABIBIAZAR, M., & MOHAMMADIFAR, M. Development of ethyl cellulose-based formulations: a perspective on the novel technical methods. **Food Reviews International**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 685-732, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1741005>.
- AKISUE, M. K.; AKISUE, G.; OLIVEIRA, F. Caracterização farmacognóstica de pau d'elho: *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 166-182, 1986.
- ALEXANDRE, B.A. ALEXANDRE, A.R. DE SOUZA ROSSIN, J. CAETANO, R.M. MARQUES, C.V. BUZANELLO, Z.C. GAZIM, M.G.I. FARIA, D.E.S. PEREIRA, D.C. DRAGUNSKI. Production of a dressing with Ecovio® nanofibers produced by electrospinning containing garlic wood essential oil. **Journal of Molecular Liquids**, [s. l.], v. 435, p. 128126, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2025.128126>.
- ALHADLAQ, M. A. et al. Overview of pathogenic *Escherichia coli*, with a focus on serotypes and outbreaks. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, [S.l.], v. 14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.11457481>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/cellular-and-infection-microbiology>.
- ANTUNES, L. R. G.L. BREITENBACH, M.C.G. PELLA, J. CAETANO, D.C. DRAGUNSKI. Electrospun poly(lactic acid) (PLA)/poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) nanofibers for the controlled release of cilostazol. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 182, p. 333-342, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.174>.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Farmacopeia Brasileira**, volume 1. 6ª Ed. Brasília, 2019. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- ATARÉS, L.; CHIRALT, A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 51-62, 2016. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.12.001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>.
- AVATO, P. et al. Allylsulfide constituents of garlic volatile oil as antimicrobial agents. **Phytomedicine**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 239-243, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0944-7113\(00\)80040-X](https://doi.org/10.1016/S0944-7113(00)80040-X).
- AYDOGDU, A.; SUMNU, G.; SAHIN, S. A novel electrospun hydroxypropyl methylcellulose/polyethylene oxide blend nanofibers: morphology and physicochemical properties. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 181, p. 1-38, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.071>.
- BALAJI A., S.K. JAGANATHAN, A.F. ISMAIL, R. RAJASEKAR, Fabrication and hemocompatibility assessment of novel polyurethane-based bio-nanofibrous dressing loaded with honey and Carica papaya extract for the management of burn

injuries. **International journal of nanomedicine**, p 4339-4355, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2147/IJN.S110967>.

BASER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. **Handbook of essential oils: science, technology, and applications**. Boca Raton: CRC Press, 2010.

BASTA, A. H. et al. Liquid crystal behavior of cellulose nanoparticles-ethyl cellulose composites: Preparation, characterization, and rheology. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 138, n. 12, p. 50067, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.50067>.

BEIKZADEH, Samira; EHSANI, Ali; RAMEZANI, Soghra. Electrospun ethyl cellulose/sage seed mucilage incorporated with cumin essential oil: as a new source for cheese packaging. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s. l.], v. 19, n. 7, p. 4585-4596, abr. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11694-025-03272-z>

BELOTI V., M.A.F. BARROS, J.C. DE FREITAS, L.A. NERO, J.A. DE SOUZA, E.H.W. SANTANA, B.D.G.M. FRANCO, Frequency of 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC) non-reducing bacteria in pasteurized milk. **Revista de Microbiologia**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 137-140, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0001-37141999000200008>.

BORTOLUCCI, W.D. C., OLIVEIRA, H. L. M., OLIVA, L. R., GONÇALVES, J. E., PIAU, R., FERNANDEZ, C. M., GAZIM, Z. C. Crude extract of the tropical tree *Galesia integrifolia* (Phytolaccaceae) for the control of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) larvae. **Revista de Biologia Tropical**, [s. l.], v. 69, n. 1, p. 153-169, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i1.43387>.

BORTOLUCCI, WC; RAIMUNDO, KF; FERNANDEZ, CMM; CALHELHA, RC; FERREIRA, ICFR; BARROS, L; GONÇALVES, JE; LINDE, GA; COLAUTO, NB; GAZIM, ZC. Cytotoxicity and anti-inflammatory activities of *Galesia integrifolia* (Phytolaccaceae) fruit essential oil. **Natural Product Research**, 36, 2878-2883, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1925273>.

BRASIL. 2010. Farmacopeia Brasileira. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. 5a ed., Brasília: Anvisa.

BRYAN, M. A.; HEA, S. Y.; MANNERING, S. A.; BOOKER, R. Demonstration of non-inferiority of a novel combination intramammary antimicrobial in the treatment of clinical mastitis. *New Zealand Veterinary Journal*, [S.l.], v. 64, n. 6, p. 337-342, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00480169.2016.1210044>.

CANEVAROLO, S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**, 3rd ed., Artliber, São Paulo, p. 448, 2017.

CLSI - CLINICAL LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Methods for dilution antimicrobial susceptibility test for bacteria that grow aerobically**, 7th. Approved standard M7-A10, 2015

DAVIDOVICH P, M.; Barbut, S.; Marangoni, A. G. Physical structure and thermal behavior of ethylcellulose. **Cellulose**, v. 21, p. 3243-3255, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0375-9>.

