

Síntese e Caracterização de Polietilenoglicóis Puros e Modificados com Filtro Solar Comercial: Avaliação de Propriedades Fotoprotetoras e Antimicrobianas

Synthesis and Characterization of Pure and Modified Polyethylene Glycols with Commercial Sunscreen: Evaluation of Photoprotective and Antimicrobial Properties

Laura C. Campideli,^{a, ID} Lucas R. D. Souza,^b Orlando D. H. dos Santos,^b Paula. M. de A. Vieira,^c Tatiane A. Roquete,^b Luiz Fernando M. Teixeira,^b Kátia M. Novack,^a Andreia Batista,^{a, ID} Ângela L. Andrade,^{a, ID} Leonan I. de C. R. e Santos,^{a, ID} Rodrigo S. Corrêa,^a Adrielle F. de Amaral,^{a, ID} Viviane M. R. dos Santos^{a,* ID}

^a Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto de Ciências Biológicas e Exatas, Departamento de Química, CEP 35400-000, Ouro Preto-MG, Brasil

^b Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Farmácia, Departamento de Farmácia, CEP 35400-000, Ouro Preto-MG, Brasil

^c Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto de Ciências Biológicas e Exatas, Departamento Ciências Biológicas, CEP 35400-000, Ouro Preto-MG, Brasil

*E-mail: vivianesantos@ufop.edu.br

Submissão: 3 de Agosto de 2025 – Aceite: 9 de Março de 2026 – Publicado online: 19 de Março de 2026

In the pharmaceutical and cosmetic industries, polymers are relevant due to their versatility and various applications, such as increasing the solubility of active ingredients, reducing toxicity, and enabling controlled release system. Among them, poli(etileno glicol) (PEG) stands out for its biocompatibility, low toxicity, and ability to form stable matrices. In this study, PEG-based polymeric matrices of 3400 (Mw) and 6000 (Mw) were synthesized and characterized, modified through conventional organic reactions, and incorporated into the sunscreen Neo Heliopan®AV. The aim was to evaluate their physicochemical, photoprotective, and biological properties. The formulations were characterized using infrared spectroscopy (FTIR), thermogravimetric analysis (TGA), and scanning electron microscopy (SEM). SPF (sun protection factor) tests, cytotoxicity assays on human fibroblasts, and antibacterial activity tests were also performed. The analyses confirmed the formation of microspheres, as well as an increase in SPF proportional to the concentration of Neo Heliopan®AV, with PEG 6000 showing better results compared to PEG 3400. FTIR spectra displayed characteristic bands of the sunscreen in the formulations. No significant cytotoxicity or antibacterial activity was observed, indicating safety for topical use and preservation of the skin microbiota. In conclusion, the developed formulations demonstrate potential for photoprotective cosmetic applications, combining efficacy, safety, and the possibility of controlled release of the active ingredient.

Keywords: Neo Heliopan®AV; sunscreen; polyethylene glycol (PEG); sun protection factor (SPF).

1. Introdução

Os raios ultravioletas (UV) estão associados a diversas formas de danos à saúde humana. Atualmente, reconhece-se que tanto os comprimentos de onda UVA quanto UVB podem contribuir para o desenvolvimento de lesões cutâneas crônicas. A exposição excessiva ao sol leva ao envelhecimento precoce da pele, hiperpigmentação e lesões pré-malignas e malignas. Essa exposição recorrente pode ser reduzida pelo uso de produtos cosméticos com fator de proteção solar (FPS).¹

Os filtros solares são responsáveis por promover a fotoproteção contra radiações UVA, UVB e luz visível, sendo amplamente utilizados em formulações cosméticas. Eles atuam reduzindo a quantidade de radiação que atinge a pele por meio de absorção e/ou reflexão.² Dessa forma, os

protetores solares consistem na combinação de diferentes filtros solares, sendo o FPS, o índice que determina o tempo de exposição ao sol sem provocar eritema, ou seja, sem causar vermelhidão na pele. Em outras palavras, o FPS indica o nível de proteção oferecido contra os raios UV, sendo sua eficácia dependente da capacidade de absorção da energia radiante, proporcional à concentração, intervalo de absorção e comprimento de onda de máxima absorção.² Entre os filtros solares disponíveis, o Neo Heliopan®AV (trans 4-metoxicinamato de 2-etilhexila), é amplamente utilizado na indústria cosmética devido à sua eficácia na proteção contra os raios UVB, principais responsáveis por queimaduras solares e danos imediatos. Além disso, apresenta facilidade de incorporação em formulações, sendo frequentemente empregado em produtos destinados à fotoproteção diária e em protetores resistentes à água.³⁻⁴

Os critérios importantes para a eficácia da proteção solar são: condições de exposição (direta ou indireta), nível de proteção (FPS), quantidade de produto aplicado, período de exposição, espessura da camada, cobertura, capacidade de espalhar a fórmula e de permear a pele. Muitas dessas características são inerentes à fórmula e podem refletir a eficácia do protetor solar. É importante desenvolver uma formulação capaz de revestir a pele uniformemente, por meio da seleção cuidadosa da substância fotoprotetora, da estabilidade da formulação, do veículo químico e de outros componentes. Cada forma cosmética de protetor solar possui características específicas, determinadas pela combinação de ingredientes químicos ativos e pelo veículo utilizado, fatores que podem impactar a sua eficácia. Em geral, esses produtos são classificados segundo parâmetros como polaridade, viscosidade e espessura.¹

Os materiais poliméricos são muito versáteis em relação às suas propriedades elásticas e à funcionalização da superfície. Podem ser facilmente produzidos em escala laboratorial e em nível industrial.⁵ Os avanços na tecnologia de protetores solares estão preenchendo importantes lacunas no estudo da fotoproteção, especialmente ao oferecer uma cobertura mais ampla contra os raios UVA de longo comprimento de onda (UVA1) e contra a luz visível. Filtros solares emergentes apresentam soluções promissoras para esses desafios, proporcionando maior fotostabilidade e melhor eficácia no combate à hiperpigmentação e ao fotoenvelhecimento. Além disso, a inclusão de antioxidantes nas formulações pode potencializar a eficácia dos protetores solares, combatendo o estresse oxidativo e a inflamação.⁶

Os polímeros, por sua vez, são macromoléculas formadas por unidades químicas repetidas, denominadas meros, ligadas entre si por ligações covalentes. O número de meros presentes na cadeia polimérica define o grau de polimerização, representado por *n* ou DP.^{7,8} Graças às suas propriedades versáteis, os polímeros têm sido amplamente utilizados na área farmacêutica, atuando como sistemas carreadores de fármacos, possibilitando sua liberação controlada.^{7,8}

Dentre eles, destaca-se o poli(etileno glicol) (PEG) (Figura 1), um polímero sintético hidrossolúvel, atóxico e de baixa volatilidade, com ampla aplicação nas indústrias farmacêutica, têxtil e cosmética. O PEG é utilizado como agente solubilizante, ligante em formulações de comprimidos e agente espessante.⁹

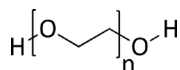


Figura 1. Estrutura química do poli(etileno glicol) (PEG)

Os protetores solares orgânicos apresentam alguns ingredientes na sua composição, que visam melhorar a aplicação e a aparência cosmética do produto na pele,

mas alguns filtros solares na composição podem causar dermatite alérgica ou irritativa. A causa mais frequente de dermatite alérgica ou irritativa em filtros solares é a benzofenona-3. Embora as reações de dermatite de contato relacionadas aos filtros UV sejam motivo de preocupação, as evidências sugerem que sua incidência é relativamente baixa.¹⁰⁻¹² O Neo Heliopan®AV (*trans* 4-metoxicinamato de 2-etilhexila) (Figura 2) destaca-se como um filtro solar de amplo espectro, eficaz contra os raios UVA e UVB. No entanto, assim como outros ingredientes cosméticos, seu uso pode acarretar alguns aspectos negativos, como reações alérgicas, irritação cutânea e sensação de textura espessa ou pegajosa na pele.

