



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE FARMÁCIA
DEPARTAMENTO DE FARMÁCIA



LÍVIA PINHEIRO DE SOUZA AUGUSTINI

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FOTOPROTETOR DE NANOEMULSÕES
CARREGADAS COM ÓLEO ESSENCIAL E FRAÇÃO ATIVA DE *Baccharis
dracunculifolia***

OURO PRETO

2026

LÍVIA PINHEIRO DE SOUZA AUGUSTINI

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FOTOPROTETOR DE NANOEMULSÕES
CARREGADAS COM ÓLEO ESSENCIAL E FRAÇÃO ATIVA DE *Baccharis
dracunculifolia***

Trabalho Final de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de Ouro
Preto como parte das exigências necessárias
para a obtenção do Grau de Bacharel em
Farmácia.

Orientador: Orlando Henrique David dos
Santos

Coorientador: Lucas Dutra Resende de Sousa

OURO PRETO

2026



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE FARMÁCIA
DEPARTAMENTO DE FARMÁCIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lívia Pinheiro de Souza Augustini

Avaliação do Potencial Fotoprotetor de Nanoemulsões Carregadas com Óleo Essencial e Fração Ativa de *Baccharis dracunculifolia*

Monografia apresentada ao Curso de Farmácia da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Farmacêutica

Aprovada em 23 de julho de 2026

Membros da banca

Prof. Dr. Orlando David Henrique dos Santos - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Ms. Lucas Resende Dutra Sousa - Coorientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Gustavo Henrique Bianco de Souza - Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. Aniely dos Reis Teixeira - Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Dr. Orlando David Henrique dos Santos, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 31/07/2026



Documento assinado eletronicamente por **Orlando David Henrique dos Santos, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/07/2026, às 10:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1150410** e o código CRC **62D539B4**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.008549/2026-87

SEI nº 1150410

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: (31)3559-1069 - www.ufop.br

AGRADECIMENTOS

“Consagre ao Senhor tudo o que faz, e os seus planos serão bem-sucedidos” (Provérbios 16:3).

Agradeço primeiramente à Deus, por me guiar e conduzir pelo caminho até aqui, e a Nossa Senhora Aparecida, a quem consagrei minha vida.

Dedico este trabalho à minha avó Léa Pinheiro de Souza, que hoje vê os meus sonhos serem realizados ao lado das estrelas mais lindas que brilham no céu. A ela devo todo meu amor, dedicação e perseverança. Pilar essencial ao longo do meu crescimento e o motivo da minha escolha em tornar-me farmacêutica. Minha gratidão eterna.

Aos meus pais Nilson e Flávia, que todas as tempestades suportaram sem que deixassem uma gota d’água respingar em mim. À minha irmã Érika, minha saudade. Aos meus familiares, pelo apoio e por acreditarem em mim e em meus sonhos.

Agradeço a Ítala Cristina de Matos Marzano, minha incentivadora, principal apoio e inspiração pessoal e profissional.

Ao Laboratório de Fitotecnologia (FITOTEC) pelo ambiente acolhedor e estimulante, onde foi desenvolvido e executado este trabalho, ao meu orientador Prof. Dr. Orlando David Henrique dos Santos e coorientador Me. Lucas Resende Dutra Sousa, por todo apoio, ensinamentos, orientações e contribuições científicas ao longo deste projeto.

Agradeço ao Programa de Educação Tutorial (PET) por ter desempenhado um papel fundamental na minha formação acadêmica e pessoal, através de experiências enriquecedoras, que fortaleceram minha capacidade de trabalho em equipe, estimularam o pensamento crítico e ampliaram meu interesse pela pesquisa, pelo ensino e pela extensão.

Às minhas amigas de curso, que tornaram os anos de graduação mais leves e divertidos, Larissa Vitoria Teixeira Dias e Luanna Dias Gomes, obrigada por dividirem a jornada comigo.

Por fim, agradeço à República Rosa Xoque, lar onde cheguei para morar, e meu coração escolheu fazer morada, obrigada por se tornarem minha família.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, meu muito obrigada por caminhar comigo!

RESUMO

A alta incidência de danos cutâneos provocados pela radiação UV e os impactos ambientais dos filtros sintéticos impulsionam a busca por alternativas naturais e sustentáveis, destacando-se a *Baccharis dracunculifolia* (alecrim-do-campo) por sua riqueza em compostos fenólicos com potencial antioxidante e fotoprotetor. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial fotoprotetor e a estabilidade físico-química de nanoemulsões carregadas com o óleo essencial e a fração ativa desta espécie. O método envolveu o fracionamento do extrato bruto e hidrodestilação do óleo essencial, seguidos pelo desenvolvimento de nanoemulsões via emulsificação por inversão de fases, as quais foram caracterizadas quanto ao tamanho de partícula, potencial zeta e estabilidade por 28 dias, com a atividade fotoprotetora (FPS) determinada pelo método de Mansur via espectrofotometria. Os resultados demonstraram que a fração em acetato de etila apresentou a maior eficácia fotoprotetora, e as nanoemulsões mantiveram boa estabilidade física durante o período de monitoramento; além disso, a formulação associada ao filtro sintético octocrileno apresentou os maiores valores de FPS, evidenciando um efeito sinérgico entre os componentes. Conclui-se que, embora os sistemas contendo apenas ativos naturais não tenham atingido, na concentração testada, os níveis de FPS exigidos para fotoprotetores primários, a nanoestruturação validou o potencial dos compostos de *B. dracunculifolia*, consolidando a estratégia como promissora para o desenvolvimento de fotoprotetores mais seguros e sustentáveis, recomendando-se estudos futuros com concentrações elevadas para viabilizar a aplicação comercial.

Palavras-chave: *Baccharis dracunculifolia*; nanoemulsão; fotoproteção; fator de proteção solar; óleo essencial.

ABSTRACT

The high incidence of skin damage caused by ultraviolet (UV) radiation and the environmental impacts associated with synthetic sunscreen filters have driven the search for natural and sustainable alternatives, highlighting *Baccharis dracunculifolia* (field rosemary) due to its richness in phenolic compounds with antioxidant and photoprotective potential. Therefore, this study aimed to evaluate the photoprotective potential and physicochemical stability of nanoemulsions loaded with the essential oil and active fraction of this species. The methodology involved the fractionation of the crude extract and hydrodistillation of the essential oil, followed by the development of nanoemulsions through the phase inversion emulsification method. The formulations were characterized regarding particle size, zeta potential, and stability over a 28-day period, while photoprotective activity, expressed as the Sun Protection Factor (SPF), was determined by the Mansur spectrophotometric method. The results demonstrated that the ethyl acetate fraction exhibited the highest photoprotective efficacy, and the nanoemulsions maintained good physical stability throughout the monitoring period. Furthermore, the formulation associated with the synthetic sunscreen filter octocrylene showed the highest SPF values, suggesting a synergistic effect between the components. It can be concluded that, although the systems containing only natural active compounds did not reach the minimum SPF values required for primary sunscreens at the tested concentration, nanoencapsulation validated the potential of the compounds from *B. dracunculifolia*, supporting this strategy as a promising approach for the development of safer and more sustainable photoprotective formulations. Further studies using higher concentrations of the active fraction are recommended to enable their technological and commercial application.

Keywords: *Baccharis dracunculifolia*; nanoemulsion; sun protection factor (SPF); photoprotection; essential oil.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 Radiação Ultravioleta e Seus Efeitos Biológicos.....	10
2.2 Radiação UVB e Câncer de Pele.....	11
2.3 Fotoproteção e Filtros Solares.....	11
2.4 Filtros Solares: Classificação e Mecanismo de Ação.....	12
2.5 Impactos Ambientais dos Filtros Solares Sintéticos.....	12
2.6 Produtos Naturais como Potenciais Agentes Fotoprotetores.....	13
2.7 <i>Baccharis dracunculifolia</i> : Aspectos Botânicos e Potencial Fotoprotetor.....	13
2.8 Flavonoides e Mecanismos de Fotoproteção.....	14
2.9 Sistemas Nanoestruturados e Nanoemulsões Óleo em Água (O/A).....	14
3. OBJETIVOS.....	16
Objetivo Geral.....	16
Objetivos Específicos.....	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1. Obtenção do extrato bruto.....	16
4.2. Obtenção do óleo essencial de <i>Baccharis dracunculifolia</i>	16
4.3. Partição líquido-líquido do extrato bruto.....	17
4.4. Avaliação do potencial fotoprotetor das frações obtidas e nanoemulsões preparadas.....	17
4.5. Preparo e Caracterização das Nanoemulsões Carregadas com Óleo Essencial de <i>Baccharis dracunculifolia</i>	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5.1. Rendimento do extrato bruto, frações obtidas e extração do óleo essencial.....	20
5.2. Potencial fotoprotetor das frações obtidas.....	21
5.3. Preparo e caracterização físico-química dos sistemas nanoestruturados.....	23
5.4. Potencial fotoprotetor das formulações.....	26
6. CONCLUSÕES.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

A exposição à radiação solar é essencial para diversos processos fisiológicos, como a síntese de vitamina D e a regulação dos ritmos biológicos, porém, a exposição excessiva e desprotegida à radiação ultravioleta (UV) constitui um dos principais fatores de risco para o desenvolvimento de danos cutâneos agudos e crônicos, incluindo queimaduras solares, imunossupressão, fotoenvelhecimento precoce e câncer de pele (DIFFEY, 2002; IARC, 2012). Sabe-se que de toda a energia proveniente do Sol que chega à superfície do planeta, aproximadamente 10% dessa energia corresponde à radiação ultravioleta (RUV) (WHO, 1994).