- DO, T. K. T.; HADJI-MINAGLOU, F.; ANTONIOTTI, S.; FERNANDEZ, X. Authenticity of essential oils. *Trends in Analytical Chemistry*, [S.l.], v. 66, p. 146-157, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.007>
- DOMBI, Á.; SANTA, C.; BÁTÁI, I. Z.; KORMOS, V.; KECSKÉS, A.; TÉKUS, V.; POHÓCZKY, K.; BÖLCSKEI, K.; PINTÉR, E.; POZSGAI, G. Dimethyl trisulfide diminishes traumatic neuropathic pain acting on TRPA1 receptors in mice. *International Journal of Molecular Sciences*, Basel, v. 22, n. 7, art. 3363, 2021. Disponível em: [10.3390/ijms22073363](https://doi.org/10.3390/ijms22073363)
- GHORBANI, M.; RAMEZANI, S.; RASHIDI, M. R. Fabrication of honey-loaded ethylcellulose/gum tragacanth nanofibers as an effective antibacterial wound dressing. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [s. l.], v. 621, p. 126615, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126615>.
- GILAN, B. et al. Blend electrospinning of citronella or thyme oil-loaded polyurethane nanofibers and evaluating their release behaviors. **e-Polymers**, [s. l.], v. 25, n. 1, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/epoly-2024-0123>.
- GOES, A. M., S. CARVALHO, R.L. ORÉFICE, L. AVÉROUS, T.A. CUSTÓDIO, J.G. PIMENTA, M. DE B. SOUZA, M.C. BRANCIFORTI, R.E.S. BRETAS. Cell viability of biodegradable polymer nanofibers and their nanocomposites with montmorillonite clay. **Polímeros**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 34-41, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000012>.
- HAJIALYANI M, TEWARI D, SOBARZO-SANCHEZ E, et al. Natural product-based nanomedicines for wound healing purposes: therapeutic targets and drug delivery systems. **International Journal of Nanomedicine**, [s. l.], v. 13, p. 5023-5043, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2147/IJN.S174072>.
- HARDT, J. C. M.C.G. PELLÁ, A.C.R. MEIRA, A.G. ROSENBERGER, J. CAETANO, D.C. DRAGUNSKI. Potential wound dressings from electrospun medicated poly(butylene-adipate-co-terephthalate)/poly-(ε-caprolactone) microfibers. **Journal of Molecular Liquids**, [s. l.], v. 339, p. 116694, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116694>.
- HUANG, Y.; CHEN, S. X.; HO, S. H. Bioactivities of methyl allyl disulfide and diallyl trisulfide from essential oil of garlic to two species of stored-product pests, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Economic Entomology**, [s. l.], v. 93, n. 2, p. 537-543, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.537>.
- ISLAM, M. T. et al. Phytol: a review of its many valuable uses in health and disease. **Frontiers in Pharmacology**, [s. l.], v. 12, p. 1-24, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.644407>.
- KADAM, S. et al. Bioengineered platforms for chronic wound infection studies: how can we make them more human-relevant? **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, [s. l.], v. 7, p. 418, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00418>.
- KILIC, M. S. et al. Incorporation and deposition of spin crossover materials into and onto electrospun nanofibers. **Polymers**, Basel, v. 15, n. 10, art. 2365, 2023. DOI: 10.3390/polym15102365. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/10/2365>.

LAI, H. L.; PITT, K.; CRAIG, D. QM. Characterisation of the thermal properties of ethylcellulose using differential scanning and quasi-isothermal calorimetric approaches. **International journal of pharmaceutics**, v. 386, n. 1-2, p. 178-184, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2009.11.013>.

LATOCHA, P.; LATA, B.; JANKOWSKI, P. Variação da composição química e propriedades antioxidantes do kiwi (*Actinidia arguta*) em um estudo de três anos. **Molecules**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 455, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules28010455>.

LEE, K.; LEE, S. Electrospun nanofibrous membranes with essential oils for wound dressing applications. **Fibers and Polymers**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 999-1012, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12221-020-9512-y>.

LI, Z., MA, J., LI, R., YIN, X., DONG, W., & PAN, C. Fabrication of a blood compatible composite membrane from chitosan nanoparticles, ethyl cellulose and bacterial cellulose sulfate. **RSC advances**, 8(55), 31322-31330, 2018.

LIANG, C. et al. Electrospinning technology: A promising approach for tendon-bone interface tissue engineering. **RSC Advances**, [s. l.], v. 14, n. 36, p. 26077-26090, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/D4RA04494A>.

LIU Y., L. Deng, C. Zhang, F. Feng, H. Zhang, Tunable physical properties of ethylcellulose/gelatin composite nanofibers by electrospinning, **Journal of agricultural and food chemistry**, 66 1907–1915, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05591>.

LIU, S.; YU, J.; GAN, Y.; QIAO, Y.; WU, S.; ZHAO, W.; WANG, Y.; ZHOU, Q. Biomimetic natural biomaterials for tissue engineering and regenerative medicine: New biosynthesis methods, recent advances, and emerging applications. **Military Medical Research**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 50-79, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40779-024-00552-w>.

MANN, R.S., R.L. ROUSEFF, J.M. SMOOT, W.S. CASTLE AND L.L. STELINSKI. Sulfur volatiles from *Allium* spp. affect Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), response to citrus volatiles. **Bulletin of Entomological Research**, [s. l.], v. 101, n. 1, p. 89-97, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S000748531000021X>.

MARAN, V. A. B.; JEYACHANDRAN, S.; KIMURA, M. A Review on the electrospinning of polymer nanofibers and its biomedical applications. **Journal of Composites Science**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 32, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jcs8010032>.