A incorporação do Neo Heliopan®AV em matrizes de PEG oferece diversas vantagens, como maior estabilidade do filtro, melhor dispersão na formulação e liberação controlada, prolongando sua ação fotoprotetora. Além disso, o PEG melhora a textura do protetor solar, conferindo maior agradabilidade sensorial, e pode reduzir possíveis irritações cutâneas ao formar uma matriz polimérica ao redor do filtro, aumentando tanto a segurança quanto a eficácia da formulação.^{10,11}

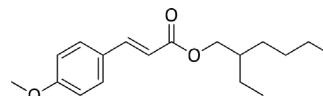


Figura 2. Estrutura química do Neo Heliopan®AV (*trans* 4-metoxicinamato de 2-etilhexila)

Os avanços na tecnologia de protetores solares têm contribuído para superar lacunas importantes na fotoproteção, especialmente no que diz respeito a uma proteção mais ampla contra o UVA (UVA1) e contra a luz visível. Filtros solares emergentes despontam como soluções promissoras, apresentando maior fotoestabilidade e eficácia na prevenção da hiperpigmentação e do fotoenvelhecimento. Além disso, a incorporação de antioxidantes e de estratégias de fotoproteção natural ou polimérica surgem como alternativa complementar, auxiliando no combate ao estresse oxidativo e à inflamação.^{13,14}

A escolha do filtro solar Neo Heliopan®AV para a incorporação dos PEGs deve-se às suas reconhecidas vantagens cosméticas, sendo amplamente utilizado em protetores solares e em maquiagens com FPS. Sua aplicação possibilita o desenvolvimento de uma proteção solar de amplo espectro, eficaz tanto contra queimaduras solares (UVB) quanto contra envelhecimento precoce e danos no DNA (UVA).¹⁵⁻¹⁷

O PEG é o polímero mais utilizado e também o padrão-ouro no campo emergente da administração de fármacos baseada em polímeros com aplicações biomédicas. A incorporação em polímeros pode possibilitar a liberação

controlada do filtro solar em pequenas quantidades ao longo da exposição ao sol, o que contribui para melhorar a fotoestabilidade e aumentar o tempo de proteção solar efetiva.^{9,14,18,19}

Neste trabalho, foram utilizados PEGs de dois pesos moleculares (3400 e 6000) para a incorporação do filtro solar Neo Heliopan®AV, visando otimizar sua estabilidade, dispersão e desempenho fotoprotetor. A citotoxicidade das matrizes poliméricas contendo o filtro solar foi avaliada por meio de ensaios de atividade antimicrobiana e viabilidade celular.

2. Parte Experimental

2.1. Condições gerais

Reagentes (ácido sulfúrico, ácido acético, álcool polivinílico, poli(etileno glicol) de massas moleculares 3400 e 6000 e o filtro solar Neo Heliopan®AV (*trans* 4-metoxicinamato de 2-etilhexila)) foram obtidos da Sigma-Aldrich (St. Louis, EUA). O solvente orgânico diclorometano P.A. foi adquirido da marca VETEC (Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brazil). Os reagentes foram utilizados sem purificação adicional e adquiridos de fornecedores comerciais. O FPS *in vitro* foi determinado pelo método espectrofotométrico.

2.2. Síntese 1: reação de esterificação seguida de hidrólises dos PEGs (3400 e 6000)

Em um balão de fundo redondo, 2,0 g de PEG (pesos moleculares 3400 e 6000) foram solubilizados em 10,0 mL de diclorometano. Paralelamente, em um béquer, foi preparada uma mistura contendo 0,1 mL de ácido sulfúrico concentrado e 7,0 mL de ácido acético. Essa solução foi adicionada ao balão contendo o PEG previamente solubilizado, que foi colocado em banho-maria a 40 °C por 65 min. Em seguida, a solução resultante foi transferida para um funil de separação, e foram adicionados 10,0 mL de água. A fase orgânica foi recolhida e colocada na estufa de secagem e esterilização digital, para secar na temperatura de 40 °C por 24 h.¹⁴

2.3. Síntese 2: incorporação do filtro solar sintético em matrizes poliméricas de PEGs (3400 E 6000)

Para a incorporação do Neo Heliopan®AV nos PEGs (pesos moleculares 3400 E 6000), preparou-se inicialmente a fase aquosa: 40,00 mL de água foram adicionados a um béquer e aquecidos até aproximadamente 70 °C. Em seguida, adicionou-se lentamente 0,12 g de álcool polivinílico (PVA), sob agitação, até completa dissolução. Paralelamente,

preparou-se a fase orgânica: em um béquer de 25,00 mL contendo aproximadamente 6,00 mL de diclorometano, aquecido a cerca de 30 °C, foram adicionados 0,30 g do PEG e 0,10 g de Neo Heliopan®AV, mantendo o sistema sob agitação até completa dissolução. Após o preparo das fases, a fase aquosa foi vertida sobre a fase orgânica, e a mistura foi submetida à agitação magnética sob refluxo a 35 °C durante quatro horas.^{14,18,19}

2.4. Análise de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As análises de Infravermelho (FTIR) foram realizadas com Thermo Scientific Nicolet 380 FT-IR, região de alta frequência (4000 a 600 cm⁻¹) com pastilhas de KBr.

2.5. Análise Termogravimétrica (TGA e TDA)

Na análise térmica, as amostras foram submetidas à análise termogravimétrica (TGA) e análise térmica diferencial (TDA), utilizando uma taxa de aquecimento de 20 °C min⁻¹, uma faixa de temperatura de 20 – 700 °C e sob atmosfera de ar sintético.

2.6. Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada no NanoLab, na Escola de Minas, usando o Microscópio eletrônico de varredura - MEV JSM6510 (Jeol) equipado com sistemas EDS (Bruker) e Catodo luminescência (Bruker), nesse equipamento aplicou-se uma diferença de potencial variando de 0,5 a 30 kV. Antes da análise, as amostras passaram por um processo de metalização conferir-lhes condutividade elétrica, sendo posteriormente analisadas no equipamento.