A radiação ultravioleta corresponde a uma faixa do espectro eletromagnético compreendida entre 100 e 400 nm, sendo subdividida em UVC (100–280 nm), UVB (280–320 nm) e UVA (320–400 nm). Embora a radiação UVC seja praticamente absorvida pela camada de ozônio, as radiações UVA e UVB atingem a superfície terrestre e exercem efeitos biológicos significativos sobre a pele humana. Em particular, a radiação UVB apresenta elevada energia e está diretamente relacionada à formação de lesões no DNA celular, indução de processos inflamatórios, fotoenvelhecimento e principalmente a carcinogênese cutânea (YOUNG, 2006; NARLA; LIM, 2020).

O câncer de pele representa a neoplasia mais incidente no Brasil e no mundo. Segundo o Instituto Nacional de Câncer (INCA), os cânceres de pele não melanoma correspondem ao tipo mais frequente da doença, sendo justamente a exposição solar excessiva o principal fator de risco associado ao seu desenvolvimento (INCA, 2023). As neoplasias de pele representam 33% de todos os diagnósticos de câncer realizados no País. A cada ano, são registrados 185 mil novos casos, podendo ter como causas os fatores genéticos hereditários ou ainda exposição cumulativa à radiação solar. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o câncer de pele atinge uma incidência global estimada entre 2 e 3 milhões de casos anuais. Para cada três diagnósticos, um corresponde ao câncer de pele. Porém, o surgimento da doença pode ser prevenido através da fotoproteção, sendo essa a principal estratégia preventiva, destacando-se o uso regular de protetores solares capazes de reduzir a incidência dos danos induzidos pela radiação UV (GREEN et al., 1999). Os fotoprotetores atualmente disponíveis utilizam filtros solares físicos e químicos para absorver, refletir ou dispersar a radiação incidente. Contudo, estudos demonstram que determinados filtros químicos

apresentam alto impacto ambiental, especialmente sobre ecossistemas aquáticos e recifes de corais, além de preocupações relacionadas à sua estabilidade fotoquímica e segurança toxicológica (SCHNEIDER; LIM, 2019; DANOVARO et al., 2008). Dessa forma, surge o crescente interesse pelo desenvolvimento de formulações mais sustentáveis, capazes de reduzir a concentração de filtros sintéticos sem comprometer a eficácia fotoprotetora.

Nesse cenário, compostos naturais ricos em metabólitos fenólicos têm sido investigados como potenciais adjuvantes fotoprotetores. Entre eles destaca-se *Baccharis dracunculifolia*, espécie nativa da América do Sul e principal fonte botânica da própolis verde brasileira. A espécie apresenta composição química rica em flavonoides, ácidos fenólicos e terpenos, compostos associados principalmente às atividades antioxidante e anti-inflamatória (PARK et al., 2004; FRIGHETTO et al., 2013). Os flavonoides constituem metabólitos secundários capazes de absorver radiação ultravioleta e neutralizar espécies reativas de oxigênio geradas pela exposição solar, contribuindo para a proteção celular contra danos oxidativos (PANDEY; RIZVI, 2009; NICHOLS; KATIYAR, 2010). Além dos compostos fenólicos presentes nas frações obtidas da planta, o óleo essencial de *B. dracunculifolia* também apresenta interesse para aplicações cosméticas devido às suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas, que podem contribuir para a proteção e manutenção da integridade da pele, além de favorecer a estabilidade microbiológica das formulações (FRIGHETTO et al., 2013; SILVA et al., 2017). Dessa forma, sua incorporação em sistemas fotoprotetores pode agregar benefícios funcionais à formulação, mesmo não apresentando atividade fotoprotetora significativa quando avaliado isoladamente. Adicionalmente, a associação de compostos naturais com filtros solares químicos comerciais têm sido considerada uma estratégia promissora para o desenvolvimento de formulações mais eficazes e sustentáveis. A incorporação de metabólitos vegetais em sistemas fotoprotetores pode potencializar a atividade antioxidante da formulação e possibilitar a redução da concentração de filtros sintéticos necessários para atingir níveis adequados de proteção, minimizando, consequentemente, os impactos ambientais associados ao seu uso.

Os flavonoides, porém, apresentam limitações relacionadas à estabilidade físico-química, baixa solubilidade e suscetibilidade à degradação ambiental, fatores que podem comprometer sua aplicação em formulações cosméticas (PANDEY; RIZVI, 2009). Uma estratégia promissora para superar essas limitações consiste na incorporação desses compostos em sistemas nanoestruturados. O uso de nanosistemas se torna uma ferramenta

bastante atrativa e vantajosa para os óleos essenciais (BILIA et al., 2014). Alguns fatores relacionados à aplicação direta dos óleos essenciais na pele podem ser prejudiciais, como por exemplo o surgimento de reações alérgicas. Assim, a tecnologia de nanoencapsulamento tem sido citada como uma alternativa para contornar esses problemas (SÃO PEDRO et al., 2013).

As nanoemulsões óleo em água (O/A) destacam-se por sua elevada estabilidade cinética, capacidade de proteção de compostos bioativos lipofílicos, aumento da biodisponibilidade e melhoria das propriedades sensoriais das formulações tópicas (MCCLEMENTS, 2012; SOLANS; SOLÉ, 2012). Dessa forma, a associação entre a fração ativa, o óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* e filtros solares químicos em sistemas nanoestruturados pode representar uma estratégia inovadora para o desenvolvimento de formulações fotoprotetoras mais eficazes, sustentáveis e seguras.

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial fotoprotetor e a estabilidade físico-química de nanoemulsões carregadas com o óleo essencial e a fração ativa de *B. dracunculifolia*, isoladamente e em associação com o filtro solar sintético octocrileno, investigando sua aplicação como estratégia para o desenvolvimento de sistemas fotoprotetores capazes de contribuir para a redução da utilização de filtros solares sintéticos convencionais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Radiação Ultravioleta e Seus Efeitos Biológicos

A radiação solar constitui um dos principais fatores ambientais capazes de influenciar a saúde humana, sendo responsável tanto por efeitos benéficos quanto prejudiciais ao organismo. Entre seus benefícios destacam-se a síntese de vitamina D, a regulação dos ritmos circadianos e a participação em diversos processos fisiológicos. Entretanto, a exposição excessiva e cumulativa à radiação ultravioleta (UV) está associada ao desenvolvimento de alterações cutâneas agudas e crônicas, representando um importante problema de saúde pública mundial (DIFFEY, 2002).

A radiação ultravioleta corresponde a uma pequena parcela do espectro eletromagnético emitido pelo Sol, compreendendo comprimentos de onda entre 100 e 400 nm. De acordo com sua faixa energética, pode ser dividida em radiação UVC (100–280 nm), UVB (280–320 nm) e UVA (320–400 nm) (WHO, 2017; NARLA; LIM, 2020). A radiação UVC é completamente absorvida pela atmosfera terrestre e pela camada de ozônio, não alcançando a superfície do planeta em condições normais. Em contrapartida, aproximadamente 95% da radiação UV que atinge a Terra corresponde à radiação UVA e cerca de 5% à radiação UVB (YOUNG, 2006).

