

# SunB – Protetor Solar à Base de Cianobactérias: Alternativa Amiga dos Ecossistemas Marinhos

Ana Lima | Gonçalo Ferreira | Iva Moreira | Joana Amaral

Escola secundária da Maia, Agrupamento de Escolas da Maia

---

## Resumo

O uso generalizado de filtros UV convencionais tem levantado preocupações quanto aos seus potenciais efeitos adversos na saúde humana e nos ecossistemas marinhos. Neste contexto, o desenvolvimento de alternativas mais seguras e sustentáveis, tanto para a saúde humana como para os ecossistemas marinhos, tornou-se uma prioridade. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de cianobactérias como fonte natural de compostos bioativos com potencial fotoprotetor, contribuindo para o desenvolvimento de formulações de protetor solar mais seguras para o ambiente. Duas estirpes marinhas de cianobactérias foram cultivadas e submetidas a extração com etanol a 20% (v/v). As ficobiliproteínas foram identificadas e quantificadas por espectrofotometria, tendo sido também avaliada a presença de aminoácidos tipo micosporina (MAAs) e a atividade antioxidante através do ensaio DPPH. A estirpe verde apresentou maiores concentrações de ficocianina (56 µg/mg) e aloficocianina (29 µg/mg), enquanto a estirpe vermelha revelou maior teor de ficoeritrina (37 µg/mg). A análise espectral evidenciou absorção nas regiões UVB e UVA, indicando potencial fotoprotetor dos extratos. Adicionalmente, os extratos demonstraram atividade antioxidante dependente da concentração, no ensaio DPPH. Em conjunto, estes resultados sustentam o potencial dos compostos derivados de cianobactérias como uma alternativa sustentável e amiga dos ecossistemas marinhos aos filtros UV convencionais. Este trabalho contribui para o desenvolvimento de estratégias de fotoproteção mais sustentáveis, sendo necessários estudos adicionais para avaliar a sua segurança e eficácia em formulações finais.

**Palavras-chave:** cianobactérias, micosporina, sequestro do radical livre, antioxidante, fotoproteção

## Abstract

The widespread use of conventional UV filters has raised concerns regarding their potential adverse effects on human health and marine ecosystems. In this context, the development of safer and more sustainable alternatives, both for human health and marine environments, has become a priority. This study aimed to evaluate the potential of cyanobacteria as a natural source of bioactive compounds with photoprotective properties, contributing to the development of more environmentally safe sunscreen formulations. Two marine cyanobacterial strains were cultured and subjected to extraction with 20% (v/v) ethanol. Phycobiliproteins were identified and quantified by spectrophotometry, and the presence of mycosporine-like amino acids (MAAs) as well as antioxidant activity were evaluated using the DPPH assay. The green strain showed higher concentrations of phycocyanin (56 µg/mg) and allophycocyanin (29 µg/mg), while the red strain exhibited a higher content of phycoerythrin (37 µg/mg). Spectral analysis revealed absorption in the UVB and UVA regions, indicating the photoprotective potential of the extracts. Additionally, the extracts demonstrated concentration-dependent antioxidant activity in the DPPH assay. Overall, these results support the potential of cyanobacteria-derived compounds as a sustainable and marine ecosystem-friendly alternative to conventional UV filters. This work contributes to the development of more sustainable photoprotection strategies; however, further studies are required to assess their safety and efficacy in final formulations.

**Keywords:** cyanobacteria, mycosporin, free radical scavenging, antioxidant, photoprotection

## 1.Introdução

A exposição à radiação ultravioleta (UV) constitui um dos principais fatores de risco para queimaduras solares, envelhecimento cutâneo e cancro da pele. Por esta razão, o uso de protetores solares constitui uma estratégia fundamental de fotoproteção. No entanto, alguns filtros solares químicos amplamente utilizados, como a oxibenzona (benzophenone-3) e o octinoxato (ethylhexyl methoxycinnamate), têm suscitado preocupações devido aos seus potenciais efeitos adversos sobre a saúde humana e o ambiente [1,2]. Estes compostos atuam absorvendo radiação UV, mas podem também ser absorvidos pelo organismo após aplicação tópica, tendo sido detetados em fluidos biológicos como urina, plasma e leite materno [2-5]. Embora a relevância clínica desta absorção ainda não esteja totalmente esclarecida, a exposição contínua levanta preocupações, sobretudo em populações mais vulneráveis, como grávidas e crianças [3,4]. Alguns estudos sugerem que estes compostos podem apresentar atividade estrogénica e antiandrogénica, indicando um possível efeito de disrupção endócrina [2,5]. A oxibenzona tem ainda sido associada a reações alérgicas e dermatite de contacto [2,7].