2.7. Determinação do Fator de Proteção Solar (FPS)

Foi preparada uma solução-mãe na concentração de 1 mg de amostra por 1 mL de etanol para cada amostra. Em seguida, foram preparadas soluções diluídas a partir dessa solução-mãe, nas concentrações de 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,07 e 0,1 mg mL⁻¹. As medições de absorção UV-Vis foram realizadas utilizando o espectrofotômetro Genesys 10S para determinar a absorbância máxima na região ultravioleta do UVB. Cada amostra foi transferida para a cubeta de quartzo com caminho óptico de 1,0 cm. Em seguida, foi realizada a varredura no espectrofotômetro, em intervalos de 5 nm entre os comprimentos de onda de 290 nm a 320 nm. Para processar os dados coletados, usou-se o excel e, por meio do método de Mansur, demonstrado na

equação 1,²⁰ foi possível determinar o valor do FPS (fator de proteção solar).

$$\text{FPS} = \text{FC} \times \sum_{290}^{320} \times \text{EE}(\lambda) \times \text{I}(\lambda) \times \text{Abs}(\lambda) \quad (1)$$

Em que o FC é o fator de correção (10); EE(λ) é a eficácia eritematosa da radiação no comprimento de onda λ , I(λ) é a intensidade relativa da radiação solar no comprimento de onda λ e Abs(λ) é a absorbância da amostra no comprimento de onda λ . Os valores de EE(λ)-I(λ) utilizados foram os normalizados propostos por Mansur²⁰, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Ponderação empregada no cálculo do FPS por espectrofotometria²⁰

Comprimento de Onda (nm)	EE x I (Valores Relativos)
290	0,0150
295	0,0817
300	0,2874
305	0,3278
310	0,1864
315	0,0839
320	0,0180
Total	1,0000

2.8. Ensaio de viabilidade celular

A citotoxicidade foi determinada pelo método de redução do MTT (3-[4,5-dimetiltiazol-2-il]-2,5-difeniltetrazólio brometo).²¹ As células de fibroblastos humanos MRC5 (2×10^4) foram distribuídas em placas de 96 poços e tratadas com a amostra em concentrações variando de 62,5 a 1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ em DMEM Dulbecco's Modified Eagle Medium) com 2,0% de DMSO (dimetilsulfóxido) por 24 horas. As células não tratadas serviram como controle para o cálculo da viabilidade celular (%).

2.9. Ensaio da atividade antibacteriana

A atividade antibacteriana *in vitro* foi avaliada contra *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 e *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 cultivadas em ágar Mueller-Hinton a 37 °C. Os inóculos foram preparados utilizando o método de suspensão direta de colônias, por meio de uma suspensão salina (0,9 % NaCl) de colônias selecionadas de uma placa de ágar de 24 h, antes de cada ensaio. A suspensão foi ajustada para alcançar turbidez equivalente a 0,5 na escala padrão de McFarland (1×10^8 UFC mL^{-1}).²² A Concentração Inibitória Mínima (CIM) foi determinada pelo método de microdiluição em caldo.^{22,23} As amostras foram dissolvidas em caldo Mueller-Hinton com 2% de DMSO (dimetilsulfóxido) para concentrações finais variando

de 0,06 a 4,00 mg mL^{-1} . Tetraciclina foi utilizada como controle positivo, DMSO 2% como controle negativo e apenas o caldo como controle do meio de cultura. As placas de 96 poços foram incubadas a 37 °C por 24 h. Após o período de incubação, adicionaram-se 30 μL de cloreto de trifênil tetrazólio (TTC, 0,25 mg mL^{-1}) e as placas foram incubadas por mais 3 h, sendo a CIM determinada como a menor concentração sem mudança visível de cor.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise de Infravermelho (FTIR)

A análise de Infravermelho (FTIR - Fourier Transform Infrared Spectroscopy) baseia-se na interação da radiação infravermelha com as moléculas de uma amostra. Quando a radiação infravermelha incide sobre a amostra, ela provoca vibrações nas ligações químicas das moléculas, e a absorção dessa radiação ocorre em frequências específicas associadas a diferentes tipos de vibrações. A análise das diferenças de absorção em diferentes frequências permite a identificação dos grupos funcionais presentes na amostra, sendo uma técnica amplamente utilizada para a caracterização de grupos funcionais presentes em moléculas sintéticas ou naturais e em materiais poliméricos. A análise dos espectros de FTIR, mostrados nas Figuras 3, 4 e 5, confirmou a incorporação do Neo Heliopan®AV nas matrizes poliméricas de PEG 3400 e PEG 6000 puros e esterificados. Observa-se, nas amostras contendo o filtro solar, a presença de bandas características tanto do PEG quanto do Neo Heliopan®AV (NeoH), sem desaparecimento de bandas de absorções relevantes, indicando ausência de reações químicas entre os componentes. Na região de 3400 cm^{-1} , foram identificadas bandas largas atribuídas ao estiramento O-H dos grupos hidroxila dos PEGs puros e modificados, presentes em todas as formulações. A faixa de 3000-2800 cm^{-1} apresenta uma intensidade na banda de absorção referente aos estiramentos de C-H alifáticos em todas as amostras incorporadas com Neo Heliopan®AV, confirmando a incorporação. Destaca-se a presença de bandas de absorções em torno de 1700 cm^{-1} nas amostras contendo Neo Heliopan®AV, atribuídas ao estiramento C=O característico do PEG modificado (PEG3400 esterificado + Neo Heliopan e PEG 6000 esterificado + Neo Heliopan), que também aparece no espectro do Neo Heliopan®AV puro. Pequenas alterações na intensidade e largura dessas bandas nas amostras PEG + Neo Heliopan®AV (NeoH) sugerem interação entre os grupos funcionais presentes nos PEGs e no Neo Heliopan®AV, possivelmente por encapsulação ou dispersão do filtro solar na matriz polimérica. Além disso, não foram observados novas bandas ou desaparecimento de bandas que indicassem formação de novas ligações químicas, apontando para interações predominantemente físicas entre

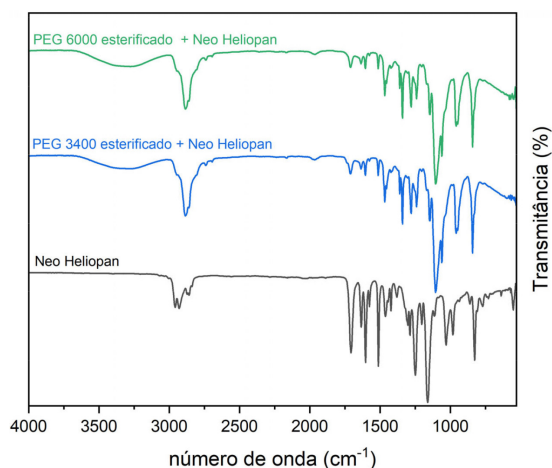


Figura 3. Espectro de infravermelho dos PEGs esterificados incorporados ao Neo Heliopan®AV

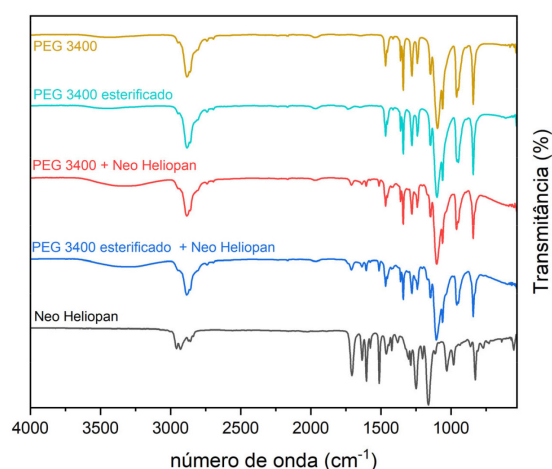


Figura 4. Espectro de infravermelho dos PEGs 3400 incorporados ao Neo Heliopan®AV

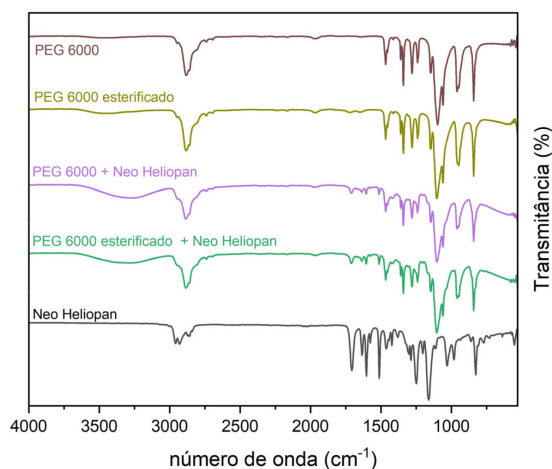


Figura 5. Espectro de infravermelho dos PEGs 6000 incorporados ao Neo Heliopan®AV

o filtro solar e o PEG. Essas interações podem contribuir para o aumento da estabilidade do filtro solar, promovendo liberação controlada e melhorando as propriedades sensoriais da formulação final.