MATEJUK, Agata. Skin immunity. **Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis**, [s. l.], v. 66, n. 1, p. 45-54, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00005-017-0477-3>.

MERCANTE, A. R. S.; FACURE, M. H.; PAVINATTO, A.; CORREA, D. S. Electrospun composite nanofibers as sensors for food analysis. **Electrospun polymers and composites**: Woodhead Publishing, 2021. p. 261-286.

MONTAHLI, D. C. et al. Essential oil of *Gallesia integrifolia* is active against mycobacteria. **Future Microbiology**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 107-116, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2217/fmb-2021-0268>.

NATARAJ, DIVYA; REDDY, ROOPA; REDDY, NARENDRA. Crosslinking electrospun poly (vinyl) alcohol fibers with citric acid to impart aqueous stability for medical applications. **European Polymer Journal**, 124: 109484, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109484>.

PILEHVAR-SOLTANAHMADI, Y., DADASHPOUR, M., MOHAJERI, A., FATTAHI, A., SHEERVALILOU, R., & ZARGHAMI, N. An overview on application of natural substances incorporated with electrospun nanofibrous scaffolds to development of innovative wound dressings. **Mini reviews in medicinal chemistry**, 18(5), 414-427, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2174/1389557517666171101150422>.

RAIMUNDO, K. F., BORTOLUCCI, W. D. C., GLAMOČLIJA, J., SOKOVIĆ, M., GONÇALVES, J. E., LINDE, G. A., GAZIM, Z. C. Antifungal activity of *Gallesia integrifolia* fruit essential oil. **Brazilian journal of microbiology**, 49(suppl 1), 229-235, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.06.002>.

RAIMUNDO, K.F.; BORTOLUCCI, W.C.; SILVA, E.S.; BALISK, A.F.P.; SAKAI, O.A.; JUNIOR, P.R. Chemical composition of garlic wood (*Gallesia integrifolia*) (Phytolaccaceae) volatile compounds and their activity on cattle tick. **Australian Journal of Crop Science**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. 1007-1014, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.08.p628>.

RAIMUNDO, KF; BORTOLUCCI, WC; RAHAL, IL; OLIVEIRA, HLM; JÚNIOR, RP; CAMPO, CFAA.; GONÇALVES, JE; LINDE, GA; COLAUTO, NB; GAZIM, ZC. Insecticidal activity of *Gallesia integrifolia* (Phytolaccaceae) essential oil. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 336-347, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37360/blacpma.21.20.4.26>.

RASHIDI, M.; SEYYEDI-MANSOUR, S.; MOSTASHARI, P.; GHORBANI, M. Electrospun nanofiber based on Ethyl cellulose/Soy protein isolated integrated with bitter orange peel extract for antimicrobial and antioxidant active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, [S.l.], v. 193, p. 1313-1323, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.182>.

SABA, F.; HADI, M. N.; SIAVASH, I. Nanophotocatalysts in biomedicine: Cancer therapeutic, tissue engineering, biosensing, and drug delivery applications. **Environmental Research**, [s. l.], v. 231, p. 116287, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116287>.

SEDDIQI, H. et al. Cellulose and its derivatives: towards biomedical applications. **Cellulose**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 1893-1931, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03674-w>.

SHI, C. et al. Selection of appropriate wound dressing for various wounds. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, [s. l.], v. 8, p. 182, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00182>.

SILVA, GCC; MACHADO, MD; SAKUMOTO, K.; INÚMARO, RS; GONÇALVES, JE; MANDIM, F.; VAZ, J.; DO VALLE, JS; FARIA, MG; RUIZ, SP; e outros. Atividades celulares antioxidantes, antiinflamatórias e antiproliferativas das flores, folhas e frutos de *Gallesia integrifolia* Spreng Harms. **Molecules**, 28, 5406, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules28145406>.

SILVERSTEIN, R. M.; Webster, F. X.; Kiemle, D. J. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**, 7th ed. John Wiley & Sons, 2005.

SIMÕES, D., MIGUEL, S. P., RIBEIRO, M. P., COUTINHO, P., MENDONÇA, A. G., & CORREIA, I. J. Recent advances on antimicrobial wound dressing: A review. **European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics**, 127, 130-141, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2018.02.022>

SORG, H.; TILKORN, D. J.; HAGER, S.; HAUSER, J.; MIRASTSCHISKI, U. Skin wound healing: an update on the current knowledge and concepts. **European Surgical Research**, [s. l.], v. 58, n. 1-2, p. 81-94, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1159/000454919>.

SOUZA A.N.V., M.G.I. FARIA, C.E. DA ROCHA, G.S. PHILIPPSEN, G.C.C. SILVA, G.R. DA SILVA, R.S. INUMARO, J.E. GONÇALVES, Z.C. GAZIM, S. WIETZIKOSKI, F.A.R. LÍVERO, F.A.V. SEIXAS, E.C.W. LOVATO. Bioactive compounds with antifungal activity against pathogens isolated from pregnant woman: *Gallesia integrifolia* (garlic wood) is a promising treatment for vulvovaginal candidiasis. **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 295, p. 115403, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115403>.

TUDOROIU, E. E. et al. An overview of cellulose derivatives-based dressings for wound-healing management. **Pharmaceutics**, [s. l.], v. 14, n. 12, p. 1215, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ph14121215>.