Do ponto de vista ambiental, estes filtros entram nos ecossistemas aquáticos através de atividades humanas e águas residuais, não sendo completamente removidos pelos sistemas de tratamentos convencionais. A sua presença em ecossistemas marinhos tem sido associada a efeitos negativos, incluindo o branqueamento de corais, danos no DNA e alterações no desenvolvimento de organismos marinhos [1,2,3,7], evidenciando a necessidade urgente de alternativas mais seguras.

Perante estas evidências, é imperativo desenvolver alternativas que aliem eficácia, segurança e sustentabilidade. Neste contexto, a investigação de compostos naturais produzidos por algas, microalgas e cianobactérias, que apresentam elevada capacidade de absorção UV, estabilidade química e menor impacto ambiental surge como uma abordagem promissora.

As cianobactérias são organismos fotossintéticos procarióticos com grande diversidade metabólica, fisiológica e morfológica [8]. Apresentam elevada capacidade de adaptação a ambientes variados e extremos e produzem metabolitos secundários com atividade biológica e potencial biotecnológico [8,9]. Entre estes, destacam-se compostos antioxidantes, capazes de inibir reações de oxidação protegendo os tecidos dos danos oxidativos [9]. Além do potencial antioxidante, as cianobactérias produzem uma variedade de enzimas e outros compostos naturais com aplicações promissoras na medicina, indústria, agricultura e biorremediação [8,10]. As ficobiliproteínas são pigmentos fluorescentes hidrossolúveis envolvidos na fotossíntese, captando luz e transferindo energia para a clorofila [11]. Apresentam aplicações biotecnológicas em áreas ambiental, cosmética e biomédica [11]. As micosporinas (MAAs) são pequenos compostos naturais produzidos pelas cianobactérias, com elevada capacidade de absorção da radiação UV e atividade antioxidante [12]. Estes compostos são promissores para aplicações em cosméticos, farmacêutica e agricultura, devido à sua estabilidade química e bioatividade.

A caracterização destes compostos, através de extração com solvente, espectrofotometria UV-Vis e ensaios de atividade antioxidante (DPPH), permite avaliar o seu potencial como base para uma formulação de protetor solar eficaz, com menor impacto para o ambiente marinho.

### 1.1 Objetivos

O presente estudo teve como objetivo desenvolver uma formulação de protetor solar à base de compostos naturais de cianobactérias capacidade de absorção de radiação UV, atividade oxidante e reduzido impacto ambiental, como alternativa aos filtros UV convencionais.

## 2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado nas instalações laboratoriais do Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR).

### 2.1. Cultivo de cianobactérias

Numa fase inicial, procedeu-se à preparação do meio de cultura (**Fig. 1**) para as duas estirpes de cianobactérias marinhas, com base no protocolo do meio Z8 (Kotai, 1972). Para tal, foi preparada uma solução num balão volumétrico de 4 litros, contendo água com sal marinho tropical ( $25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), previamente autoclavada, de modo a simular condições de salinidade marinha. O meio foi suplementado com nutrientes essenciais ao crescimento das cianobactérias, de acordo com a composição descrita para o meio Z8 (**Anexo 1**), nomeadamente: solução A ( $10 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ ), solução B ( $10 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ ), solução de ferro ( $10 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ ), solução de micronutrientes ( $1 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e vitamina B12 ( $1 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Em seguida, as estirpes de cianobactérias marinhas foram transferidas para o meio de cultivo. (**Fig. 2**).