Essas observações para os PEGs modificados neste trabalho são consistentes com os encontrados por Nascimento *et al.*,²⁴ que observaram que os derivados de PEG apresentaram uma banda de absorção relacionada à ligação C-OH em aproximadamente 3500 cm⁻¹, similar ao PEG puro (sem modificação), mas com intensidades variadas. Nos PEGs esterificados seguidos de hidrólise, foi observada uma banda larga referente ao estiramento axial da ligação C-OH, caracterizando o ácido carboxílico da estrutura, além da presença de uma banda de absorção em cerca de 1700 cm⁻¹, associada ao estiramento axial da ligação C=O do ácido carboxílico. Por meio das bandas distintas de absorção nas ligações C-OH e C=O, é possível observar a modificação química dos PEGs após a inserção de diversos grupos em suas cadeias, conforme as Figuras 3, 4 e 5.²⁴

3.2. Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica (TGA) é uma técnica que avalia as variações no peso de uma amostra enquanto ela é aquecida ou resfriada em uma atmosfera controlada, em função da temperatura ou do tempo. Essa análise fornece dados importantes sobre as propriedades térmicas dos materiais, como estabilidade térmica, composição e comportamento de decomposição. Por exemplo, ao realizar uma análise TGA de um polímero, a curva obtida pode mostrar uma perda de peso significativa em uma determinada faixa de temperatura, indicando a decomposição térmica do material. Por outro lado, ao analisar um material com água, pode-se observar uma perda de massa a temperaturas mais baixas, o que indica a remoção da água presente na amostra. Neste estudo, a análise termogravimétrica permitiu avaliar a estabilidade térmica das amostras por meio da variação de massa em função da temperatura. Em geral, temperaturas mais elevadas para o início da degradação térmica estão associadas a maior estabilidade da amostra. Como mostrado nas Figuras 6 e 7, o Neo Heliopan®AV, composto orgânico puro, apresenta apenas um evento térmico de perda de massa, similar aos PEGs puros. Entretanto, quando incorporado aos PEGs, observa-se um aumento no número de eventos térmicos, sugerindo que a incorporação do filtro solar pode comprometer a estabilidade térmica do sistema.²⁰

No caso do PEG 6000, verificam-se dois eventos principais de degradação na forma pura, mas três eventos quando o PEG é esterificado. Esse comportamento pode estar relacionado à modificação química da cadeia polimérica, que afeta a interação com o filtro solar e promove diferentes mecanismos de degradação.

Essas observações estão de acordo com diversos estudos que demonstram que tanto o peso molecular quanto a estrutura do PEG exercem influência direta sobre seu perfil térmico e o número de etapas de degradação observadas

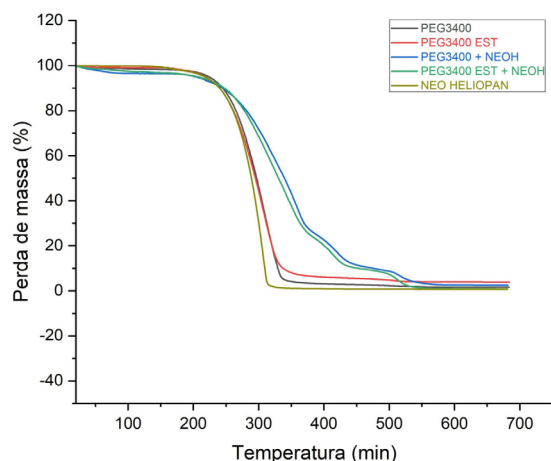


Figura 6. Análise térmica dos PEGs 3400 modificados com Neo Heliopan®AV

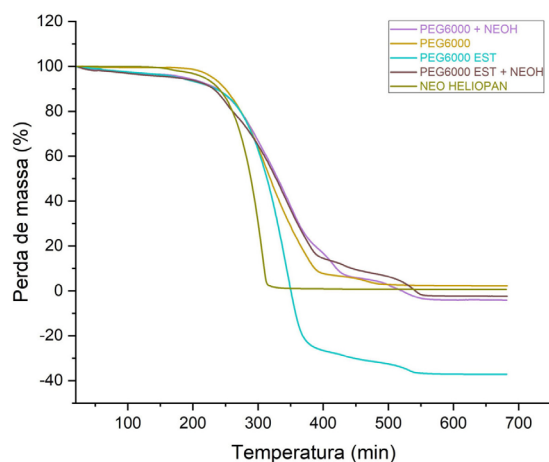


Figura 7. Análise térmica dos PEGs 6000 modificados com Neo Heliopan®AV

nas curvas de TGA. O aumento do peso molecular do PEG, por exemplo, geralmente resulta em uma maior estabilidade térmica devido à formação de cadeias mais longas, que exigem mais energia para quebrar. Além disso, a estrutura do PEG, particularmente, a distribuição de seu peso molecular, ramificação e presença de grupos funcionais podem modificar as condições de degradação, afetando o número de etapas observadas nas curvas de TGA. Estudos relatam que o PEG com maior peso molecular tende a apresentar uma única etapa de degradação, enquanto PEGs de menor peso molecular podem exibir múltiplas etapas, refletindo diferentes processos de decomposição, como volatilização e degradação das unidades de glicol, conforme Figuras 6 e 7.²⁵⁻²⁹

3.3. Análise Térmica Diferencial (DTA)

A análise térmica diferencial (DTA) é uma técnica que compara as variações de temperatura entre uma amostra e uma substância de referência (geralmente um material inerte) durante um aquecimento ou resfriamento controlado. A

principal diferença em relação à TGA é que, na DTA, não se avalia diretamente a variação de massa, mas sim a diferença de temperatura entre ela e um material de referência. Esta técnica baseia-se na medição dessa diferença de temperatura para identificar eventos térmicos, como fusões, cristalizações e outras reações endotérmicas ou exotérmicas. Durante o aquecimento ou resfriamento, caso a amostra passe por uma transformação térmica, ela liberará ou absorverá calor de forma distinta da referência, gerando uma diferença de temperatura que é registrada no gráfico DTA.^{19,24} Neste trabalho, as curvas de análise térmica diferencial (DTA) dos sistemas (PEGs + Neo Heliopan®AV) apresentaram um pico endotérmico inicialmente observado, o qual pode estar relacionado à fusão da matéria-prima. Em seguida, são identificados picos exotérmicos que possivelmente indicam eventos de cristalização.^{19,24} Conforme evidenciado nas curvas de TGA, os picos localizados acima de 300 °C podem ser atribuídos à degradação térmica das amostras. A partir das Figuras 8 e 9, foi possível observar a sutil influência da esterificação do PEG, que reflete no deslocamento dos eventos térmicos para temperaturas mais elevadas, sugerindo um leve aumento da estabilidade térmica. A presença do filtro solar Neo Heliopan®AV nas formulações contribui com picos exotérmicos adicionais em temperaturas superiores a 350 °C, indicando sua participação nos processos de degradação térmica.^{19,24}