Embora menos abundante, a radiação UVB apresenta maior energia e maior potencial biológico, sendo considerada a principal responsável pelos danos diretos ao DNA celular. Sua ação ocorre predominantemente na epiderme, promovendo a formação de lesões moleculares, especialmente dímeros de pirimidina ciclobutano (CPDs), que podem desencadear mutações genéticas caso não sejam adequadamente reparadas pelos mecanismos celulares (CADET; DOUKI; RAVANAT, 2015). Por outro lado, a radiação UVA penetra mais profundamente na pele, alcançando a derme e contribuindo principalmente para a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), degradação das fibras de colágeno e alterações estruturais relacionadas ao envelhecimento cutâneo (FISHER et al., 2002).

Os efeitos biológicos da radiação UV são cumulativos e dependem de fatores como intensidade da exposição, fototipo cutâneo, localização geográfica, idade e suscetibilidade genética. A exposição repetida à radiação solar promove um desequilíbrio entre a produção de espécies oxidantes e os mecanismos antioxidantes naturais da pele, favorecendo processos inflamatórios, estresse oxidativo e danos celulares progressivos (NARLA; LIM, 2020).

2.2 Radiação UVB e Câncer de Pele

A exposição contínua à radiação UVB desencadeia uma série de alterações bioquímicas e moleculares que contribuem para o desenvolvimento do câncer de pele. A absorção da energia UV pelos cromóforos celulares promove danos diretos ao DNA e estimula a formação de espécies reativas de oxigênio, capazes de oxidar proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (CADET; DOUKI; RAVANAT, 2015).

Além do fotoenvelhecimento, a exposição excessiva à radiação UV constitui o principal fator ambiental relacionado ao desenvolvimento do câncer de pele. As mutações acumuladas no DNA celular podem resultar na ativação de oncogenes e na inativação de genes supressores tumorais, favorecendo a transformação maligna dos queratinócitos e melanócitos (IARC, 2012).

O câncer de pele é atualmente o tipo de câncer mais frequente no Brasil. Segundo dados do Instituto Nacional de Câncer (INCA), os tumores cutâneos não melanoma representam aproximadamente 30% de todos os casos de câncer diagnosticados no país, evidenciando a necessidade de estratégias preventivas eficazes voltadas para a redução da exposição solar e seus efeitos deletérios (INCA, 2023).

2.3 Fotoproteção e Filtros Solares

Considerando a forte associação entre exposição solar e desenvolvimento de doenças cutâneas, a fotoproteção representa a principal medida preventiva contra os danos induzidos pela radiação ultravioleta, e pode ser realizada por meio de estratégias físicas e químicas. Entre elas destacam-se o uso de roupas adequadas, chapéus, óculos de proteção, redução da exposição solar em horários críticos e, principalmente, através da aplicação de protetores solares tópicos (SCHALKA; REIS, 2011).

Os protetores solares constituem a ferramenta mais utilizada para minimizar a quantidade de radiação UV que atinge a pele. Sua eficácia é geralmente expressa pelo Fator de Proteção Solar (FPS), parâmetro que indica a capacidade do produto em proteger contra a radiação UVB responsável pelo eritema solar (SHAATH, 2010). O uso regular de fotoprotetores reduz significativamente a incidência de lesões pré-cancerosas, carcinomas cutâneos e sinais de fotoenvelhecimento, reforçando sua importância na saúde pública (GREEN et al., 1999).

2.4 Filtros Solares: Classificação e Mecanismo de Ação

Os filtros solares constituem a principal estratégia de fotoproteção tópica, sendo empregados para reduzir a quantidade de radiação ultravioleta que atinge a pele e, consequentemente, minimizar os danos biológicos decorrentes da exposição solar. De acordo com seu mecanismo de ação, esses compostos são tradicionalmente classificados em filtros inorgânicos (físicos ou minerais) e filtros orgânicos (químicos) (SHAATH, 2010; DUTEIL et al., 2017).

Os filtros inorgânicos, representados principalmente pelo dióxido de titânio (TiO_2) e pelo óxido de zinco (ZnO), atuam por meio de uma combinação de mecanismos de reflexão, dispersão e absorção da radiação ultravioleta. Embora historicamente tenham sido descritos como agentes predominantemente refletivos, estudos mais recentes demonstram que sua atividade fotoprotetora decorre principalmente da absorção da radiação UV, especialmente quando empregados em tamanho micro ou nanométrico (SERPONE; DONDI; ALBINI, 2007; GILBERT et al., 2013). Esses filtros apresentam elevada fotoestabilidade, baixo potencial de sensibilização cutânea e amplo espectro de proteção, cobrindo tanto a região UVB quanto parte da região UVA, características que os tornam particularmente indicados para formulações destinadas a indivíduos com pele sensível e para produtos infantis (SHAATH, 2010; WANG; BALAGULA; OSTERWALDER, 2010). Entretanto, sua utilização em formulações cosméticas convencionais pode ser limitada pelo efeito esbranquiçado sobre a pele, pela dificuldade de espalhabilidade e pela menor aceitabilidade cosmética por parte dos consumidores (SERPONE; DONDI; ALBINI, 2007).

Por outro lado, os filtros orgânicos ou químicos são moléculas contendo grupos cromóforos conjugados capazes de absorver a energia proveniente da radiação ultravioleta e convertê-la em formas menos nocivas de energia, principalmente calor, por meio de processos de relaxamento molecular (SHAATH, 2010; OSTERWALDER; HERZOG, 2010). Entre os principais filtros orgânicos empregados em formulações fotoprotetoras destacam-se a avobenzona, a oxibenzona, o octocrileno, o octinoxato e o homossalato, compostos que apresentam elevada eficiência na absorção de radiação em diferentes faixas do espectro UV e excelente compatibilidade cosmética (WANG; BALAGULA; OSTERWALDER, 2010).

2.5 Impactos Ambientais dos Filtros Solares Sintéticos

Devido à sua elevada eficácia fotoprotetora, boa espalhabilidade e características sensoriais superiores, os filtros químicos são amplamente utilizados em formulações comerciais, frequentemente em associação entre si ou combinados com filtros inorgânicos para ampliar o espectro de proteção e aumentar o fator de proteção solar (FPS) (DUTEIL et al., 2017). No entanto, nas últimas décadas, o uso desses compostos tem sido cada vez mais questionado em virtude de preocupações relacionadas ao potencial de formação de produtos de degradação e, principalmente, aos impactos ambientais decorrentes de sua liberação em ecossistemas aquáticos. Estudos demonstram que determinados filtros orgânicos, como a oxibenzona e o octinoxato, podem apresentar potencial de bioacumulação e toxicidade para organismos marinhos, estando associados ao branqueamento de corais, alterações endócrinas em espécies aquáticas e prejuízos à biodiversidade de ambientes costeiros (DANOVARO et al., 2008; SCHNEIDER; LIM, 2019; SKOCZYLAS et al., 2021). Além disso, alguns filtros químicos apresentam potencial de bioacumulação e persistência ambiental, sendo classificados como contaminantes emergentes de interesse ecotoxicológico (SCHNEIDER; LIM, 2019).

Diante desse cenário, a comunidade científica tem buscado alternativas capazes de reduzir a quantidade de filtros sintéticos empregada nas formulações fotoprotetoras sem comprometer sua eficácia.

2.6 Produtos Naturais como Potenciais Agentes Fotoprotetores

O crescente interesse por formulações sustentáveis tem impulsionado a investigação de compostos naturais capazes de atuar como agentes fotoprotetores ou potencializadores da ação dos filtros convencionais. Diversos metabólitos secundários vegetais apresentam estruturas químicas capazes de absorver radiação UV e neutralizar espécies reativas de oxigênio geradas durante a exposição solar. Entre esses compostos destacam-se flavonoides, ácidos fenólicos, taninos e carotenoides (PANDEY; RIZVI, 2009).

Além da atividade antioxidante, muitos desses compostos apresentam propriedades anti-inflamatórias e capacidade de modular mecanismos celulares envolvidos na resposta ao estresse oxidativo induzido pela radiação UV. Por sua vez, espécies vegetais ricas em compostos fenólicos e flavonoides têm recebido atenção crescente para aplicação em produtos fotoprotetores (NICHOLS, 2014).