Fig.1- Materiais utilizados na preparação do meio Z8



Fig.2 - Balão com cianobactérias

### 2.2. Extração

Após crescimento adequado, a biomassa das duas estirpes foi filtrada, lavada com água destilada, congelada e liofilizada. A biomassa seca foi triturada com recurso a um almofariz e pilão (**Fig.3**), e pesada numa balança digital (**Fig.4**). De seguida, preparou-se uma solução de etanol 20% (v/v) e misturou-se com a biomassa em tubos de Falcon de 50 mL. A homogeneização foi realizada por vortex e, após se colocarem os tubos num banho de gelo (**Fig.5**), ultrassom (3 min, amplitude 20%, ciclo 55 s pulsado/ 5 s pausa) (**Fig.6**). Após centrifugação dupla (15 min cada), o sobrenadante foi reunido num balão de fundo redondo e o etanol evaporado em rotavapor (condensador  $-8^{\circ}\text{C}$  e banho a  $35^{\circ}\text{C}$ ). A fase aquosa foi congelada e liofilizada. O rendimento da extração foi calculado comparando-se a massa do extrato seco com a biomassa inicial.



Fig. 3 - Biomassa triturada

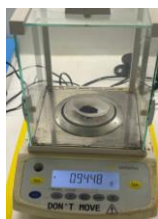


Fig. 4- Pesagem da biomassa triturada



Fig. 5 - Banho de gelo

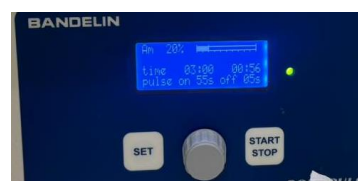


Fig. 6- Condições da sonda

## 2.3. Identificação e quantificação de compostos

### 2.3.1 Ficobiliproteínas

Cerca de 2 mg do extrato seco (**Fig.7**) foram dissolvidos em água destilada (0,5 mg/mL), em quatro réplicas (duas por estirpe). A absorbância foi medida por espectrometria UV-Vis (Shimadzu UV-1800) em 562, 615, 652 e 675nm, utilizando cubetas de 1 cm, calibradas com água destilada, o solvente (**Fig.8**). As concentrações das ficobiliproteínas, ficocianina (PC), aloficocianina (APC) e ficoeritrina (PE), foram calculadas segundo o método descrito por Bennett e Bogorad (1973) e correções de Lauceri et al. (2018) para minimizar interferência da clorofila a.

Assim, foi feita a correção dos valores de absorbância a 615 nm e 652 nm, para minimizar a interferência da clorofila a, segundo as seguintes expressões:

$$A^{615}_{Phs} = 1,012 \times A^{615}_{measured} - 0,215 \times A^{675}_{measured}$$

$$A^{652}_{Phs} = 1,038 \times A^{652}_{measured} - 0,256 \times A^{675}_{measured}$$

Subsequentemente, as concentrações das ficobiliproteínas, expressas em mg/mL, foram determinadas através das seguintes equações:

$$[PC] = (A^{615}_{Phs} - 0,474 \times A^{652}_{Phs}) / 5,34$$

$$[APC] = (A^{652}_{Phs} - 0,208 \times A^{615}_{Phs}) / 5,09$$

$$[PE] = [A_{652nm} - 2,41 \times (PC) - 0,849 \times (APC)] / 9,62$$

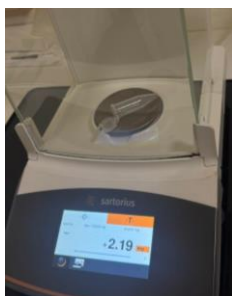


Fig.7- Pesagem dos 2 mg de extrato



Fig.8- Pipetagem do solvente para a cubete

### 2.3.2. Pesquisa espectral da micosporina

Quatro soluções (1 mg/mL) foram preparadas em etanol 20% (v/v) e pipetadas (**Fig.9**) em microplacas (200 µL por poço) (**Fig.10**). Os espectros de absorção foram obtidos com leitor de microplacas BioTek Synergy HT (**Fig.11**)