De acordo com as Figuras 8 e 9, observa-se que o último pico registrado corresponde à degradação total da amostra. É possível notar a influência do peso molecular do PEG sobre o comportamento térmico, a amostra de Neo Heliopan®AV incorporado ao PEG 6000 esterificado apresenta o pico de degradação final em 544 °C, enquanto a formulação com PEG 3400 esterificado o exibe em 526 °C. O mesmo padrão é observado nas amostras contendo os PEGs puros, indicando que o PEG 6000 exige temperaturas mais elevadas para sua completa decomposição térmica.

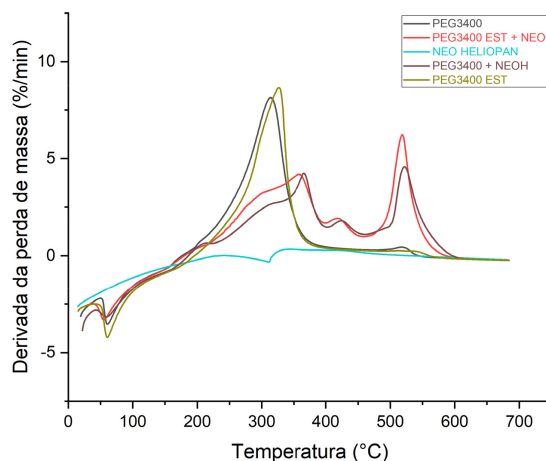


Figura 8. Análise térmica diferencial dos PEGs 6000 modificados com Neo Heliopan®AV

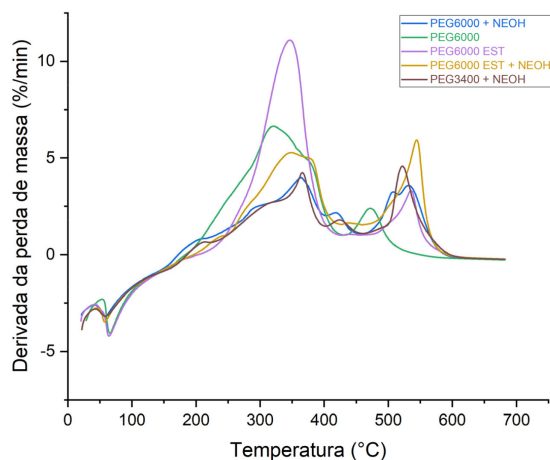


Figura 9. Análise térmica diferencial dos PEGs 6000 modificados com Neo Heliopan®AV

3.4. Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As análises de microscopia eletrônica de varredura, consiste em um tipo de varredura da amostra em que um feixe de elétrons focalizado varre a superfície da amostra gerando sinais que permitem identificar a morfologia do material. A Figura 10 apresenta a microscopia eletrônica de varredura (MEV) das amostras contendo o filtro solar Neo Heliopan®AV incorporado aos PEG3400 e PEG6000, em suas formas puras e modificadas. Todas as imagens foram obtidas com ampliação correspondente à escala de 50 μm . Observa-se a formação de microesferas em todas as amostras analisadas, o que evidencia a efetiva incorporação do filtro solar à matriz polimérica.

Na amostra (A), correspondente ao PEG 3400 com Neo Heliopan®AV, observa-se uma superfície contínua com esferas de pequeno diâmetro. Já a amostra (B), contendo PEG 3400 esterificado, apresenta microesferas de dimensões visivelmente maiores, indicando que a modificação química do polímero influenciou a morfologia da formulação. Segundo Tomar *et al.*,³⁰ as alterações na estrutura química do polímero podem afetar sua interação com o ativo, alterando

o processo de auto-organização e o tamanho das partículas formadas.³⁰ Nas amostras (C) e (D), referentes ao PEG 6000 PEG 6000 esterificado, respectivamente, observa-se a formação de microesferas mais definidas e com maior diâmetro em comparação às amostras com PEG 3400. Esse comportamento pode ser atribuído ao maior peso molecular do PEG 6000, que confere maior viscosidade ao meio durante o processo de emulsificação, favorecendo a formação de partículas maiores e estruturalmente mais robustas.^{30,31}

Além disso, a distribuição de tamanhos observada nas diferentes formulações pode estar relacionada às condições de preparo, como taxa de evaporação do solvente, tipo de solvente e agitação, que modulam os mecanismos de nucleação e crescimento das partículas. Esses parâmetros impactam diretamente o tamanho, a estabilidade e a morfologia de sistemas poliméricos contendo filtros UV.^{30,31} Portanto, os resultados morfológicos confirmam que a incorporação do Neo Heliopan®AV aos PEGs, tanto puros quanto modificados, foi bem-sucedida, destacando-se o PEG 6000 como mais favorável à formação de microesferas de maior diâmetro. Isso reforça seu potencial como matriz encapsulante em formulações fotoprotetoras.

3.5. Determinação do Fator de Proteção Solar

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 2 e 3, observa-se que a incorporação do filtro solar Neo Heliopan®AV em matrizes de PEG conferiu atividade fotoprotetora significativa, com valores de Fator de Proteção Solar superiores a 6 a partir da concentração de 0,05 mg mL^{-1} . A Tabela 1 mostra que, dentre os PEGs testados, o PEG 6000 não modificado apresentou os maiores valores de FPS em todas as concentrações, atingindo $21,48 \pm 0,41$ na concentração de 0,07 mg mL^{-1} e $21,12 \pm 0,19$ em 0,1 mg mL^{-1} . Já o PEG 3400, embora tenha apresentado aumento progressivo no FPS com o aumento da concentração, resultou em valores mais baixos ($13,15 \pm 0,11$ e $17,97 \pm 0,09$ para as mesmas concentrações, respectivamente).