2.7 *Baccharis dracunculifolia*: Aspectos Botânicos e Potencial Fotoprotetor

Baccharis dracunculifolia, pertencente à família Asteraceae, representada na Figura 2 é uma espécie arbustiva amplamente distribuída no Brasil, especialmente nas regiões Sudeste e Sul. A planta é reconhecida como a principal fonte botânica da própolis verde brasileira, produto amplamente estudado devido às suas propriedades biológicas (PARK et al., 2004). Estudos fitoquímicos demonstraram que a espécie apresenta composição rica em compostos fenólicos, flavonoides, ácidos fenólicos prenilados, artepeline C e terpenos presentes em seus extratos e óleo essencial, metabólitos esses que estão associados a diversas atividades farmacológicas descritas na literatura, incluindo ação antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana, cicatrizante e antitumoral (FRIGHETTO et al., 2013).

Figura 2- Visão ampliada das folhas de *B. dracunculifolia*

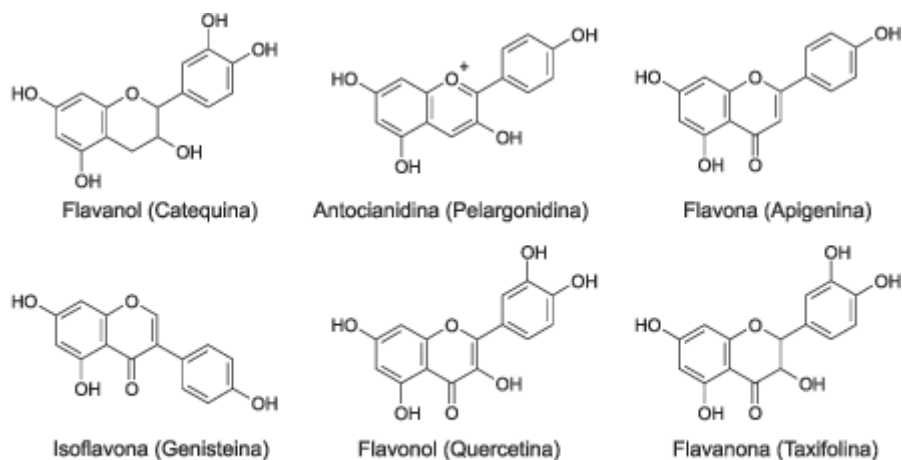


(Elaborado pela autora)

2.8 Flavonoides e Mecanismos de Fotoproteção

Os flavonoides constituem uma das maiores classes de compostos fenólicos produzidos por plantas superiores. Sua estrutura química é caracterizada por dois anéis aromáticos conectados por uma unidade heterocíclica contendo oxigênio, conforme representados na Figura 1. Esses compostos exercem papel fundamental na proteção vegetal contra a radiação solar, funcionando como filtros naturais capazes de absorver radiação ultravioleta principalmente entre 240 e 400 nm.

Figura 1- Estrutura geral e tipos de flavonoides.



Fonte: <https://www.linhacaschaeffer.com.br/dicasinformacoes/19/flavonoides---antioxidantes>

Além da absorção direta da radiação UV, os flavonoides atuam como antioxidantes ao neutralizar radicais livres e espécies reativas de oxigênio geradas durante a exposição solar. Consequentemente, reduzem danos oxidativos ao DNA, proteínas e lipídios celulares (PANDEY; RIZVI, 2009). Dessa forma, a presença desses compostos nos extratos e no óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* torna a espécie uma candidata promissora para utilização em sistemas fotoprotetores.

2.9 Sistemas Nanoestruturados e Nanoemulsões Óleo em Água (O/A)

Apesar do potencial biológico dos flavonoides e demais compostos fenólicos frequentemente apresentam limitações relacionadas à baixa estabilidade físico-química, degradação oxidativa e reduzida biodisponibilidade. Além disso, muitos compostos bioativos apresentam baixa solubilidade em água e reduzida estabilidade durante o armazenamento de formulações cosméticas.

As nanoemulsões surgem como alternativa para proteger esses compostos, aumentar sua estabilidade e potencializar sua atividade biológica (MCCLEMENTS, 2012). Nanoemulsões apresentam partículas com dimensões geralmente inferiores a 200 nm, favorecendo estabilidade cinética, transparência e elevada área superficial.

Os sistemas nanoestruturados têm sido explorados na área farmacêutica e cosmética devido à capacidade de encapsular compostos bioativos e modificar suas propriedades físico-químicas. Entre esses sistemas, as nanoemulsões óleo em água (O/A) destacam-se por

apresentarem gotículas com tamanho nanométrico dispersas em uma fase aquosa contínua. Os sistemas oferecem elevada estabilidade cinética, proteção contra degradação oxidativa, aumento da área superficial e melhor distribuição dos compostos ativos na superfície cutânea (MCCLEMENTS, 2012), e diversas vantagens para aplicações cosméticas, incluindo melhor espalhabilidade, sensação sensorial agradável, maior estabilidade dos ativos lipofílicos e potencial aumento da eficácia fotoprotetora (SOLANS; SOLÉ, 2012).

Quando associadas a compostos naturais presentes em *Baccharis dracunculifolia*, essas nanoestruturas podem atuar como sistemas carreadores capazes de proteger os flavonoides e demais metabólitos bioativos contra degradação ambiental, permitindo que a incorporação de óleo essencial e extratos de *B. dracunculifolia* em nanoemulsões óleo em água represente uma estratégia promissora para o desenvolvimento de formulações fotoprotetoras inovadoras, sustentáveis e potencialmente capazes de reduzir a dependência de filtros solares sintéticos convencionais.

3. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar o potencial fotoprotetor de nanoemulsões carregadas com óleo essencial e com a fração ativa de alecrim do campo (*Baccharis dracunculifolia*).

Objetivos Específicos

- Obter extrato bruto e frações das folhas de *Baccharis dracunculifolia*
- Obter o óleo essencial de folhas da espécie *Baccharis dracunculifolia*;
- Desenvolver nanoemulsões contendo a fração mais ativa, o óleo essencial obtido e a octocrileno;
- Caracterizar as formulações em relação ao tamanho e distribuição das partículas, potencial zeta e estabilidade;
- Avaliar a atividade fotoprotetora da formulação utilizando o equipamento Tecan e varredura eletrônica;
- Avaliar a atividade fotoprotetora do extrato bruto, óleo essencial e frações.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Obtenção do extrato bruto

As folhas, flores e brotos de *Baccharis dracunculifolia* foram coletadas no Campus Morro do Cruzeiro, na Universidade Federal de Ouro Preto, em Ouro Preto, Minas Gerais, nas coordenadas 20°23'50.9"S 43°30'21.1"W. Em seguida, foram secas e trituradas, de modo a obter-se a droga vegetal.

Para a obtenção do extrato, um percolador de inox de 1000 mL foi utilizado, a droga vegetal foi adicionada e umedecida com álcool etílico 70%, seguida de adição do mesmo solvente, permanecendo em repouso por 72 horas. Após esse tempo, o solvente foi evaporado em um rota-evaporador sob uma temperatura de 75°C, e uma nova quantidade de solvente será adicionada ao percolador, obtendo assim uma extração exaustiva da planta.

4.2. Obtenção do óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia*

O óleo essencial foi extraído por destilação por arraste a vapor, utilizando-se sistema de destilação acoplado a condensador. Através do vapor d'água em contato com o material vegetal, foi promovida a volatilização dos compostos aromáticos, que foram posteriormente condensados e separados por diferença de densidade. Foram empregados 1kg de folhas frescas de *Baccharis dracunculifolia*, previamente higienizadas e fragmentadas. Ao término do processo, o óleo essencial foi separado da fase aquosa por funil de separação e armazenado em frasco âmbar sob refrigeração. O rendimento obtido foi de 5 mL, correspondente a 0,5% (m/v) em relação à massa de planta fresca utilizada.

4.3. Partição líquido-líquido do extrato bruto

A partir do extrato bruto e seco das folhas de *Baccharis dracunculifolia*, o fracionamento por partição líquido-líquido foi realizado em sistema bifásico utilizando quatro diferentes solventes em ordem de polaridade decrescente. Inicialmente, o extrato bruto foi ressuspendido em 120 mL de metanol, a fim de se obter uma solução hidroalcoólica. Em seguida, a solução foi transferida para um funil de separação e 60 mL de Hexano foram adicionados em triplicata sucessivamente. Após agitação e separação das fases, a fração hexânica foi coletada em um Erlenmeyer.

Na fase aquosa restante, 140 mL de água ultrapura foram adicionados e em seguida, 60 mL de clorofórmio, sendo submetido ao processo de partição líquido-líquido novamente, três vezes consecutivas. Para uma melhor pureza na partição, a fase aquosa foi transferida a um rota-evaporador, para que os resíduos de solvente fossem eliminados. Posteriormente, a terceira etapa do processo de obtenção das frações foi realizada com acetato de etila, sendo adicionados ao funil de separação contendo a fase aquosa 60mL, também realizado três vezes.