Fig.9- Pipetagem das soluções para a microplaca

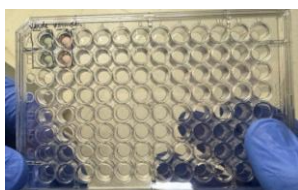


Fig.10- Microplaca



Fig.11- Leitor de microplacas BioTek Synergy HT

## 2.4. Ensaio antioxidante (DPPH)

O ensaio de atividade antioxidante foi realizado com a solução de DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) dissolvida em metanol, um radical livre sintético de coloração violeta, para avaliar a capacidade de sequestro de radicais livres das amostras. Por limitação de tempo, o ensaio foi realizado apenas com a estirpe verde. Para o ensaio, utilizou-se uma microplaca de 96 poços. A primeira linha foi reservada para os brancos, compostos por 25 µL da solução de extrato e 200 µL de metanol, a fim de descontar a cor intrínseca das amostras. A primeira coluna continha os controles: 200 µL de DPPH em metanol e 25µL de etanol 20% (v/v), utilizado como solvente da amostra. Nas restantes colunas, foram adicionados 25 µL da solução de extrato e 200 µL da solução de DPPH. As amostras foram preparadas em diferentes concentrações por diluição seriada: 1 mg/mL (coluna 2), 0,5 mg/mL (coluna 3), 0,25 mg/mL (coluna 4), 0,125 mg/mL (coluna 5) e 0,0625 mg/mL (coluna 6) (**Fig.12**). Após preparação, a microplaca foi incubada durante 15 minutos à temperatura ambiente e protegida da luz com papel de alumínio. A absorbância foi medida a 515 nm, utilizando o leitor de microplacas Biotek.

A atividade antioxidante foi calculada em quatro etapas:

1. Absorbância (Abs) média dos ensaios:

$$\text{Abs média} = (\text{Abs do ensaio 1} + \text{Abs do ensaio 2}) / 2$$

2. Correção do valor da absorbância, subtraindo o branco:

$$\text{Abs corrigida} = \text{Abs média} - \text{Abs do branco}$$

3. Percentagem de radical livre remanescente:

$$\% \text{ de radical livre} = (\text{Abs amostra} \times 100) / \text{abs controle}$$

4. Percentagem de radical livre sequestrado:

$$\% \text{ de radical livre sequestrado} = 100 - \% \text{ de radical livre}$$



Fig. 12 - Microplaca

## 2.5. Formulação de um creme O/A

A partir do extrato de cianobactérias previamente obtido, procedeu-se à formulação de um creme do tipo O/A (óleo em água), incorporando o extrato na emulsão. Inicialmente, o extrato foi triturado num almofariz até se obter um pó fino. De seguida, procedeu-se à pesagem dos componentes: extrato (0,250 g), água destilada (32,5 g), álcool cetílico (4,5 g), vaselina (2,5 g), parafina líquida (5 g), glicerina (5 g), NIPAGIN (conservante) (0,05 g) que previne a contaminação, e LSS (Lauril sulfato de sódio) (0,5 g). A glicerina foi adicionada ao extrato e a mistura foi agitada. Posteriormente, o NIPAGIN foi incorporado e transferido para um gobelé com água, ao qual se adicionou o LSS, homogeneizando. Paralelamente, preparou-se a fase oleosa (álcool cetílico, vaselina e parafina líquida), num gobelé. Ambas as fases foram aquecidas a 70 °C em banho-maria. Quando homogêneas e à mesma temperatura, a fase aquosa foi adicionada gradualmente à fase oleosa, sob agitação manual com vara de vidro. Após a mistura, manteve-se a agitação durante o arrefecimento, de modo a evitar a separação de fases e garantir a estabilidade da emulsão.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Identificação e quantificação das ficobiliproteínas

A quantificação das ficobiliproteínas das duas estirpes está apresentada na **Tabela 1**. A estirpe verde apresentou maior concentração de ficocianina (56  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ) e aloficocianina (29  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ) enquanto a estirpe vermelha revelou maior teor de ficoeritrina (37  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ).

Tabela 1. Resultados da quantificação das diferentes ficobiliproteínas

Phycobiliproteins ( $49 \text{ mg}^{-1}$ dry extract)			
Strains	Phycocyanin	Allophycocyanin	Phycouerythrin
verde	56	29	27
vermelha	26	26	37

Estes resultados evidenciam perfis pigmentares distintos entre as estirpes, refletindo a diversidade metabólica das cianobactérias. As ficobiliproteínas desempenham um papel central na captação de luz durante a fotossíntese, sendo também reconhecidas pelas suas propriedades antioxidantes [11].

A maior abundância de ficocianina na estirpe verde é particularmente relevante, uma vez que este pigmento tem sido associado à capacidade de neutralização de espécies reativas de oxigênio (ROS), podendo contribuir para a proteção contra o stress oxidativo induzido pela radiação UV [13]. Por outro lado, a maior concentração de ficoeritrina na estirpe vermelha poderá conferir vantagens na absorção de comprimentos de onda distintos, contribuindo para um espectro de absorção mais alargado

#### 3.2. Identificação de compostos do tipo micosporina (MAAs)

Os espectros de absorção das estirpes verde e vermelha estudadas estão apresentados nas figuras 13 e 14.