UNALAN, I.; ENDLEIN, S. J.; SLAVIK, B.; BUETTNER, A.; GOLDMANN, W. H.; DETSCH, R.; BOCCACCINI, A. R. Evaluation of electrospun poly(ϵ -caprolactone)/gelatin nanofiber mats containing clove essential oil for antibacterial wound dressing. **Pharmaceutics**, Basel, v. 11, n. 11, art. 570, nov. 2019. Disponível em: [10.3390/pharmaceutics11110570](https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11110570).

WANG, J.; YOU, C.; XU, Y.; LIU, T.; ZHANG, B.; LI, F. Research advances in electrospun nanofiber membranes for non-invasive medical applications. **Micromachines**, [s. l.], v. 15, n. 10, p. 1226, 2024. <https://doi.org/10.3390/mi15101226>.

WANG, X. et al. Fabrication and morphological control of electrospun ethyl cellulose nanofibers. In: **The 8th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems**. IEEE, p. 324-327, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/NEMS.2013.6559737>.

WU, J. et al. Antibacterial characteristics of allyl methyl disulfide and dimethyl trisulfide of *Allium tenuissimum* flower essential oil against *Escherichia coli* O157:H7. **Journal of Applied Microbiology**, [s. l.], v. 134, n. 4, p. 1-12, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jambio/lxad056>.

XU, J. et al. Development of dimethyl tetrasulfide-loaded nanoparticles for targeted delivery in skin infections. **International Journal of Pharmaceutics**, [s. l.], v. 650, p. 123689, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.123689>.

YUAN, Y.; LEE, T. R. Contact angle and wetting properties. In: BRACCO, G.; HOLST, B. (ed.). **Surface science techniques**. Berlin: Springer, 2013. p. 3-34. (Springer Series in Surface Sciences, v. 51). DOI 10.1007/978-3-642-34243-1_1. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1_1.

YANG, D.; PENG, X. W.; ZHONG, L. X.; CAO, X. F.; CHEN, W.; ZHANG, X. M.; LIU, S. Y.; SUN, R. C. “Green” films from renewable resources: properties of epoxidized soybean oil plasticized ethyl cellulose films. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 103, p. 198-206, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.043>.

YU D., Y.Y. FENG, J.X. XU, B.H. KONG, Q. LIU, H. WANG, Fabrication, characterization, and antibacterial properties of citric acid crosslinked PVA electrospun microfibre mats for active food packaging, **Packaging Technology and Science**. 34, 361–370, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pts.2564>.

YU, J. Chemical composition of essential oils and their potential applications in postharvest storage of cereal grains. **Molecules**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 683, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules30030683>.

ZAMAN, H. U., M.A. KHAN, R.A. TALUKDER, M.A. HOSSAIN. Physico-mechanical properties of wound dressing material and its biomedical application. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, [s. l.], v. 4, n. 7, p. 1369-1375, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2011.05.004>.

ZHENG, L. et al. Antimicrobial compounds from edible mushrooms: *Lentinus edodes* and its sulfur-containing volatiles. **Antibiotics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 425, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11040425>.

ZHU, D.; ZHOU, Q. Action and mechanism of semiconductor photocatalysis on degradation of organic pollutants in water treatment: A review. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 12, p. 100255, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100255>.

ANEXO

Nomas da Revista: *International Journal of Biological Macromolecules*

Sobre a revista

O *International Journal of Biological Macromolecules* é um periódico internacional consolidado dedicado à pesquisa sobre os aspectos químicos e biológicos de todas as macromoléculas naturais. Apresenta as descobertas mais recentes de estudos sobre a estrutura molecular e as propriedades de proteínas, carboidratos macromoleculares, glicoproteínas, proteoglicanos, ligninas, poliácidos biológicos e ácidos nucleicos. Essas descobertas devem ser inéditas e originais, e não repetições de trabalhos publicados anteriormente ou análogos. O escopo inclui atividades e interações biológicas, associações moleculares, modificações químicas e biológicas e propriedades funcionais. Artigos sobre sistemas modelo relacionados, estudos de conformação estrutural, desenvolvimentos teóricos e novas técnicas analíticas também são bem-vindos. Todos os artigos devem se concentrar principalmente em pelo menos uma macromolécula biológica específica. Essa identificação deve constar no título, no resumo e no corpo do artigo.

Tipos de artigos

Serão consideradas para publicação as contribuições que se enquadrarem nas seguintes categorias:

Artigos regulares • Artigos de pesquisa originais de alta qualidade (de preferência com no máximo 20 páginas em formato de manuscrito com espaçamento duplo, incluindo tabelas e ilustrações)

Artigos de revisão • Artigos de revisão são geralmente contribuições focadas em um tópico específico dentro do escopo da revista. O objetivo dos artigos de revisão é apresentar um panorama de um tópico de interesse particular e uma posição sobre as direções atuais e futuras da pesquisa para a comunidade científica. Os títulos dos artigos devem ser formatados da seguinte maneira: "[Título]: Uma Revisão".

O número de referências não deve exceder

- 75 referências para trabalhos de pesquisa
- 150 referências para avaliações
-

Redação e formatação

Formato do arquivo

Solicitamos que você forneça os arquivos-fonte editáveis de toda a sua submissão (incluindo figuras, tabelas e gráficos de texto). Algumas diretrizes:

- Salve os arquivos em um formato editável, usando a extensão .doc/.docx para arquivos do Word e .tex para arquivos LaTeX. Um arquivo PDF não é aceitável como fonte.
- Formate os arquivos do Word em um layout de coluna única. A formatação de coluna dupla é permitida apenas para trabalhos em LaTeX.
- Remova todo o texto riscado e sublinhado do seu manuscrito, a menos que tenha relevância científica relacionada ao seu artigo.
- Use as funções de verificação ortográfica e gramatical para evitar erros.