Em seguida, mais 50 mL de água ultrapura foram adicionados, seguidos por 60 mL de n-butanol, e o processo foi repetido por três vezes. A fração aquosa resultante foi levada ao rota-evaporador e, dessa forma, cinco frações foram obtidas ao final do procedimento.

Os rendimentos obtidos foram determinados a partir da massa inicial de matéria-prima utilizada, utilizando a equação a seguir:

$$\text{Rendimento (\%)} = (\text{massa obtida} / \text{massa da matéria - prima}) \times 100$$

4.4. Avaliação do potencial fotoprotetor das frações obtidas e nanoemulsões preparadas.

Foram separados 8 microtubos tipo eppendorf, devidamente identificados como fração butanólica (FB), fração aquosa (FA), fração hexânica (FH), fração clorofórmica (FC), fração acetato etilênica (FAE), rutina (RU), octocrileno (OCT) e extrato bruto (EB). Para cada analito foram preparadas soluções-estoque de concentração inicial 1600 ug/mL. Para as frações, o solvente utilizado foi etanol, e para os filtros sintéticos o solvente utilizado foi metanol, por apresentar solubilidade compatível. As soluções foram homogeneizadas em agitador tipo vórtex para garantir adequada dispersão. Para as nanoemulsões, três microtubos foram separados e identificados como A, B e C, nas concentrações iniciais de 128 mg/mL. Nos ensaios envolvendo produtos naturais utilizou-se etanol, enquanto nos testes com filtros sintéticos foi utilizado metanol. Não foi utilizado ultrassom, visando evitar possível desestruturação das nanoestruturas presentes nas formulações.

Para a etapa de análise em microplaca de 96 poços, foram transferidos 200 µL das soluções de estoque de cada amostra para os poços correspondentes à linha A, e em seguida realizou-se diluição seriada por transferência de 100 µL da linha A para a linha B, e assim sucessivamente obtendo soluções na faixa de concentração de 800 a 12,5 ug/mL. Já para as nanoemulsões, a faixa de concentração utilizada foi de 64 a 1 mg/mL.

As placas devidamente preenchidas com as amostras foram levadas ao Tecan para varredura de absorbância e determinação dos valores de absorbância na faixa de 290 a 320nm, os valores de absorbância obtidos foram corrigidos mediante subtração da absorbância do branco, garantindo maior precisão na análise dos resultados. Os dados coletados foram processados utilizando o Microsoft Excel, e através da equação do método de Mansur, nas leituras de absorção entre 290 e 320 nm, com intervalos de 5 nm, para a determinação da Proteção Solar. É importante destacar que, para resultados satisfatórios, o valor do FPS deve demonstrar um aumento progressivo, indicando que a maior concentração utilizada apresenta o mais elevado valor de FPS. A avaliação dos resultados obtidos pela varredura das amostras será realizada mediante a aplicação do método de Mansur, fundamentado na equação abaixo:

$$\text{FPS}(290-320) = \text{FC} \cdot \sum \text{EE}(\lambda) \cdot I(\lambda) \cdot 2 \cdot \text{Abs}(\lambda)$$

Onde:

FC = fator de correção (igual a 10);

EE (λ) = efeito eritematogênico da radiação de comprimento de onda λ;

$I(\lambda)$ = intensidade da luz solar no comprimento de onda λ ;

$Abs(\lambda)$ = leitura espectrofotométrica da absorbância da solução da amostra no comprimento de onda (λ)

4.5. Preparo e Caracterização das Nanoemulsões Carregadas com Óleo Essencial de *Baccharis dracunculifolia*

As nanoemulsões foram elaboradas utilizando o método de emulsificação por inversão de fases (Phase Inversion Emulsification - PIE), conforme descrito por Seibert et al. (2019a). Esse método consiste no aquecimento separado das fases aquosa e oleosa em banho-maria até atingir uma temperatura de 75 ± 2 °C. Foram preparadas três formulações nanoestruturadas, uma contendo apenas os tensoativos, denominada formulação branca, e duas contendo o óleo essencial de *B. dracunculifolia*, tendo uma destas o filtro de Octocrileno adicionado na fase oleosa, como consta no Quadro 1. Posteriormente, a fase aquosa foi gradualmente adicionada à fase oleosa sob agitação constante a 1000 rpm, por 3 minutos, empregando um agitador mecânico, e 1000 rpm por 2 minutos até o sistema atingir a temperatura ambiente.

Quadro 1- Composição química das nanoemulsões

Branco	Nanoemulsão com ativo e fração	Nanoemulsão com ativo, fração e octocrileno
Span 80 - 4 %	Span 80 - 4%	Span 80 - 4%
Croduret 50 - 6%	Croduret 50 - 6%	Croduret 50 - 6%
Óleo de soja - 5%	Óleo de soja - 5%	Óleo de soja - 5%
DMSO- 2 %	DMSO- 2%	DMSO- 2%
Água destilada - 78%	Água destilada - 77%	Água destilada - 74%
	Fração ativa - 1%	Fração ativa - 1%
	Óleo essencial - 5%	Óleo essencial- 5%
		Octocrileno- 3%
Total : 10g	Total : 10g	Total : 10g

(Elaborado pela autora)

Para a caracterização físico-química, as formulações nanoestruturadas preparadas foram submetidas ao teste de centrifugação conforme preconizado no Guia de Estabilidade para Produtos Cosméticos da ANVISA de 2002, sob centrifugação a 3000 rpm, durante 30 minutos. O produto é considerado estável se não houver sinal de separação de fases, e qualquer indício de instabilidade indica necessidade de reformulação. A caracterização das formulações foi conduzida em triplicata em intervalos de tempo específicos após a preparação, sendo eles: 24 horas, 7, 14, 21 e 28 dias. Em cada intervalo, a caracterização das formulações foi realizada utilizando o equipamento Zetasizer, que permite a determinação do tamanho médio de partícula, do índice de polidispersão (IPD) e do potencial zeta. Para as análises, as amostras foram previamente diluídas na proporção de 1:1000 em água Milli-Q e transferidas para cubetas de quartzo apropriadas. No interior do equipamento, as partículas são incididas por um feixe de laser, promovendo o espalhamento da luz. A intensidade e a variação desse espalhamento estão diretamente relacionadas ao tamanho das partículas, possibilitando sua determinação por meio da técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS). O potencial zeta, por sua vez, foi obtido por mobilidade eletroforética, permitindo avaliar a estabilidade coloidal das formulações.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Rendimento do extrato bruto, frações obtidas e extração do óleo essencial

Os valores para massa das matérias-primas, massas obtidas e rendimentos estão representados na Tabela 1.

Tabela 1- Valores de rendimento calculados através dos valores das massas iniciais e obtidas

Amostra	Massa inicial (g)	Massa obtida (g)	Rendimento calculado (%)
Extrato Bruto	171,41	108,52	63,68
Fração Butanólica	10,00	1,42	14,28
Fração Hexânica	10,00	0,42	4,24
Fração Clorofórmica	10,00	2,34	23,43
Fração em Acetato de Etila	10,00	0,76	7,69
Fração Aquosa	10,00	2,68	26,85
Óleo Essencial	1424,21	7,29	0,51

(Elaborado pela autora)

O rendimento das frações obtidas foi calculado a partir da relação entre a massa final obtida após o processo de fracionamento e a massa inicial de extrato submetida à partição. Os valores obtidos demonstraram variações significativas entre as frações, o que pode ser explicado principalmente pela polaridade dos solventes utilizados e pela afinidade dos compostos presentes na amostra com cada fase extratora. Observou-se que a fração aquosa apresentou o maior rendimento (26,85%), seguida da fração clorofórmica (23,43%). O elevado rendimento da fração aquosa pode estar associado à presença de compostos mais polares, como açúcares, sais, compostos fenólicos e outros metabólitos hidrofílicos, que apresentam maior solubilidade em solventes altamente polares como a água.

A fração clorofórmica, por sua vez, apresenta polaridade intermediária, sendo capaz de solubilizar compostos de caráter moderadamente apolar. O rendimento relativamente elevado dessa fração sugere a presença significativa desses compostos na matriz vegetal analisada. A fração butanólica apresentou rendimento de 14,28%, valor intermediário que pode ser explicado pela polaridade moderada do butanol, solvente frequentemente associado à extração de compostos fenólicos, flavonoides e glicosídeos. Já a fração em acetato de etila apresentou rendimento de 7,69%, possivelmente relacionado à extração seletiva de metabólitos de polaridade intermediária.