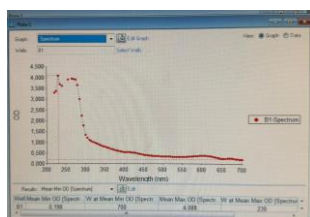


Fig. 13 – Espectro da estirpe verde

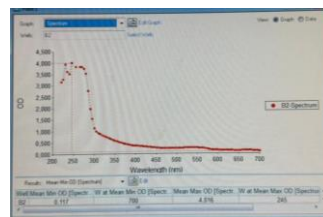


Fig. 14 – Espectro da estirpe vermelha

Os resultados sugerem a presença de compostos semelhantes a aminoácidos tipo micosporina (MAAs), conhecidos pela sua capacidade de absorver radiação UV.

No entanto, o comprimento de onda máximo observado (270 nm) não coincide totalmente com os valores típicos descritos para MAAs (geralmente entre 310–360 nm), o que indica que poderão estar presentes outros compostos ou formas modificadas destes metabolitos [14]. Para confirmação inequívoca da presença de MAAs, seria necessária a utilização de técnicas analíticas mais específicas, como cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

Apesar desta limitação, os espectros obtidos evidenciam absorção nas regiões UVB (290–320 nm) e UVA (320–400 nm), sugerindo que os extratos apresentam potencial fotoprotetor. Este tipo

de absorção é consistente com a função natural destes compostos em organismos fotossintéticos, onde atuam como “filtros solares” biológicos [12].

### 3.3. Avaliação da atividade antioxidante (DPPH)

Os valores das absorvâncias e o gráfico dose-resposta para o sequestro do radical livre DPPH estão apresentados nas figuras 15 e 16, respectivamente.

E	0.052	0.051	0.050	0.051	0.048	0.049
F	0.076	0.053	0.070	0.091	0.099	0.384
G	0.684	0.607	0.617	0.534	0.641	1.148
H	0.753	0.540	0.478	0.514	0.442	0.660

Fig. 15 – Resultado das absorvâncias

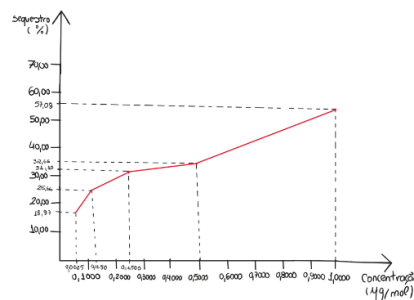


Fig. 16 – Gráfico da % sequestrada em função da concentração da amostra

O ensaio com o radical livre DPPH demonstrou um aumento do sequestro radicalar com o aumento da concentração do extrato, evidenciando uma relação dose-dependente. Este comportamento indica a presença de compostos com atividade antioxidante, capazes de neutralizar radicais livres. A atividade observada poderá estar associada à presença de ficobiliproteínas e compostos tipo micosporina, mas também a outros metabolitos secundários produzidos por cianobactérias, como carotenoides, amplamente descritos pela sua capacidade antioxidante [15].

A atividade antioxidante é particularmente relevante no contexto da fotoproteção, uma vez que a radiação UV induz a formação de espécies reativas de oxigênio, responsáveis por danos celulares, envelhecimento cutâneo e processos inflamatórios. Assim, a combinação de absorção UV e atividade antioxidante representa uma estratégia complementar de proteção.

### 3.4. Caracterização do creme protetor solar

O creme formulado apresentou uma textura homogênea, estabilidade física e ausência de separação de fases (Fig. 17 e 18), indicando uma formulação viável do ponto de vista tecnológico. O creme apresentou uma cor acinzentada, dada a presença do extrato, cuja percentagem de incorporação foi de 0,5%.