Página de título

É necessário incluir as seguintes informações na página de título:

- Título do artigo. Os títulos dos artigos devem ser concisos e informativos. Evite abreviações e fórmulas, sempre que possível, a menos que sejam amplamente conhecidas e compreendidas, como por exemplo, DNA.
- Nomes dos autores. Forneça o(s) nome(s) e sobrenome(s) de cada autor. A ordem dos autores deve corresponder à ordem no sistema de submissão. Verifique cuidadosamente se todos os nomes estão escritos corretamente. Se necessário, você pode adicionar seu nome entre parênteses, em sua própria grafia, após a transliteração para o inglês.

- **Afiliações.** Adicione os endereços de afiliação, indicando onde o trabalho foi realizado, abaixo dos nomes dos autores. Indique as afiliações usando uma letra minúscula sobrescrita imediatamente após o nome do autor e antes do endereço correspondente. Certifique-se de fornecer o endereço postal completo de cada instituição afiliada, incluindo o nome do país e, se disponível, o endereço de e-mail de cada autor.
- **Autor correspondente.** Indique claramente quem será responsável pela correspondência relativa ao seu artigo em todas as etapas do processo de revisão por pares e publicação, bem como após a publicação. Essa responsabilidade inclui responder a quaisquer dúvidas futuras sobre seus resultados, dados, metodologia e materiais. É importante que o endereço de e-mail e os dados de contato do autor correspondente sejam mantidos atualizados durante o processo de submissão e publicação.
- **Endereço atual/permanente.** Se um autor se mudou desde a realização do trabalho descrito no artigo, ou se o autor estava em visita durante esse período, um "endereço atual" (ou "endereço permanente") pode ser indicado em uma nota de rodapé ao lado do nome do autor. O endereço onde o autor realizou o trabalho deve ser mantido como seu endereço de afiliação principal. Utilize numerais arábicos sobrescritos para essas notas de rodapé.

Resumo

É necessário apresentar um resumo conciso e objetivo, com no máximo 250 palavras. O resumo deve descrever sucintamente o objetivo da pesquisa, os principais resultados e as conclusões mais relevantes. Algumas diretrizes:

- Os resumos devem ser autossuficientes, pois geralmente são apresentados separadamente do artigo.
- Evite referências. Caso seja imprescindível incluir alguma, certifique-se de citar o(s) autor(es) e o(s) ano(s).

- Evite abreviações não padronizadas ou incomuns. Caso seja imprescindível incluir alguma, certifique-se de que ela seja definida no resumo logo na primeira vez em que for mencionada.

Palavras-chave

Você deve fornecer de 1 a 7 palavras-chave para fins de indexação. As palavras-chave devem ser escritas em inglês. Por favor, evite palavras-chave compostas por várias palavras (usando "e" ou "de").

Recomendamos que você utilize abreviações em palavras-chave somente se elas forem amplamente utilizadas na área.

Destaques

É recomendável que você inclua os principais destaques do artigo no momento da submissão.

Os destaques são uma breve coleção de tópicos que devem capturar os resultados inéditos da sua pesquisa, bem como quaisquer novos métodos utilizados durante o estudo. Os destaques ajudarão a aumentar a visibilidade do seu artigo nos mecanismos de busca.

Algumas diretrizes:

- Envie os destaques como um arquivo editável separado no sistema de submissão online, incluindo a palavra "destaques" no nome do arquivo.
- Os destaques devem consistir em 3 a 5 tópicos, cada um com no máximo 85 caracteres, incluindo espaços.

Fórmulas matemáticas

- Envie as equações matemáticas como texto editável, não como imagens.
- Apresente as fórmulas simples em linha com o texto normal, sempre que possível.
- Use a barra (/) em vez de uma linha horizontal para termos fracionários pequenos, como X/Y .
- Variáveis apresentadas em itálico.
- Denotemos as potências de e por exp.

- Apresente as equações separadamente do texto, numerando-as consecutivamente na ordem em que são mencionadas no texto.

Tabelas

As tabelas devem ser enviadas como texto editável, não como imagens. Algumas diretrizes:

- Coloque as tabelas ao lado do texto relevante ou em uma ou mais páginas separadas no final do seu artigo.
- Cite todas as tabelas no texto do manuscrito.
- Numere as tabelas consecutivamente de acordo com a ordem em que aparecem no texto.
- Por favor, inclua legendas junto com as tabelas.
- Coloque as notas da tabela abaixo do corpo da tabela.
- Evite linhas verticais e sombreamento dentro das células da tabela.

Recomendamos que utilize tabelas com moderação, garantindo que os dados apresentados nelas não dupliquem resultados descritos em outras partes do artigo.