Por outro lado, a fração hexânica apresentou o menor rendimento (4,24%), o que pode indicar menor quantidade de compostos altamente apolares na amostra, como ceras, hidrocarbonetos e alguns lipídios, os quais apresentam maior afinidade por solventes de baixa polaridade como o hexano.

Em relação ao óleo essencial, foi obtido rendimento de 0,51%, valor considerado relativamente baixo quando comparado às frações obtidas por extração com solventes. No entanto, esse resultado é esperado, uma vez que os óleos essenciais correspondem geralmente a uma pequena fração da composição total das plantas, sendo constituídos principalmente por compostos voláteis, como monoterpenos e sesquiterpenos.

5.2. Potencial fotoprotetor das frações obtidas

A Tabela 2 apresenta os valores médios e desvios padrão obtidos para as amostras analisadas nas diferentes concentrações avaliadas, bem como os resultados de FPS para o filtro Octocrileno, posteriormente utilizado para preparo das formulações. Observa-se que, de modo geral, os valores diminuem progressivamente com a redução da concentração, comportamento esperado em análises espectrofotométricas, uma vez que a resposta analítica tende a ser proporcional à quantidade de substância presente na amostra.

Tabela 2- Valores de FPS obtidos para as frações ativas, extrato bruto e óleo essencial

Amostra	200ug/mL	100 ug/mL	50 ug/mL	25 ug/mL	12,5 ug/mL
EB	22,21 ± 0,40	11,90 ± 0,24	5,79 ± 0,03	3,55 ± 0,26	2,03 ± 0,08
FH	6,38 ± 0,09	3,49 ± 0,07	1,46 ± 0,09	1,00 ± 0,09	0,55 ± 0,10
FC	22,77 ± 0,24	12,69 ± 0,32	6,03 ± 0,07	3,76 ± 0,10	2,03 ± 0,12
FAE	26,09 ± 0,19	16,37 ± 0,50	8,09 ± 0,11	5,06 ± 0,01	2,74 ± 0,02
FB	15,78 ± 0,33	5,20 ± 0,20	5,20 ± 0,19	3,42 ± 0,19	2,24 ± 0,19
FA	5,40 ± 1,28	2,53 ± 1,65	1,23 ± 0,83	1,12 ± 0,45	0,14 ± 0,73
OE	0,26 ± 0,01	0,02 ± 0,11	0,15 ± 0,05	0,09 ± 0,10	-0,01 ± 0,16
OCT	22,78 ± 0,35	13,95 ± ,422	6,81 ± 0,23	3455 ± 0,60	1,623 ± 0,27

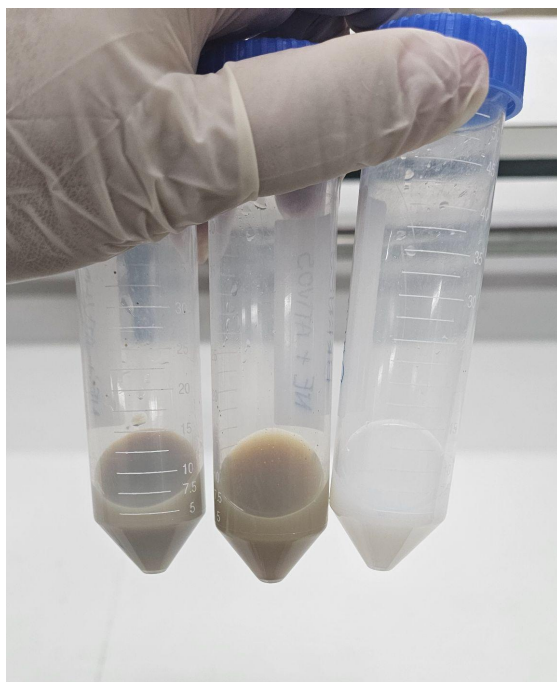
Legenda: EB: Extrato Bruto; FH: Fração Hexânica; FC: Fração Clorofórmica; FAE: Fração em Acetato de Etila; FB: Fração Butanólica; FA: Fração Aquosa; OE: Óleo Essencial; OCT: Octocrileno.

Entre as amostras avaliadas, a fração em acetato de etila (FAE) apresentou os maiores valores nas concentrações mais elevadas, seguida do extrato bruto (EB) e da fração clorofórmica (FC), indicando maior presença de compostos capazes de absorver radiação na faixa espectral analisada. Esse resultado pode ser explicado pela polaridade intermediária do acetato de etila, solvente amplamente reconhecido por apresentar elevada eficiência na extração de metabólitos fenólicos, flavonoides e outros compostos bioativos com sistemas conjugados, os quais possuem forte capacidade de absorção na região do ultravioleta. Esses compostos são frequentemente associados à atividade fotoprotetora, pois seus cromóforos permitem absorver radiação UV e dissipar essa energia de forma segura (Bruneton, 1999; Dai & Mumper, 2010) e atuando na proteção das plantas contra a radiação solar, também auxiliando na redução dos danos causados pelo estresse oxidativo, por meio da neutralização de espécies reativas de oxigênio formadas durante a exposição solar. Em contrapartida, frações obtidas com solventes mais apolares, como o hexano, tendem a concentrar compostos lipofílicos que geralmente apresentam menor absorção nessa região espectral. Dessa forma, o maior desempenho observado para a fração em acetato de etila pode estar relacionado ao enriquecimento dessa fração em metabólitos fenólicos e flavonoides, reconhecidos por seu potencial fotoprotetor e antioxidante. Além disso, os valores de desvio padrão observados foram relativamente baixos para a maioria das amostras, indicando boa reprodutibilidade das medições experimentais e reforçando a confiabilidade dos resultados obtidos.

5.3. Preparo e caracterização físico-química dos sistemas nanoestruturados

As formulações foram obtidas com sucesso a partir do método de preparo previamente descrito, resultando em sistemas coloidais com aspecto homogêneo, sem evidência de separação de fases ou precipitação imediatamente após a preparação e teste de centrifugação, como consta na Figura 3. A aparência visual das dispersões apresentou leve opalescência, característica frequentemente observada em sistemas nanoestruturados devido à dispersão de partículas na escala nanométrica.

Figura 3- Formulações após teste de centrifugação: Nanoemulsão com ativos, com ativos e filtro sintético e branco respectivamente



Fonte: A autora

A caracterização físico-química das formulações foi realizada com o objetivo de avaliar parâmetros determinantes para a estabilidade e desempenho do sistema, incluindo tamanho médio de partícula, índice de polidispersão (PDI) e potencial zeta das formulações.

O tamanho médio das partículas obtido indica a formação de estruturas na escala nanométrica, característica fundamental para sistemas de liberação nanoestruturados. A redução do tamanho das partículas contribui para o aumento da área superficial específica, o que pode favorecer a interação com o meio biológico, além de melhorar a estabilidade cinética do sistema coloidal. Em formulações nanoestruturadas destinadas à aplicação tópica, partículas na escala nanométrica também podem favorecer maior uniformidade de distribuição sobre a superfície da pele.

O índice de polidispersão (PDI) foi utilizado como indicador da homogeneidade da distribuição do tamanho das partículas. De modo geral, valores reduzidos de PDI indicam uma distribuição mais uniforme, o que é desejável em sistemas nanoestruturados, pois reduz a ocorrência de agregação e instabilidade física ao longo do tempo. Sistemas com distribuição de tamanho mais estreita tendem a apresentar maior estabilidade coloidal, uma vez que partículas de tamanhos muito distintos podem favorecer processos de coalescência ou sedimentação.

Por sua vez, o potencial zeta constitui um importante parâmetro relacionado à estabilidade eletrostática das dispersões coloidais. Valores mais elevados em módulo indicam maior repulsão eletrostática entre as partículas, o que reduz a probabilidade de agregação e contribui para a manutenção da estabilidade física da formulação. Dessa forma, o potencial zeta observado nos nanossistemas sugere que as partículas apresentam carga superficial suficiente para promover repulsão entre si, favorecendo a estabilidade do sistema (LUNARDI, 2021).

Os resultados de caracterização das formulações nanoestruturadas foram conduzidos em 24h, 7, 14, 21 e 28 dias e estão representados na Tabela 3.

