

Aqui Tem Química: Parte XVII. A Praia e os Protetores Solares

There is Chemistry Here: Part XVII. The Beach and Sunscreens

Alcione Silva de Carvalho,^{a,*} Cristina Moll Hüther,^b Patricia Garcia Ferreira,^a Wilson C. Santos,^d Luana da Silva Magalhães Forezi,^c Fernando de Carvalho da Silva,^e Vitor Francisco Ferreira^{a,e,*}

^aUniversidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, Laboratório de Inovação em Química e Tecnologia Farmacêutica, CEP 24241-000, Niterói-RJ, Brasil

^bUniversidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, CEP 24210-240, Niterói-RJ, Brasil

^cUniversidade Federal Fluminense, Instituto de Química, Departamento de Química Orgânica, CEP 24020-141, Niterói-RJ, Brasil

^dUniversidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, CEP 24241-000, Niterói-RJ, Brasil

^eUniversidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Laboratório de Inovação em Química e Tecnologia Farmacêutica, CEP 24241-000, Niterói-RJ, Brasil

*E-mail: vitorferreira@id.uff.br; alcionecarvalho@id.uff.br

Submissão: 4 de Novembro de 2025 – Aceite: 12 de Maio de 2026 – Publicado online: 27 de Maio de 2026

This article highlights the importance of chemistry in understanding the beach environment, focusing on the substances present, their interactions with solar radiation, and the resulting effects. The main objective is to deepen knowledge about the chemical components and processes occurring at the beach, including the composition and function of sunscreens, as well as strategies to mitigate the negative impacts of solar exposure. Additionally, it addresses the environmental concerns related to sunscreen ingredients, particularly organic UV filters, which may bioaccumulate and adversely affect marine ecosystems such as coral reefs. The study anticipates concluding that while sunscreens are essential for human skin protection against ultraviolet rays, there is a pressing need to develop and use formulations that are safe for both human health and the environment, thereby harmonizing effective protection with sustainability. The article also emphasizes the vital role of chemistry education and environmental awareness in preserving coastal ecosystems.

Keywords: Environmental pollution; beach; chemical in sunscreens; ultraviolet rays.

“The beach is a place of strong magic. As a material space it is a boundary zone where the hint of celestial forces is whispered by the ebb and flow of tides, a space that is neither land nor sea, a zone of uncertainty that resonates with the sound of everchanging seas, a setting that is, by turns, calm, tranquil, and soothing or agitated, unruly, and frightening.”

Robert Preston-Whyte¹

1. Introdução

Este artigo aborda a presença da química no ambiente das praias, destacando a interação entre os componentes naturais, água do mar, areia e radiação solar, e os impactos decorrentes dessa dinâmica para a saúde humana e o meio ambiente. Inicialmente, o texto explora a composição da radiação solar, com ênfase na radiação ultravioleta (UVA, UVB e UVC), seus efeitos nocivos sobre a pele e o organismo, bem como a importância da luz solar para processos biológicos como

a síntese de vitamina D e a regulação do ritmo circadiano, os problemas para a saúde e para o meio ambiente causados pelos fotoprotetores solares, estratégias sustentáveis, como o desenvolvimento de tecidos com bloqueio UV e técnicas inovadoras, como o processo sol-gel para revestimentos protetores. O objetivo central é aprofundar o entendimento dos aspectos químicos do ambiente praiano, promovendo uma abordagem interdisciplinar que contribua para a proteção e o uso consciente da praia.

As praias costeiras são importantes espaços culturais, localizadas tanto em áreas urbanas quanto em regiões mais remotas. Elas constituem destinos amplamente apreciados pela população, atendendo a diversos propósitos, como lazer, banhos de mar e de sol, práticas esportivas, como surf, iatismo, futebol e voleibol, além de atividades de pesca artesanal, de comércio e de convivência social. A praia é amplamente reconhecida como um ambiente ideal para o descanso, o lazer e a restauração do bem-estar físico e emocional.² Milhões de pessoas em todo o mundo realizam diversas atividades nas praias, o que contribui para um

ambiente responsável, sustentando uma ampla cadeia de negócios, tanto na faixa litorânea quanto em seu entorno. A escolha da praia varia conforme as atividades desejadas e o período de uso, sendo influenciada por construções sociais que moldam a percepção e a apropriação desses espaços.³ À primeira vista, pode não parecer, mas a praia e as diversas atividades que nela ocorrem, tanto positivas quanto negativas, mantêm estreitas relações com a ciência, especialmente com a química.