Fig. 17 – Emulsão após o arrefecimento



Fig. 18 – Creme final na embalagem

Inicialmente, o produto não apresentava odor, no entanto, após a adição de uma essência de melão e pepino, passou a apresentar essa fragrância. Os resultados obtidos indicam que foi possível formular com sucesso, um creme protetor solar do tipo O/A, apresentando boa

homogeneidade e estabilidade, sem evidência de separação de fases. A textura consistente, a ausência de grumos e a suavidade ao toque sugerem propriedades reológicas adequadas, nomeadamente uma viscosidade equilibrada, boa espalhabilidade e coesão, características importantes para a aplicação a aplicação tópica do produto [16].

A adição de uma essência permitiu melhorar as características sensoriais do creme, fator relevante para a aceitação pelo utilizador.

Apesar da estabilidade observada a curto prazo, seria importante realizar ensaios de estabilidade ao longo do tempo, de modo a avaliar eventuais alterações físico-químicas e determinar durabilidade, segurança e prazo de validade do produto.

#### 4. Conclusão

O presente trabalho permitiu desenvolver uma formulação de protetor solar à base de extratos de cianobactérias, evidenciando o seu potencial como alternativa aos filtros UV convencionais. Os resultados demonstraram a presença de compostos com capacidade de absorção da radiação UV e atividade antioxidante, reforçando o seu papel na fotoproteção. A formulação do tipo óleo-em-água revelou-se homogénea e fisicamente estável, demonstrando a viabilidade da incorporação dos extratos numa matriz cosmética funcional. Estes resultados evidenciam o potencial das cianobactérias como fonte sustentável de compostos bioativos para aplicações em fotoproteção, com menor impacto ambiental, particularmente relevante para a preservação dos ecossistemas marinhos. No entanto, a validação completa desta abordagem requer estudos adicionais, nomeadamente avaliações de estabilidade a longo prazo, eficácia em condições reais de utilização e segurança da formulação.

#### Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à Professora Isabel Allen, no âmbito da disciplina de Química, pelo acompanhamento pedagógico e apoio ao longo do desenvolvimento do projeto, incluindo a definição do tema e estrutura do trabalho, pela motivação constante, dedicação e entusiasmo demonstrados ao longo de todo o percurso.

Agradecemos à Professora Luísa Santos, da Escola Secundária da Maia, pela facilitação do contacto com o CIIMAR, permitindo a realização da componente experimental do projeto.

Expressamos o nosso agradecimento ao Professor Doutor Vítor Vasconcelos, Diretor do CIIMAR, por autorizar a realização do trabalho nas instalações do centro, proporcionando acesso a infraestrutura científica.

Agradecemos à Doutora Graciliana Lopes pela orientação científica durante a fase experimental, incluindo apoio na execução dos protocolos laboratoriais e enquadramento dos métodos utilizados, bem como pela motivação que nos incentivou a dar o nosso melhor em todas as fases do projeto.

Agradecemos igualmente à Doutora Janaína Bavini pelo acompanhamento técnico durante o trabalho laboratorial, nomeadamente no apoio à realização das experiências e esclarecimento de dúvidas ao longo da fase experimental, e também pela forma como nos motivou, tornando esta experiência mais enriquecedora.