Tabela 3- Resultados da avaliação da estabilidade das nanoemulsões

Dia da Análise	Tamanho hidrodinâmico médio (nm)	Índice de polidispersão	Potencial Zeta (mV)
Dia 0 (Branca)	85,45 ± 1,34	0,278 ± 0,018	-35 ± 1,01
(NE)	66,23 ± 0,22	0,088 ± 0,011	-26,3 ± 1,42
(NE + OCT)	91,5 ± 0,62	0,054 ± 0,009	-21,5 ± 1,56
Dia 7 (Branca)	84,42 ± 1,37	0,257 ± 0,009	-33,8 ± 0,70
(NE)	66,3 ± 0,81	0,109 ± 0,003	-25,5 ± 2,25
(NE + OCT)	90,52 ± 0,43	0,054 ± 0,004	-23,8 ± 1,11
Dia 14 (Branca)	85,45 ± 1,34	0,278 ± 0,018	-28,4 ± 0,73
(NE)	66,23 ± 0,22	0,088 ± 0,011	-27 ± 1,2
(NE + OCT)	91,5 ± 0,62	0,054 ± 0,009	-27,4 ± 2,25
Dia 21 (Branca)	86,45 ± 0,68	0,313 ± 0,016	-40,2 ± 0,25
(NE)	65,82 ± 0,47	0,084 ± 0,01	-28,9 ± 1,48
(NE + OCT)	90,18 ± 0,29	0,063 ± 0,006	-24,6 ± 1,04
Dia 28 (Branca)	86,61 ± 0,67	0,283 ± 0,028	-32,2 ± 0,62
(NE)	64,82 ± 0,14	0,112 ± 0,002	-29,4 ± 1,31
(NE + OCT)	90,46 ± 0,73	0,065 ± 0,007	-24,4 ± 0,55

Legenda: NE: nanoemulsão com ativos; NE + OCT: nanoemulsão com ativos e octocrileno

(Elaborado pela autora)

Os resultados obtidos demonstraram que todas as formulações apresentaram tamanho hidrodinâmico médio na faixa nanométrica, variando aproximadamente entre 64 e 91 nm ao longo do período de análise. A nanoemulsão branca apresentou tamanho médio inicial de

85,45 nm, mantendo valores próximos até o dia 28 (86,61 nm), o que indica elevada estabilidade estrutural do sistema ao longo do armazenamento. A formulação NE apresentou tamanho médio próximo de 66 nm durante todo o período avaliado, enquanto a formulação contendo OCT apresentou valores em torno de 90 nm. O aumento discreto no tamanho hidrodinâmico observado na formulação contendo OCT pode ser atribuído à incorporação do composto lipofílico na fase oleosa da nanoemulsão, o que pode influenciar a organização interfacial das gotículas e resultar em leve aumento no diâmetro médio das partículas (Solans & Solé, 2012). De modo geral, partículas na faixa nanométrica são consideradas desejáveis para sistemas nano emulsionados, pois proporcionam maior área superficial, melhor dispersão no meio e maior estabilidade cinética, além de favorecerem a formação de filmes mais homogêneos em aplicações tópicas (McClements, 2012).

O índice de polidispersão (PDI) foi utilizado como indicador da uniformidade da distribuição de tamanho das partículas. Valores de PDI inferiores a 0,3 são geralmente considerados indicativos de sistemas com distribuição relativamente homogênea (Danaei et al., 2018). No presente estudo, a nanoemulsão branca apresentou valores entre 0,257 e 0,313 ao longo do período de análise, indicando distribuição de tamanho moderadamente uniforme. Em contrapartida, as formulações NE e NE + OCT apresentaram valores significativamente menores de PDI, variando aproximadamente entre 0,054 e 0,112, o que sugere distribuição de tamanho altamente homogêneo e monodispersa. Esses resultados indicam que o método de preparo empregado foi eficiente na formação de gotículas uniformes e bem distribuídas no sistema.

O potencial zeta também foi avaliado como indicador da estabilidade coloidal das formulações nanoestruturadas. Esse parâmetro está diretamente relacionado à carga superficial das partículas e à intensidade das forças de repulsão eletrostática entre elas. De acordo com a literatura, valores absolutos superiores a aproximadamente 30 mV são considerados indicativos de sistemas com elevada estabilidade coloidal, uma vez que a repulsão eletrostática entre as partículas reduz a probabilidade de agregação (Honary & Zahir, 2013). A nanoemulsão branca apresentou valores de potencial zeta variando entre -28,4 e -40,2 mV ao longo do período avaliado, indicando boa estabilidade eletrostática. Já as formulações NE e NE + OCT apresentaram valores ligeiramente menores em módulo, variando aproximadamente entre -21,5 e -29,4 mV. Embora esses valores sejam inferiores aos observados na formulação branca, ainda indicam estabilidade coloidal satisfatória,

possivelmente associada à estabilização estérica promovida pelos tensoativos presentes na formulação, além da contribuição da repulsão eletrostática (Tadros et al., 2004).

De maneira geral, a análise conjunta dos parâmetros físico-químicos avaliados demonstra que os sistemas nanoestruturados apresentaram boa estabilidade coloidal ao longo dos 28 dias de armazenamento. As variações observadas nos valores de tamanho de partícula, PDI e potencial zeta foram discretas e permaneceram dentro dos limites considerados aceitáveis para sistemas nanoestruturados. Esses resultados indicam que o método de preparo empregado foi adequado para a obtenção de nanoemulsões estáveis, mesmo após a incorporação do composto OCT, sugerindo potencial aplicação dessas formulações em sistemas de liberação de compostos bioativos ou formulações fotoprotetoras.

5.4. Potencial fotoprotetor das formulações

A análise dos valores de Fator de Proteção Solar (FPS) obtidos para as diferentes formulações demonstra variações significativas na capacidade fotoprotetora em função da composição e da concentração das amostras avaliadas. De acordo com as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária, para que um produto seja classificado com atividade fotoprotetora satisfatória, é necessário apresentar FPS mínimo igual ou superior a 6, sendo valores inferiores considerados insuficientes para garantir proteção eficaz contra a radiação UVB.

Das análises conduzidas, a concentração utilizada para cálculo do FPS através da fórmula de Mansur foi a de 2,0 mg/mL.

A partir dos dados apresentados na Tabela 4, a formulação NE (nanoemulsão contendo óleo e fração ativa) apresentou valor de FPS de $4,27 \pm 0,0095$ na mesma concentração avaliada. O aumento em relação à amostra B sugere que o sistema nanoestruturado contribui para melhorar a dispersão dos compostos ativos, aumentando a área de interação com a radiação UV e, consequentemente, elevando a capacidade de absorção dessa radiação. Apesar desse incremento, o valor obtido ainda permanece abaixo do limite mínimo estabelecido pela ANVISA para a classificação de um produto como fotoprotetor, porém, esse resultado pode estar relacionado à porcentagem de fração ativa utilizada no preparo das formulações, sugerindo que em estudos futuros utilizando maiores porcentagens da fração ativa poderiam aumentar o FPS, possibilitando a obtenção de valores compatíveis com os critérios estabelecidos pela ANVISA para produtos fotoprotetores ($\text{FPS} < 6$).

Tabela 4 - Valores de FPS encontrados para as formulações nanoestruturadas produzidas.

Amostra	Valor de FPS
B	0,90 $\pm$ 0,56
NE	4,27 $\pm$ 0,0095
NE+ OCT	17,07 $\pm$ 0,44

Legenda: B: branco; NE: nanoemulsão com ativos; NE + OCT: nanoemulsão com ativos e octocrileno

(Elaborado pela autora)

A formulação NE + OCT (nanoemulsão contendo fração ativa associada ao filtro solar orgânico octocrileno) apresentou o maior valor de FPS entre as amostras avaliadas, atingindo $17,07 \pm 0,4423$ na concentração de 2,0 mg/mL. Esse valor encontra-se acima do mínimo regulatório exigido, indicando elevada capacidade de proteção contra radiação UVB, mesmo na concentração baixa.

O aumento expressivo observado nessa formulação pode ser atribuído à presença do filtro solar orgânico Octocrileno, amplamente utilizado em formulações fotoprotetoras devido à sua capacidade de absorver radiação na faixa UVB e parte da região UVA curta. Além disso, a associação do filtro com o sistema nanoestruturado pode favorecer maior estabilidade e melhor distribuição dos compostos ativos na formulação, resultando em um possível efeito sinérgico que potencializa a eficiência fotoprotetora.