Figuras, imagens e obras de arte

Figuras, imagens, ilustrações, diagramas e outros elementos gráficos devem ser fornecidos como arquivos separados juntamente com o manuscrito. Recomendamos a leitura de nossas [instruções detalhadas sobre ilustrações e outros elementos gráficos](#). Alguns trechos:

Ao enviar trabalhos artísticos:

- Cite todas as imagens no texto do manuscrito.
- Numere as imagens de acordo com a sequência em que aparecem no seu artigo.
- Envie cada imagem como um arquivo separado, utilizando uma convenção de nomenclatura lógica para seus arquivos (por exemplo, Figura_1, Figura_2 etc.).
- Por favor, forneça legendas para todas as figuras, imagens e ilustrações.
- Os gráficos podem ser incorporados ao texto na posição apropriada. Se estiver trabalhando com LaTeX, os gráficos também podem ser incorporados ao arquivo.

Formatos de obras de arte

Quando sua arte estiver finalizada, "salve como" ou converta sua arte eletrônica para os formatos listados abaixo, levando em consideração os requisitos de resolução para desenhos de linha, meios-tons e combinações de linha/meio-tom:

- Desenhos vetoriais: Salve como arquivos EPS ou PDF incorporando a fonte ou salve o texto como "gráficos".
- Fotografias coloridas ou em tons de cinza (meios-tons): Salve como arquivos TIFF, JPG ou PNG com resolução mínima de 300 dpi (para coluna única: mín. 1063 pixels, largura da página inteira: 2244 pixels).
- Desenhos de linhas bitmap: Salve como arquivos TIFF, JPG ou PNG com uma resolução mínima de 1000 dpi (para coluna única: mín. 3543 pixels, largura da página inteira: 7480 pixels).
- Combinações de linhas bitmap/meios-tons (coloridas ou em tons de cinza): Salve como arquivos TIFF, JPG ou PNG com uma resolução mínima de 500 dpi (para coluna única: mín. 1772 pixels, largura da página inteira: 3740 pixels).

Por favor, não envie:

- Arquivos com resolução muito baixa (por exemplo, arquivos otimizados para uso em tela, como GIF, BMP, PICT ou WPG).
- Imagens desproporcionalmente grandes em relação ao tamanho da fonte podem tornar o texto ilegível.

Legendas das figuras

Todas as imagens devem ter uma legenda. A legenda deve consistir em um título breve (não exibido na própria figura) e uma descrição da imagem. Recomendamos que você mantenha a quantidade de texto em qualquer imagem ao mínimo, embora quaisquer símbolos e abreviações utilizados devam ser explicados. Forneça as legendas em um arquivo separado.

Arte colorida

Se você enviar figuras coloridas utilizáveis com seu artigo aceito, garantiremos que elas apareçam coloridas online.

Certifique-se de que as imagens coloridas sejam acessíveis a todos, incluindo pessoas com daltonismo. Saiba mais sobre [cores e acessibilidade na web](#) .

Inteligência Artificial Generativa e Figuras, imagens e obras de arte

Leia nossa política sobre o uso de IA generativa e ferramentas assistidas por IA em figuras, imagens e ilustrações, que pode ser encontrada nas [Políticas de IA generativa para Periódicos](#) da Elsevier . Esta política declara:

- Não permitimos o uso de IA generativa ou ferramentas assistidas por IA para criar ou alterar imagens em manuscritos submetidos.
- A única exceção ocorre quando o uso de IA ou ferramentas assistidas por IA faz parte do projeto ou dos métodos de pesquisa (por exemplo, na área de imagens biomédicas). Nesse caso, tal uso deve ser descrito de forma reproduzível na seção de métodos, incluindo o nome do modelo ou ferramenta, os números de versão e extensão e o fabricante.
- O uso de IA generativa ou ferramentas assistidas por IA na produção de obras de arte, como resumos gráficos, não é permitido. O uso de IA generativa na produção de capas de revistas pode ser permitido em alguns casos, desde que o autor obtenha autorização prévia do editor e da editora, demonstre que todos os direitos necessários para o uso do material em questão foram obtidos e assegure a correta atribuição do conteúdo.

Material suplementar

Incentivamos o uso de materiais complementares, como aplicativos, imagens e trechos de áudio, para aprimorar a pesquisa. Algumas diretrizes:

- O material suplementar deve ser preciso e relevante para a pesquisa.
- Cite todos os arquivos suplementares no texto do manuscrito.
- Envie os materiais suplementares juntamente com o seu artigo. Esteja ciente de que todos os materiais suplementares fornecidos serão publicados online

exatamente no mesmo formato de arquivo em que foram recebidos. Esses arquivos não serão formatados ou diagramados pela equipe de produção.

- Inclua uma legenda concisa e descritiva para cada arquivo suplementar, descrevendo seu conteúdo.
- Forneça os arquivos atualizados caso deseje fazer alterações nos materiais suplementares enviados em qualquer etapa do processo de publicação.
- Não faça anotações ou correções em uma versão anterior de um arquivo suplementar.
- Desative a opção de controle de alterações em arquivos do Microsoft Office. Se o controle de alterações estiver ativado, as alterações aparecerão na versão publicada.