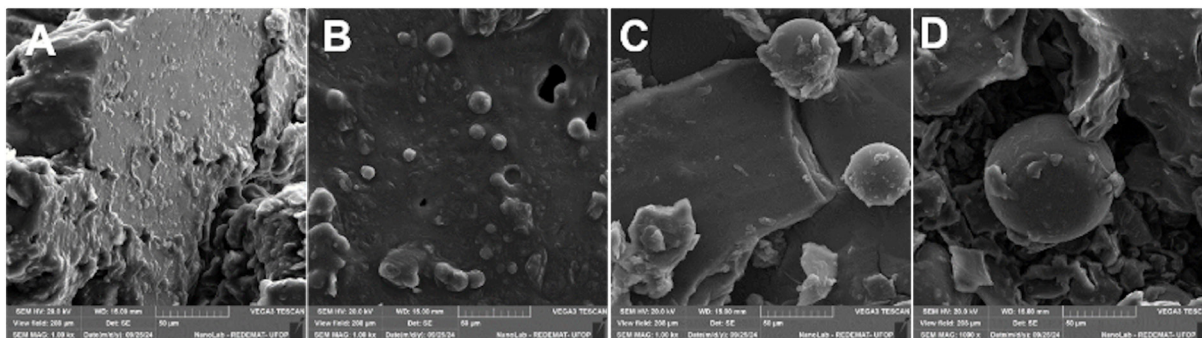


Figura 10. (A) PEG 3400 com Neo Heliopan®AV (PEG 3400 + NeoH), (B) PEG 3400 esterificado com Neo Heliopan®AV (PEG 3400 est + NeoH), (C) PEG 6000 com Neo Heliopan®AV (PEG 6000 + NeoH) e (D) PEG 6000 esterificado com Neo Heliopan®AV (PEG 6000 esterificado + NeoH)

Tabela 2. FPS do PEG 3400 e PEG 6000 incorporados ao Neo Heliopan®AV(NeoH)

Concentração (mg mL ⁻¹)	PEG 3400 + NeoH	PEG 3400 est + NeoH	PEG 6000 + NeoH	PEG 6000 est + NeoH
0,02	3,77 ± 0,01	1,61 ± 0,01	4,94 ± 0,01	3,325 ± 0, 01
0,03	5,96 ± 0,02	3,22 ± 0,02	7,99 ± 0,02	5,16 ± 0,01
0,05	9,36 ± 0,02	7,69 ± 0,01	12,77 ± 0,02	8,48 ± 0,01
0,07	13,15 ± 0,11	10,33 ± 0,04	21,48 ± 0,41	11,20 ± 0,01
0,10	17,97 ± 0,09	12,03 ± 0,05	21,12 ± 0,19	13,53 ± 0,03

Tabela 3. FPS do Neo Heliopan®AV(Neo H)

Concentração mg mL ⁻¹	Neo Heliopan®AV(NeoH)
0,002	3,377 ± 0,052
0,005	7,890 ± 0,055
0,010	15,320 ± 0,139
0,015	21,460 ± 0,390
0,020	30,150 ± 0,550

Esses resultados indicam que o peso molecular do PEG influencia diretamente a eficiência fotoprotetora da formulação. O PEG 6000, por possuir maior peso molecular, tende a formar microesferas maiores e mais estruturadas, o que pode aumentar a retenção superficial do filtro solar e favorecer uma liberação mais controlada do ativo. Esse comportamento está alinhado com estudos que demonstram que a encapsulação de filtros UV em sistemas poliméricos ou microestruturados promove maior fotoproteção, maior retenção na superfície da pele e redução da penetração cutânea.³³⁻³⁶

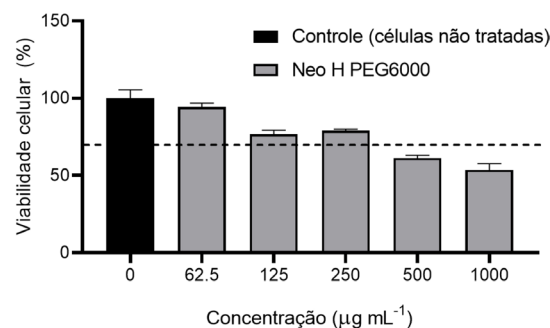
Além disso, a comparação entre os PEGs modificados e não modificados evidencia que a esterificação dos PEGs resultou em menor desempenho fotoprotetor. Por exemplo, na concentração de 0,1 mg mL⁻¹, o PEG 6000 não modificado atingiu FPS de 21,12 ± 0,19, enquanto o PEG 6000 esterificado apresentou FPS de 13,53 ± 0,03. O mesmo comportamento foi observado para o PEG 3400, em que a modificação reduziu o FPS de 17,97 ± 0,09 para 12,03 ± 0,05. Isso sugere que a modificação química do PEG pode interferir negativamente na interação entre o filtro solar e a matriz polimérica, reduzindo a eficiência da encapsulação ou alterando a distribuição do ativo na formulação.

Os resultados obtidos com o filtro solar Neo Heliopan®AV puro apresentado na Tabela 2 reforçam essa tendência. Mesmo sem a presença de PEG, o FPS aumentou conforme a concentração, atingindo 30,15 ± 0,55 em 0,020 mg mL⁻¹. No entanto, ao ser incorporado em PEGs,

especialmente no PEG 6000, o filtro apresentou valores de FPS elevados mesmo em concentrações menores, o que indica que a matriz polimérica favorece a performance do ativo, provavelmente devido à proteção física e à liberação controlada proporcionadas pelas microesferas formadas. Portanto, os dados demonstram que a incorporação do Neo Heliopan®AV em PEGs, particularmente em PEG 6000 puro, representa uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de sistemas fotoprotetores com maior eficiência, estabilidade e potencial de aplicação em formulações cosméticas. A combinação entre peso molecular elevado e ausência de modificação química mostrou-se mais vantajosa, tanto em termos de formação de microesferas visíveis por MEV quanto no desempenho fotoprotetor obtido por espectrofotometria.

3.6. Ensaio de viabilidade celular

A avaliação da viabilidade celular, apresentada na Figura 11, evidenciou ausência de citotoxicidade nas três menores concentrações testadas do sistema PEG 6000 incorporado ao filtro solar Neo Heliopan®AV (62,5; 125 e 250 µg mL⁻¹), todas mantendo viabilidade celular acima de 70%. Esse valor corresponde ao critério comumente aceito como limiar de segurança, conforme estabelecido pela norma ISO 10993-5.³⁷

**Figura 11.** Viabilidade celular do PEG 6000 + Neo Heliopan®AV**Tabela 4.** Atividade antibacteriana do PEG 6000 incorporado ao Neo Heliopan®AV(NeoH)

	<i>S. aureus</i>	<i>S. epidermidis</i>	<i>P. aeruginosa</i>
Neo Heliopan®AV	Sem atividade	Sem atividade	Sem atividade
PEG 6000 + Neo Heliopan®AV	Sem atividade	Sem atividade	Sem atividade

Essa observação é particularmente relevante, pois as concentrações utilizadas para os testes de fotoproteção apresentados na Tabela 4 foram inferiores às concentrações que demonstraram efeito citotóxico. Portanto, os resultados sugerem segurança da formulação para aplicação tópica, reforçando sua viabilidade como fotoprotetor funcional.