Dessa forma, os resultados obtidos indicam que a nanoestruturação contribui para o aumento da atividade fotoprotetora quando comparada à formulação controle, enquanto a incorporação de um filtro solar orgânico promove um incremento significativo no valor de FPS, permitindo atingir níveis compatíveis com os critérios regulatórios para produtos fotoprotetores. Esses achados sugerem que a combinação de sistemas nanoestruturados com filtros UV convencionais representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de formulações fotoprotetoras mais eficazes.

Porém, vale ressaltar ainda que são necessários estudos complementares envolvendo a determinação do comprimento de onda crítico, teste de resistência à água e absorção na faixa de UVA, estudos preconizados pela ANVISA para o desenvolvimento e preparo de filtros solares. Essas etapas serão importantes para confirmar a eficácia e a segurança das formulações desenvolvidas e para avaliar de forma mais completa o potencial de *Baccharis dracunculifolia* como fonte de compostos bioativos para aplicação em produtos fotoprotetores.

6. CONCLUSÕES

De modo geral, os resultados obtidos sugerem que a associação entre extrato ativo, óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* e sistemas nanoestruturados apresenta potencial para aplicação em formulações fotoprotetoras à base de ativos naturais. Além disso, o estudo contribui para ampliar o conhecimento sobre o uso de metabólitos vegetais em sistemas nanoestruturados voltados para a área cosmética e farmacêutica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAJERSKI, L. et al. **The use of Brazilian vegetable oils in nanoemulsions: an update on preparation and biological applications.** Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 52, n. 3, p. 347-363, set. 2016.
- BILIA, A. R. et al. **Essential oils loaded in nanosystems: a developing strategy for a successful therapeutic approach.** Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, v. 2014, p. 1-14, 2014.
- BRUNETON, Jean. **Pharmacognosy, phytochemistry, medicinal plants.** 2. ed. Paris: Lavoisier Publishing, 1999.
- CADET, J.; DOUKI, T.; RAVANAT, J. L. **Oxidatively generated damage to cellular DNA by UVB and UVA radiation.** Photochemistry and Photobiology, v. 91, n. 1, p. 140-155, 2015.
- DAI, Jin; MUMPER, Russell J. **Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties.** Molecules, Basel, v. 15, n. 10, p. 7313-7352, 2010.
- DANAEI, Mohammad et al. **Impact of particle size and polydispersity index on the clinical applications of lipidic nanocarrier systems.** Pharmaceutics, Basel, v. 10, n. 2, p. 57, 2018.
- DANOVARO, R. et al. **Sunscreens cause coral bleaching by promoting viral infections.** Environmental Health Perspectives, v. 116, n. 4, p. 441-447, 2008.
- DIFFEY, B. L. **Sources and measurement of ultraviolet radiation.** Methods, v. 28, p. 4-13, 2002.
- DOS SANTOS, D. A. et al. **Anti-inflammatory and antinociceptive effects of *Baccharis dracunculifolia* DC (Asteraceae) in different experimental models.** Journal of Ethnopharmacology, v. 127, n. 2, p. 543-550, fev. 2010.
- DUTEIL, L. et al. **The development of sunscreen products.** In: SHAATH, N. A. Sunscreens: regulations and commercial development. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- FISHER, G. J. et al. **Mechanisms of photoaging and chronological skin aging.** Archives of Dermatology, v. 138, n. 11, p. 1462-1470, 2002.
- FRIGHETTO, R. T. S. et al. **Chemical composition and antioxidant activity of *Baccharis dracunculifolia* extracts.** Journal of Medicinal Plants Research, 2013.
- GILBERT, E. et al. **Theoretical and experimental investigation of the optical properties of sunscreen nanoparticles.** Journal of Biomedical Nanotechnology, v. 9, p. 522-529, 2013.
- GREEN, A. et al. **Daily sunscreen application and prevention of basal-cell and squamous-cell carcinomas of the skin.** The Lancet, v. 354, p. 723-729, 1999.

HONARY, Saeed; ZAHIR, Farshad. **Effect of zeta potential on the properties of nano-drug delivery systems: a review.** Tropical Journal of Pharmaceutical Research, Benin City, v. 12, n. 2, p. 255-264, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). **Estimativa 2023: incidência de câncer no Brasil.** Rio de Janeiro: INCA, 2023.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). **Solar and ultraviolet radiation.** Lyon: IARC, 2012.

LUNARDI, C. N. et al. **Experimental methods in chemical engineering: Zeta potential.** *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, v. 99, n. 3, p. 627–639, 2021. <https://doi.org/10.1002/cjce.23914>.

MANSUR, J. S. et al. **Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria.** Portal Regional da BVS, v. 61, n. 3, p. 4-121, maio de 1986. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-34224>. Acesso em: 25 mai. 2026.

MCCLEMENTS, David J. **Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences, and similarities.** Soft Matter, Cambridge, v. 8, p. 1719-1729, 2012.

MONTEIRO, E. S. **Formulação de nanoemulsões, avaliação da atividade antibacteriana e da composição química de óleos essenciais de alecrim do campo (*Baccharis dracunculifolia*).** 2021. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias em Saúde) — Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

NARLA, S.; LIM, H. W. **Principles of photobiology and photoprotection.** Dermatologic Clinics, v. 38, n. 2, p. 137-149, 2020.

NARLA, S.; LIM, H. W. **Ultraviolet radiation and skin cancer.** International Journal of Dermatology, v. 59, p. 130-136, 2020.

NICHOLS, J. A.; KATIYAR, S. K. **Skin photoprotection by natural polyphenols: anti-inflammatory, antioxidant and DNA repair mechanisms.** In: AFAQ, F.; MUKHTAR, H. (ed.). Photoprotection by Botanicals. Boca Raton: CRC Press, 2014.

OSTERWALDER, U.; HERZOG, B. **Sun protection factors: worldwide confusion.** British Journal of Dermatology, v. 161, p. 13-24, 2010.

PANDEY, K. B.; RIZVI, S. I. **Plant polyphenols as dietary antioxidants.** Oxidative Medicine and Cellular Longevity, v. 2, n. 5, p. 270-278, 2009.

PARK, Y. K. et al. **Botanical origin and chemical composition of Brazilian propolis.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 52, p. 1100-1103, 2004.

PARK, Y. K. et al. **Evaluation of Brazilian propolis by both physicochemical methods and biological activity.** Honeybee Science, Tamagawa, v. 21, n. 2, p. 85-90, 2000.

PEDRO, A. S. et al. **The use of nanotechnology as an approach for essential oil-based formulations with antimicrobial activity.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/299398183>. Acesso em: 09 de jun de 2026.

SANTOS et al. **Evaluation of the *in vitro* photoprotective capacity of *Moringa oleifera* oil for its use in sunscreen formulation.** Revista de Biotecnologia & Ciência, v. 10, n. 2, p. 14-20, 6 dez. 2021.

SCHNEIDER, S. L.; LIM, H. W. **Review of environmental effects of oxybenzone and other sunscreen active ingredients.** Journal of the American Academy of Dermatology, v. 80, n. 1, p. 266-271, 2019.

SERPONE, N.; DONDI, D.; ALBINI, A. **Inorganic and organic UV filters: their role and efficacy in sunscreens and suncare products.** Inorganica Chimica Acta, v. 360, p. 794-802, 2007.

SHAATH, N. A. **Evolution of modern sunscreen chemicals.** In: SHAATH, N. A. Sunscreens: regulations and commercial development. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

SHAATH, N. A. **Sunscreens: regulations and commercial development.** 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

SKOCZYLAS, Ł. et al. **Sunscreen products as emerging pollutants in aquatic environments.** Environmental Science and Pollution Research, v. 28, p. 59725-59742, 2021.

SOLANS, Carlos; SOLÉ, Isabel. **Nano-emulsions: formation by low-energy methods.** Current Opinion in Colloid & Interface Science, London, v. 17, p. 246-254, 2012.

TADROS, Tharwat et al. **Formation and stability of nano-emulsions.** Advances in Colloid and Interface Science, Amsterdam, v. 108-109, p. 303-318, 2004.

WANG, S. Q.; BALAGULA, Y.; OSTERWALDER, U. **Photoprotection: a review of the current and future technologies.** Dermatologic Therapy, v. 23, n. 1, p. 31-47, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Ultraviolet radiation and human health.** Geneva: WHO, 2017. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation-and-human-health>. Acesso em: 30 jun. 2026.

YOUNG, A. R. **Acute effects of UVR on human eyes and skin.** Progress in Biophysics and Molecular Biology, v. 92, p. 80-85, 2006.