Vídeo

Esta revista aceita material em vídeo e sequências de animação para apoiar e aprimorar sua pesquisa científica. Incentivamos a inclusão de links para arquivos de vídeo ou animação em seus artigos. Algumas diretrizes:

- Ao incluir links para arquivos de vídeo ou animação em seu artigo, faça referência ao conteúdo do vídeo ou da animação adicionando uma nota no texto indicando onde o arquivo deve ser inserido.
- Identifique claramente os arquivos, garantindo que o nome do arquivo esteja diretamente relacionado ao seu conteúdo.
- Forneça os arquivos em um dos formatos recomendados . Os arquivos devem ter um tamanho máximo preferencial de 150 MB por arquivo e 1 GB no total.
- Forneça imagens estáticas para cada um dos seus arquivos. Elas serão usadas como ícones padrão para personalizar o link para seus vídeos. Você pode escolher qualquer quadro do seu vídeo ou animação, ou criar uma imagem separada.
- Inclua um texto descritivo em seu manuscrito para fazer referência ao conteúdo do vídeo. Esse texto ajuda a garantir a acessibilidade para leitores com deficiência visual que dependem de informações descritivas. Para periódicos com publicação

impressa, isso também é essencial, pois arquivos de vídeo e animação não podem ser incorporados à versão impressa.

Publicamos todos os arquivos de vídeo e animação fornecidos na versão eletrônica do seu artigo.

Para obter instruções mais detalhadas, recomendamos que você leia nossas diretrizes sobre como enviar conteúdo de vídeo para inclusão no corpo de um artigo .

Dados de pesquisa

Estamos empenhados em apoiar o armazenamento, o acesso e a descoberta de dados de pesquisa, e nossa política de dados de pesquisa estabelece os princípios que orientam a forma como trabalhamos com a comunidade científica para apoiar um processo de pesquisa mais eficiente e transparente.

Os dados de pesquisa referem-se aos resultados de observações ou experimentações que validam as descobertas da pesquisa, podendo também incluir software, código, modelos, algoritmos, protocolos, métodos e outros materiais úteis relacionados ao projeto.

Leia nossas diretrizes sobre compartilhamento de dados de pesquisa para obter mais informações sobre como depositar, compartilhar e usar dados de pesquisa e outros materiais de pesquisa relevantes.

Depósito, citação e vinculação de dados de pesquisa

Para esta revista, aplicam-se as instruções **da Opção B** das nossas diretrizes de dados de pesquisa . Isso significa que você é **incentivado** a:

- Deposite os dados da sua pesquisa em um repositório de dados relevante.
- Cite e inclua um link para este conjunto de dados em seu artigo.
- Caso isso não seja possível, apresente uma declaração explicando por que os dados da pesquisa não podem ser compartilhados.

Declaração de dados

Para promover a transparência, recomenda-se que você informe a disponibilidade de quaisquer dados no momento do envio.

Garantir a disponibilidade dos dados pode ser uma exigência da sua agência de financiamento ou instituição. Caso seus dados não estejam disponíveis ou não sejam adequados para publicação, você pode indicar o motivo (por exemplo, seus dados de pesquisa incluem informações sensíveis ou confidenciais, como dados de pacientes) durante o processo de submissão. Essa declaração aparecerá junto com seu artigo publicado no ScienceDirect.

Leia mais sobre a importância e os benefícios de fornecer uma [declaração de dados](#) .

Vinculação de dados

Ao incluir links para os dados que fundamentam seu trabalho, você aumenta sua visibilidade e pode levar a novas colaborações. Isso também proporciona aos leitores uma melhor compreensão da pesquisa descrita.

Se os seus dados de pesquisa foram disponibilizados em um repositório de dados, existem várias maneiras de vincular diretamente o seu artigo ao conjunto de dados:

- Forneça um link para seu conjunto de dados quando solicitado durante o processo de submissão online.
- Para alguns repositórios de dados, um banner do repositório aparecerá automaticamente ao lado do seu artigo publicado no ScienceDirect.
- Você também pode incluir links para dados ou entidades relevantes no texto do seu artigo por meio de identificadores. Utilize o seguinte formato: Banco de dados: 12345 (ex.: TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Saiba mais sobre como [vincular dados de pesquisa e artigos científicos no ScienceDirect](#) .

Elementos de pesquisa

Esta revista permite a publicação de objetos de pesquisa (por exemplo, dados, métodos, protocolos, software e hardware) relacionados a pesquisas originais nas [revistas Research Elements da Elsevier](#) .

A Research Elements é uma série de periódicos de acesso aberto com revisão por pares que tornam os objetos de pesquisa localizáveis, acessíveis e reutilizáveis. Ao fornecer descrições detalhadas dos objetos e suas aplicações, com links para o artigo de pesquisa original, seus objetos de pesquisa podem ser contextualizados dentro do seu artigo.

Durante o processo de submissão, você será notificado sobre a oportunidade de submeter um manuscrito a um dos periódicos da Research Elements. Seu artigo para a Research Elements pode ser preparado por você ou por um de seus colaboradores.

Informações específicas para o periódico: Redação e formatação

Título

O título do artigo deve conter o nome completo da(s) macromolécula(s) biológica(s) em que o manuscrito se concentra principalmente.

Dados originais

Western blots

A revista exige que as imagens originais e não editadas de todos os blots usados para gerar as figuras sejam fornecidas no momento da submissão. Esses arquivos devem ser as digitalizações ou fotografias brutas e não recortadas da membrana inteira, rotuladas com o marcador de peso molecular e a proteína de interesse identificada (por exemplo, "STAT" para a Fig. 3a). É preferível que sejam fornecidos blots de todas as repetições independentes, se disponíveis. Esses arquivos de imagem brutos devem ser enviados com o tipo de item de submissão definido como "Material Suplementar apenas para o Editor" no fluxo de trabalho de submissão, de forma que fiquem disponíveis para o editor, mas não se destinem à publicação.