Estudos prévios também indicam que sistemas baseados em PEG apresentam excelente biocompatibilidade, sendo amplamente utilizados em formulações farmacêuticas e cosméticas devido à sua baixa toxicidade, estabilidade química e capacidade de formar filmes protetores na superfície da pele.³⁶⁻³⁸ A ausência de citotoxicidade nas concentrações funcionais demonstra que a estratégia de encapsulação do filtro solar em PEG 6000 foi eficaz não apenas em melhorar a eficácia fotoprotetora, mas também em manter um bom perfil de segurança biológica.³⁹

3.7. Ensaio da atividade antibacteriana

A avaliação da atividade antibacteriana contra *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* e *Pseudomonas aeruginosa* mostrados na Tabela 4, demonstrou que tanto o Neo Heliopan®AV isolado quanto o PEG 6000 incorporado ao Neo Heliopan®AV não apresentaram atividade antibacteriana significativa na concentração de 1 mg mL⁻¹. Esse resultado é consistente com o perfil esperado para sistemas fotoprotetores cosméticos que visam atuar apenas na barreira física contra radiação UV, sem afetar negativamente a microbiota da pele.^{40,41}

Esse achado é particularmente importante no contexto atual da dermatologia, que valoriza a preservação do equilíbrio microbiano cutâneo como fator essencial para a saúde da pele. Estudos recentes reforçam que filtros solares ideais devem apresentar eficácia contra radiação UV sem comprometer a integridade da microbiota residente, a qual desempenha papel imunomodulador e protetor contra patógenos oportunistas.^{37,40} A ausência de atividade antibacteriana, portanto, é vista aqui como um atributo desejável da formulação, indicando que mesmo em concentrações mais elevadas, o sistema polimérico fotoprotetor não promove disbiose ou eliminação de cepas bacterianas benéficas. Isso favorece o uso contínuo do produto sem risco de desregulação microbiana, reforçando sua segurança dermatológica.⁴²⁻⁴⁵

4. Conclusão

A síntese de matrizes poliméricas a partir de PEG 3400 e 6000, bem como a incorporação do filtro solar Neo Heliopan®AV revelou-se uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de sistemas fotoprotetores. As análises morfológicas confirmaram a formação de microesferas, cujas dimensões variaram conforme o peso molecular do

polímero, sendo maiores nas formulações com PEG 6000. Esse comportamento refletiu diretamente no desempenho das amostras, que apresentaram maior FPS em comparação às contendo PEG 3400. A modificação por esterificação, embora viável, resultou em redução dos valores de FPS, sugerindo interferência nas interações entre o polímero e o filtro solar. As formulações com PEG 6000 também demonstraram baixa citotoxicidade em concentrações eficazes e ausência de atividade antibacteriana, o que reforça sua segurança para uso tópico e compatibilidade com a microbiota da pele.

Agradecimentos

Os Autores agradecem a UFOP, ao CNPQ, a CAPES (código de financiamento 001) e ao Laboratório de Síntese e Desenvolvimento de Polímeros e Compósito (LAPCOM-UFOP), ao Laboratório de Produtos Naturais e Síntese Orgânica da UFOP, ao laboratório de Biomateriais e ao NanoLab da UFOP.

Referências Bibliográficas

1. Portilho, L.; Aiello, L. M.; Vasques, L. I.; Bagatin, E.; Leonardi, G. R.; Effectiveness of sunscreens and factors influencing sun protection: a review. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* **2022**, *58*, e20693. [[Crossref](#)]
2. Perugini, P.; Simeoni, S.; Scalia, S.; Genta, I.; Modena, T.; Conti, B.; Pavanetto, F.; Effect of nanoparticle encapsulation on the photostability of the sunscreen agent, 2-ethylhexyl-p-methoxycinnamate. *International Journal of Pharmaceutics* **2002**, *246*, 37. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
3. Velasco-de-Paola, M. V. R.; Ribeiro, M. E.; Interação entre filtros solares. *Cosmetics & Toiletries* **1998**, *10*, 40. [[Link](#)]
4. Nitulescu, G.; Lupuliasa, D.; Adam-Dima, I.; Nitulescu, G.M.; Ultraviolet Filters for Cosmetic Applications. *Cosmetics* **2023**, *10*, 101. [[Link](#)]
5. Auth, T.; Polymeric and Polymer-Functionalized Drug Delivery Vectors: From Molecular Architecture and Elasticity to Cellular Uptake. *Polymers* **2025**, *17*, 2243. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
6. Zıglar, J.; Mohammad, T. F.; Gilaberte, Y.; Lim, H. W.; Sunscreens: Updates on Sunscreen Filters and Formulations. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine* **2025**, *41*, e70026. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
7. PubChem; Octinoxate, CID 5355130. National Center for Biotechnology Information, 2025. [[Link](#)]
8. Mano, E. B.; Mendes, L. C.; *Introdução a Polímeros*, 2a. ed., Edgard Blücher: São Paulo, 1999.
9. Knop, K.; Hoogenboom, R.; Fischer, D.; Schubert, U. S.; Poly(ethylene glycol) in drug delivery: pros and cons as well as potential alternatives. *Angewandte Chemie International Edition* **2010**, *49*, 6288. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]