As praias abrigam uma variedade de substâncias e organismos vivos na areia e na água que compõem o ambiente natural. Esses materiais dos ecossistemas entram em contato direto com o corpo das pessoas, podendo influenciar a saúde dos frequentadores. Por meio da química, é possível compreender a composição dos produtos que influenciam a vida nas praias. A ciência desempenha um papel essencial na apreciação e proteção desse valioso recurso natural. Uma praia é um ambiente complexo e diversificado, formado tanto por elementos naturais quanto por intervenções humanas. Ela é caracterizada por uma interação contínua entre diversos processos químicos, influenciados pela presença da água, energia solar, componentes da areia, poluentes e vida marinha. Dada a sua popularidade, as pessoas passam bastante tempo nas praias, entrando em contato direto com esses componentes. Na Figura 1, destacam-se os principais componentes de uma praia.

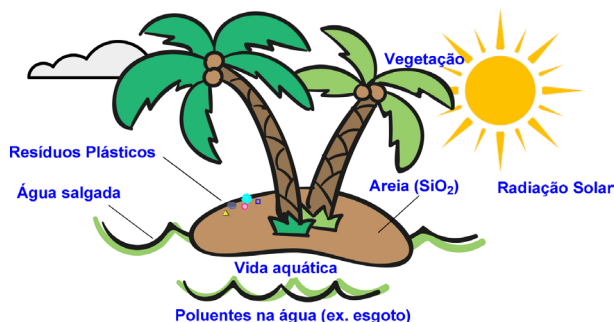


Figura 1. Elementos que podem estar presentes numa praia

É fundamental destacar que o conhecimento químico e o contexto ambiental das praias são limitados. Pouco se discute sobre os impactos dos protetores solares na saúde e nos ecossistemas marinhos. A falta de integração entre ciência, sustentabilidade e educação priva estudantes e a sociedade de um entendimento crítico. Superar essa barreira é urgente para formar cidadãos capazes de proteger esses ambientes e promover práticas responsáveis. Essa abordagem interdisciplinar fortalece a educação ambiental e contribui para a preservação dos recursos naturais essenciais à vida.

A ciência sustenta que a praia oferece diversos benefícios para a saúde mental e física. Há evidências que a combinação de diversos fatores leva a uma sensação geral de bem-estar de muitas pessoas está associada à ida à praia. A exposição

à luz solar aumenta o bem-estar por meio da produção de vitamina D. Deficiências dessa vitamina têm sido associadas à depressão. Em locais com invernos longos e pouca luz solar, como Escandinávia, Canadá e partes do Reino Unido e dos EUA, há relatos de pessoas que sofrem de “Transtorno Afetivo Sazonal” (TAS), do inglês “Seasonal Affective Disorder” (SAD), uma depressão relacionada à falta de luz, que afeta os equilíbrios químicos cerebrais, particularmente os relacionados à melatonina e à serotonina.⁴ Além disso, a luz solar é essencial para regular o ritmo circadiano e, consequentemente, o sono.

O som das ondas do mar tem um efeito calmante no cérebro. Existem estudos que sugerem que sons naturais, como o das ondas, podem reduzir a resposta do corpo ao estresse e induzir um estado de relaxamento. Pesquisas sugerem que a exposição a íons negativos produzidos pelas ondas do mar melhora a capacidade do indivíduo de absorver oxigênio, equilibrando, assim, os níveis de serotonina e tendo efeito antidepressivo.⁵

Muitas atividades na praia, como nadar, caminhar ou praticar esportes, envolvem exercício físico. O exercício é conhecido por liberar endorfinas, neurotransmissores que atuam como analgésicos naturais e estão associados à sensação de felicidade.⁶ A areia melhora na circulação sanguínea, beneficiando a saúde cardiovascular. Estudos sugerem também que andar na areia da praia, além de massagear a sola dos pés, estimulando pontos de acupuntura que estão ligados a outras partes do corpo, auxilia na curvatura dos pés para pessoas de plano valgo ou pé chato. Isso se deve ao fato de a superfície ser instável, exigindo que todos os músculos dos pés trabalhem em conjunto, fortalecendo, assim, os músculos intrínsecos dos pés, que desempenham papel importante na manutenção do arco do pé e na sua biomecânica geral.⁷

A biofilia, termo popularizado pelo biólogo Edward O. Wilson, é um conceito que sugere que os humanos têm uma inclinação inata para se conectar com a natureza e com outras formas de vida.⁸ Estar em um ambiente natural, como a praia, pode ter um efeito restaurador na mente humana, reduzindo a fadiga mental e promovendo um sentimento de renovação. A praia, para muitos, é uma fuga da rotina diária. A mudança de cenário, longe das responsabilidades e estresses diários, pode ajudar as pessoas a se desconectar, relaxar e rejuvenescer.

Este artigo é importante para o Ensino de Química por integrar conhecimentos científicos a um contexto cotidiano e atraente, como o ambiente da praia, o que favorece uma aprendizagem mais significativa e contextualizada. Ao explorar a composição química dos protetores solares e seus impactos ambientais, o texto estimula a reflexão crítica sobre questões de saúde, sustentabilidade e preservação dos ecossistemas costeiros.