Dados computacionais

Os dados computacionais devem ser carregados em um repositório de acesso aberto, e o DOI do conjunto de dados deve ser incluído em uma das seguintes declarações de disponibilidade de dados:

- “Os dados que sustentam as conclusões deste estudo estão disponíveis publicamente em [nome do repositório] em [URL], número de referência [número de referência].”
- Os dados que sustentam as conclusões deste estudo estão disponíveis em [nome do repositório] em [URL/DOI], número de referência [número de referência].

Esses dados foram obtidos dos seguintes recursos disponíveis em domínio público: [listar recursos e URLs].

Estrutura do artigo

Seções do artigo

- Divida seu artigo em seções claramente definidas e numeradas. Numere as subseções como 1.1 (depois 1.1.1, 1.1.2, ...), depois 1.2, etc.
- Utilize a numeração correta ao fazer referências cruzadas dentro do seu artigo. Não se refira apenas ao "texto".
- Você pode dar um título breve às subseções. Os títulos devem aparecer em uma linha separada.
- Não inclua o resumo do artigo na numeração das seções.

Glossário

Por favor, forneça as definições dos termos específicos da área utilizados em seu artigo, em uma lista separada.

Agradecimentos

Inclua na seção de agradecimentos todas as pessoas que lhe prestaram auxílio durante a pesquisa, como ajuda com o idioma, a redação ou a revisão. Os agradecimentos devem ser colocados em uma seção separada, imediatamente antes da lista de referências. Não inclua agradecimentos na página de título, como nota de rodapé do título ou em qualquer outro lugar do artigo que não seja na seção de agradecimentos.

Contribuições dos autores: CRediT

Os autores correspondentes devem reconhecer as contribuições dos coautores usando as funções do CRediT (Contributor Roles Taxonomy) :

- Conceitualização
- Curadoria de dados
- Análise formal
- Obtenção de financiamento
- Investigação

- Metodologia
- Administração de projetos
- Recursos
- Software
- Supervisão
- Validação
- Visualização
- Redação – rascunho original
- Escrita – revisão e edição

Nem todas as funções do CRediT se aplicarão a todos os manuscritos e alguns autores poderão contribuir por meio de múltiplas funções.

Recomendamos que você leia mais sobre o CRediT e veja um exemplo de declaração de autoria do CRediT .

Fontes de financiamento

Os autores devem divulgar quaisquer fontes de financiamento que tenham fornecido apoio financeiro para a realização da pesquisa e/ou preparação do artigo. O papel dos patrocinadores, se houver, deve ser declarado em relação ao desenho do estudo, coleta, análise e interpretação dos dados, redação do relatório e decisão de submeter o artigo para publicação. Caso as fontes de financiamento não tenham tido tal envolvimento, isso deve ser declarado na submissão.

Liste as fontes de financiamento desta forma padronizada para facilitar o cumprimento dos requisitos do financiador:

Financiamento: Este trabalho foi financiado pelos Institutos Nacionais de Saúde [números de concessão xxxx, yyyy]; pela Fundação Bill & Melinda Gates, Seattle, WA [número de concessão zzzz]; e pelos Institutos da Paz dos Estados Unidos [número de concessão aaaa].

Não é necessário incluir descrições detalhadas sobre o programa ou o tipo de bolsas, auxílios e prêmios. Quando o financiamento provém de uma verba global ou de outros

recursos disponíveis para uma universidade, faculdade ou outra instituição de pesquisa, indique o nome do instituto ou organização que forneceu o financiamento.

Caso não tenha sido disponibilizado financiamento para a pesquisa, recomenda-se incluir a seguinte frase:

Esta pesquisa não recebeu financiamento específico de agências de fomento dos setores público, comercial ou sem fins lucrativos.

Apêndices

Solicitamos que utilize o seguinte formato para os anexos:

- Identifique os apêndices individuais em seu artigo usando o formato: A, B, etc.
- Numere as fórmulas e equações separadamente dentro dos apêndices, usando formatos como Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc., e nos apêndices subsequentes, Eq. (B.1), Eq. (B.2), etc. Da mesma forma, numere as tabelas e figuras separadamente, usando formatos como Tabela A.1; Fig. A.1, etc.

Referências

Referências dentro do texto

Todas as referências citadas no seu artigo devem constar também na sua lista de referências, e vice-versa. Algumas diretrizes:

- As referências citadas no seu resumo devem ser apresentadas na íntegra.
- Recomendamos que você não inclua resultados não publicados e comunicações pessoais em sua lista de referências, embora possa mencioná-los no texto do seu artigo.
- Quaisquer resultados não publicados e comunicações pessoais incluídos na sua lista de referências devem seguir o estilo de referência padrão da revista. Em vez da data de publicação, adicione "resultados não publicados" ou "comunicação pessoal".
- As referências citadas como "no prelo" implicam que o item foi aceito para publicação.

Incluir links para as fontes citadas aumentará a visibilidade da sua pesquisa.

Antes de submeter o artigo, verifique se todos os dados fornecidos na sua lista de referências estão corretos, incluindo quaisquer referências que tenham sido copiadas. Fornecer dados de referência corretos permite-nos criar links para serviços de indexação e resumos como o Scopus, Crossref e PubMed. Quaisquer sobrenomes, títulos de periódicos ou livros, anos de publicação ou paginação incorretos nas suas referências podem impedir a criação de links.

Recomendamos o uso de Identificadores de Objetos Digitais (DOIs) como links de referência, pois eles fornecem um link permanente para o artigo eletrônico referenciado.