10. Olbińska, E.; Orzechowska, A.; Kruk, J.; Szymańska, R.; Antioxidant and UV-protective evaluation of tocochromanols in nanoformulations. *International Journal of Pharmaceutics* **2025**, *686*, 1. [Crossref] [PubMed]
11. Nitulescu, G.; Lupuliasa, D.; Adam-Dima, I.; Nitulescu, G. M.; Ultraviolet Filters for Cosmetic Applications. *Cosmetics* **2023**, *10*, 101. [Crossref]
12. Salih, H.; Psomadakis, C.; George, S. M. C.; Sunscreens: A Narrative Review. *Skin Health and Disease* **2024**, *4*, e432. [Crossref] [PubMed]
13. Jang, H.-J.; Shin, C. Y.; Kim, K.-B.; Safety Evaluation of Polyethylene Glycol (PEG) Compounds for Cosmetic Use. *Toxicological Research* **2015**, *31*, 105. [Crossref] [PubMed]
14. Rosa, J. S.; Silveira, B. M.; Novack, K. M.; dos Santos, V. M. R.; Teixeira, L. C. M.; Chemistry Modification of PMMA-g-PEG copolymer. *Macromolecular Symposia* **2014**, *343*, 78. [Crossref]
15. Wang, W.; He, Q.-T.; Chen, Y.-F.; Wang, B.-H.; Xu, W.-Y.; Liu, Q.-L.; Liu, H.-M.; Anti-UV Microgel Based on Interfacial Polymerization to Decrease Skin Irritation of High Permeability UV Absorber Ethylhexyl Methoxycinnamate. *Gels* **2024**, *10*, 177. [Crossref]
16. Herzog, B.; Amorós-Galicia, L.; Sohn, M.; Hofer, M.; Quass, K.; Giesinger, J.; Analysis of photokinetics of 2'-ethylhexyl-4-methoxycinnamate in sunscreens. *Photochemical & Photobiological Sciences* **2019**, *18*, 1773. [Crossref] [PubMed]
17. Miranda, D. V.; Quintão, C. M. F.; Gualberto, M. S.; Novack, K. M.; Produção e Caracterização de espumas de poliuretano produzidas a partir de diferentes óleos vegetais. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento* **2023**, *10*, 166. [Crossref]
18. Sousa, L. R. D.; Azevedo, M. L. S.; Rocha, D. F.; Andrade, A. L.; Amparo, T. R.; dos Santos, O. D. H.; Seibert, J. B.; Pereira, L. R.; Vieira, P. M. A.; Carneiro, C. M.; Barboza, A. P. M.; Neves, B. R. A.; Sales jr., P. A.; Murta, S. M. F.; Novack, K. M.; dos Santos, V. M. R.; Trypanocidal Activity and Increased Solubility of Benzimidazole Incorporated in PEG 4000 and Its Derivatives. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2021**, *32*, 1162. [Crossref]
19. Reynaldo, J. R.; Novack, K. M.; Sousa, L. R. D.; Vieira, P. M. A.; Amparo, T. R.; de Souza, G. H. B.; Teixeira, L. F. M.; Barbosa, A. P. M.; Neves, B. R. A.; Alvarenga, M. E.; Martins, F. T.; dos Santos, V. M. R.; Evaluation of Anti-*Candida albicans* Activity and Release of Ketoconazole in PMMA-G-PEG 4000 Films. *International Journal of Molecular Sciences* **2022**, *23*, 10775. [Crossref] [PubMed]
20. Mansur, J. S.; Breder, M. N. R.; Mansur, M. C. D.; Azulay, R. D.; Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. *Anais Brasileiros de Dermatologia* **1986**, *61*, 121. [Link]
21. Vaz, L. B. A.; Amparo, T. R.; Reis, A. C. C.; Silva, B. M.; Magalhães, C. L. B.; Kohlhoff, M.; Brandão, G. C.; Identification, characterization and quantification of xanthones from *Fridericia formosa* leaves extract with antiviral activity. *Scientific Reports* **2024**, *14*, 2258. [Crossref] [PubMed]
22. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI); Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically. Disponível em: <<https://clsi.org/shop/standards/m07/>>. Acesso em: 12 março 2026.
23. Amparo, T. R.; Rodrigues, I. V.; Seibert, J. B.; Souza, R. H. Z.; de Oliveira, A. R.; Cabral, V. A. R.; de Vieira, P. M. A.; Brandão, G. C.; Okuma, A. A.; Vieira Filho, S. A.; Teixeira, L. F. M.; de Souza, G. H. B.; Antibacterial activity of extract and fractions from branches of *Protium spruceanum* and cytotoxicity on fibroblasts. *Natural Product Research* **2018**, *32*, 1951. [Crossref] [PubMed]
24. Nascimento, L. G.; Lopes, S. A.; Teodolino, A. B. L.; Novack, K. M.; Barboza, A. P. M.; Neves, B. R. A.; Azevedo, M. L. S.; Sousa, L. R. D.; dos Santos, V. M. R.; Novel PEG 4000 derivatives and its use in controlled release of drug indomethacin. *Química Nova* **2020**, *43*, 685. [Crossref]
25. Han, S.; Kim, C.; Kwon, D.; Thermal/oxidative degradation and stabilization of polyethylene glycol. *Polymer* **1997**, *38*, 317. [Crossref]
26. Sun, G.; Zhang, X. Z.; Chu, C. C.; Effect of the molecular weight of polyethylene glycol (PEG) on the properties of chitosan-PEG-poly(N-isopropylacrylamide) hydrogels. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* **2008**, *19*, 2865. [Crossref] [PubMed]
27. Chen, Z.; Liu, Y.; Yao, C.; Yang, G.; The influences of polyethylene glycol molecular weight on thermal stability, nonisothermal crystallization behavior, and morphology of poly(trimethylene terephthalate)/poly(ethylene oxide terephthalate) copolymers. *Polymer Testing* **2012**, *31*, 685. [Crossref]
28. Majundar, R.; Alexander, K. S.; Riga, A. T.; Physical characterization of polyethylene glycols by thermal analytical technique and the effect of humidity and molecular weight. *Pharmazie* **2010**, *65*, 343. [Crossref] [PubMed]
29. Han, S.; Kim, S.; Kwon, D.; Thermal Degradation of Poly(ethyleneglycol). *Polymer Degradation and Stability* **1995**, *47*, 203. [Crossref]
30. Tomar, L. K.; Tyagi, C.; Lahiri, S. S.; Singh, H.; Poly(PEGDMA-MAA) copolymeric micro and nanoparticles for oral insulin delivery. *Polymers for Advanced Technologies* **2011**, *22*, 1760. [Crossref]
31. D'souza, A. A.; Shegokar, R.; Polyethylene glycol (PEG): a versatile polymer for pharmaceutical applications. *Expert Opinion on Drug Delivery* **2016**, *13*, 1257. [Crossref] [PubMed]
32. Wu, H.-T.; Tsai, H.-M.; Li, T.-H.; Formation of Polyethylene Glycol Particles Using a Low-Temperature Supercritical Assisted Atomization Process. *Molecules* **2019**, *24*, 2235. [Crossref] [PubMed]
33. Chavda, V. P.; Acharya, D.; Hala, V.; Daware, S.; Vora, L. K.; Sunscreens: A comprehensive review with the application of nanotechnology. *Journal of Drug Delivery Science and Technology* **2023**, *86*, 104720. [Crossref]

34. Scalia, S.; Battaglioli, S.; Bianchi, A.; *In vivo* Human Skin Penetration of the UV Filter Ethylhexyl Triazone: Effect of Lipid Microparticle Encapsulation. *Skin Pharmacology and Physiology* **2019**, *32*, 22. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
35. Damiani, E.; Puglia, C.; Nanocarriers and Microcarriers for Enhancing the UV Protection of Sunscreens: An Overview. *Journal of Pharmaceutical Sciences* **2019**, *108*, 3769. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
36. International Organization For Standardization. ISO 10993-5. Biological evaluation of medical devices – Part 5: Tests for *in vitro* cytotoxicity. Geneva: ISO, 2009. [[Link](#)]
37. Schommer, N. N.; Gallo, R. L.; Structure and function of the human skin microbiome. *Trends in Microbiology* **2013**, *21*, 660. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
38. Jang, H.-J.; Shin, C. Y.; Kim, K.-B.; Safety Evaluation of Polyethylene Glycol (PEG) Compounds for Cosmetic Use. *Toxicology Research* **2015**, *31*, 105. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
39. Xu, L.; Yang, J.; Xue, B.; Zhang, C.; Shi, L.; Wu, C.; Su, Y.; Jin, X.; Liu, Y.; Zhu, X.; Molecular insights for the biological interactions between polyethylene glycol and cells. *Biomaterials* **2017**, *147*, 1. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
40. Sanford, J. A.; Gallo, R. L.; Functions of the skin microbiota in health and disease. *Seminars in Immunology* **2013**, *25*, 370. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
41. Gilaberte, Y.; Piquero-Casals, J.; Schalka, S.; Leone, G.; Brown, A.; Trullàs, C.; Jourdan, E.; Lim, H. W.; Krutmann, J.; Passeron, T.; Exploring the impact of solar radiation on skin microbiome to develop improved photoprotection strategies. *Photochemistry and Photobiology* **2025**, *101*, 38. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
42. Secco, G. G.; Beltrame, B. M.; Schwanz, M.; Avaliação *in vitro* do fator de proteção solar (FPS) de cosméticos fotoprotetores manipulados. *Infarma - Ciências Farmacêuticas* **2018**, *30*, 242. [[Crossref](#)]
43. Sousa, L. R. D.; Duarte, T. H. C.; Xavier, V. F.; das Mercês, A. C.; Vieira, G. M.; Martins, M. D.; Carneiro, C. M.; dos Santos, V. M. R.; dos Santos, O. D. H.; Vieira, P. M. A.; Benzimidazole-Loaded Polymeric Nanoparticles for Oral Chemotherapeutic Treatment of Chagas Disease. *Pharmaceutics* **2024**, *16*, 800. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
44. Villanova, J. C. O.; Oréface, R. L.; Cunha, A. S.; Aplicações farmacêuticas de polímeros. *Polímeros: Ciência e Tecnologia* **2010**, *20*, 51. [[Crossref](#)]
45. Lopes, C. M.; Lobo, J. M. S.; Costa, P. Formas farmacêuticas de liberação modificada: polímeros hidrofílicos. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas* **2005**, *41*, 143. [[Crossref](#)]