## Referências Bibliográficas

1. Siller, A., Blaszcak, S. C., Lazar, M., & Olasz Harken, E. (2018). Update about the effects of the sunscreen ingredients oxybenzone and octinoxate on humans and the environment. *Plastic and Surgical Nursing*, 38(4), 158–161. DOI: 10.1097/PSN.0000000000000244
2. Deepak. (7 de maio de 2025). The environmental and health impact of sunscreens: A comprehensive look at sustainability challenges. *The Sustainable Innovation*. Consultado a 14 de outubro de 2025. <https://thesustainableinnovation.com/impact-of-sunscreens/>
3. Schneider, S. L., & Lim, H. W. (2019). Review of environmental effects of oxybenzone and other sunscreen active ingredients. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 80(1), 266–271. DOI: 10.1016/j.jaad.2018.06.033
4. Daniel Molins-Delgado, María Del Mar Olmo-Campos, Gemma Valeta-Juan, Vanessa Pleguezuelos-Hernández, Damià Barceló, M Silvia Díaz-Cruz. Determination of UV filters in human breast milk using turbulent flow chromatography and babies daily intake estimation. *Environ Res.*2018.161:532-539. DOI: 10.1016/j.envres.2017.11.033.
5. Matta, M. K., et al. (2019). Effect of sunscreen application on plasma concentration of sunscreen active ingredients. *Journal of Clinical Pharmacology*, 60(1), 94–102. <https://doi.org/10.1111/jcpt.12778>
6. Klara Matouskova, Jennifer Bugos, Sallie S Schneider, Laura N Vandenberg. Exposure to Low Doses of Oxybenzone During Perinatal Development Alters Mammary Gland Stroma in Female Mice. *Front Toxicol.* 2022 May 20:4:910230. doi: 10.3389/ftox.2022.910230.
7. Sara Abdel Azim, Liat Bainvoll, Natalia Vecerek, Vincent A DeLeo, Brandon L Adler. Sunscreens part 2: Regulation and safety. *J Am Acad Dermatol.* 2025. 92:689-698. DOI: 10.1016/j.jaad.2024.02.066.
8. Antonia Herrero *The Cyanobacteria: Molecular Biology, Genomics, and Evolution*. Caister Academic Press, 2008.
9. Lopes, G. (Janeiro de 2014). SEAWEEDES FROM THE PORTUGUESE COAST: CHEMISTRY, ANTIMICROBIAL AND ANTI-INFLAMMATORY CAPACITY. Repositório Aberto da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/71802/2/27749.pdf>
10. CIIMAR. (26 de Novembro de 2025). Enzyme discovered in cyanobacteria opens doors to biotechnological innovation. CIIMAR. Consultado a 26 de março de 2026, em <https://www.ciimar.up.pt/pt-pt/enzyme-discovered-in-cyanobacteria-opens-doors-to-biotechnological-innovation/>
11. Eriksen, N. T. Production of phycocyanin--a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2008. 80: 1-14. doi: 10.1007/s00253-008-1542-y.
12. J Malcolm Shick, Walter C Dunlap. Mycosporine-like amino acids and related Gadusols: biosynthesis, accumulation, and UV-protective functions in aquatic organisms. *Annu Rev Physiol.* 2002. 64:223-262. doi: 10.1146/annurev.physiol.64.081501.155802.
13. Anamika Patel, Sandhya Mishra, P K Ghosh. Antioxidant potential of C-phycocyanin isolated from cyanobacterial species *Lyngbya*, *Phormidium* and *Spirulina* spp Indian J Biochem Biophys.2006.43:25-31.
14. Jose I Carreto, Mario O Carignan. Mycosporine-like amino acids: relevant secondary metabolites. Chemical and ecological aspects. *Mar Drugs.* 2011 .21:387-446. doi: 10.3390/md9030387.
15. Jyoti Jaiswal, Neha Kumari, Amit Gupta, Ashish P Singh, Rajeshwar P Sinha. Impacts of ultraviolet and photosynthetically active radiations on photosynthetic efficiency and antioxidant systems of the cyanobacterium *Spirulina subsalsa* HKAR-19. *Folia Microbiol (Praha).* 2024.69:747-765. doi: 10.1007/s12223-023-01110-7.
16. Hemi Nae Rheological Properties of Topical Formulations. Chapter 11. Book Editor(s):Nava Dayan. First published: 12 December 2016. <https://doi.org/10.1002/9781119364221>.

## ANEXO 1

### Solução A

Reagent	Name	g/l	g/2L
NaNO <sub>3</sub>	Sodium nitrate	46.7	93.4
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	Calcium nitrate tetrahydrate	5.9	11.8
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Magnesium sulfate heptahydrate	2.5	5.0

### Solução B

Reagent	Name	g/l	g/2l
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Potassium phosphate dibasic	3.1	6.2
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Sodium carbonate	2.1	4.2

### Micronutrientes

Solution	ml/l	ml/500ml
1 a 12	10	5 ml
13 e 14	100	50 ml

### Fe-EDTA

Solution	ml/l	ml/2L
FeCl <sub>3</sub> *	10	20 ml
EDTA-Na**	9.5	19 ml

#### \* FeCl<sub>3</sub> Solution

Reagent	Name	100ml	250ml
FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	Ferric chloride	2.8 g	7 g
HCl (0.1 N)	Hydrochloric acid	100ml	250ml

#### \*\* EDTA-Na Solution

Reagent	Name	100 ml	250 ml
EDTA	Ethylenediamine tetraacetic acid	3.9 g	9.75 g
NaOH (0.1 N)	Sodium hydroxide solution	100 ml	250 ml