2. Areia das Praias: Elementos Mais Usados pelos Habitantes

A areia é um dos elementos mais distintivos de uma praia, pois todos que vão às praias utilizam esse espaço. As areias são importantes ecossistemas para a conservação da biodiversidade e fornecem serviços socioeconômicos aos humanos; entretanto, são continuamente impactadas pela poluição química e orgânica, por festas, concertos musicais e pelo turismo, e por desastres naturais devido às mudanças climáticas globais⁹ e ressacas,¹⁰ causados pela falta de sustentabilidade social e ambiental.

Dentro desse contexto, é importante ressaltar que a sustentabilidade tem sido um tema atual, preocupante e urgente que requer a atenção da sociedade, do governo e do setor privado, pois envolve a economia, aspectos ecológicos e socioculturais. A praia é um ambiente muito explorado, que se correlaciona negativamente com o consumo e o crescimento econômicos. Esse aumento no consumo afeta de forma contundente as praias e os oceanos em todo o mundo, evidenciando sinais significativos de degradação da fauna e da flora marinhas.¹¹ É evidente que muitas praias estão sendo destruídas pela poluição das areias e da água. Não somente o lixo orgânico e polimérico está acabando com muitas praias, ilhas e geleiras, mas também o aumento da temperatura causado pelo aquecimento global, oriundo das atividades humanas. Esses ecossistemas estão ameaçados de desaparecimento devido ao aumento do nível do mar. A salinidade e o aumento do nível do mar ameaçam as praias em escala global; ou seja, esses indicadores impactam todas as praias de todos os litorais. Sobre o aumento do nível do mar, por exemplo, a geleira Thwaites, na Antártida, com 120 km de extensão, ameaça desmoronar em três a cinco anos, e seu derretimento pode aumentar o nível global do mar em cerca de 4%, promovendo o desaparecimento de praias e ilhas. É importante destacar que o aumento do nível do mar ameaça as infraestruturas de residências, comércios, estradas, pontes, metrô, abastecimento de água, poços de petróleo e gás, usinas elétricas, estações de tratamento de esgoto, aterros sanitários, etc. que foram construídas ao longo das costas em todo o mundo.^{12,13}

A areia de uma única praia pode abrigar várias centenas de espécies de micro-organismos, algumas pertencentes ao ecossistema local, outras trazidas pela poluição dos rios e outras devido a eventos climáticos extremos.¹⁴ Mais pessoas usam praias do que qualquer outro tipo de espaço nas cidades.^{15,16} A água das praias é frequentemente monitorada, e as informações sobre possíveis contaminações por micro-organismos são divulgadas à população. Para avaliar a qualidade dessas águas, utilizam-se como indicadores os coliformes fecais, grupo de bactérias presentes em fezes humanas e de animais, e os estreptococos fecais,

pertencentes à família Streptococcaceae. Geralmente, estreptococos fecais são mais resistentes ao ambiente natural da água e aos processos de purificação do que outros organismos indicadores.^{17,18} Muitas destas praias acabam se tornando impróprias ao uso humano devido ao lixo e ao esgoto irregular que levam à contaminação microbiológica. Diariamente, são depositados resíduos orgânicos e inorgânicos de diversas origens e composições nas águas e nas areias visíveis e invisíveis, como produtos químicos de cosméticos e protetores solares. Em algumas praias, a areia ainda pode conter micróbios provenientes das fezes de animais, prejudiciais à saúde humana, por meio da água e da própria areia.¹⁹

Desconsiderando a presença de resíduos, as areias das praias são formadas por pequenos grãos de minerais, principalmente quartzo, feldspato, mica e outros provenientes da erosão e do transporte de rochas pelo vento, pela água e pelo gelo. Dependendo da região e da área geológica, algumas praias podem apresentar depósitos minerais que tornam a areia preta, contendo magnetita, ilmenita, hematita e outros minerais ricos em ferro e óxidos metálicos.^{20,21}

O principal componente da areia é o dióxido de silício (SiO_2) na forma de cristais de quartzo.²² A cor da areia pode variar conforme a localização e a presença de outros minerais. Se houver objetos ferrosos na praia ou nas proximidades, como cadeiras de praia, eles podem sofrer corrosão e formar pedaços de ferrugem, que ficam misturados à areia. As algas marinhas acumulam metais e, após sua decomposição, podem contribuir para a presença de sais de metais pesados nas areias.^{23,24}

A água do mar é outro componente essencial de uma praia, intimamente ligado à faixa de areia. As ondas moldam constantemente as areias, ampliando e reduzindo sua faixa, além de levarem e trazerem detritos. É composta principalmente de água, mas também contém diversos sais, minerais e íons dissolvidos, o que confere à água a sua característica salgada. No caso da água salgada (água do mar), a característica química mais proeminente é a presença do cloreto de sódio (NaCl), juntamente com outros íons, como magnésio, cálcio, potássio e sulfato. Esses íons dissolvidos contribuem para a salinidade da água.

Nas praias oceânicas, a faixa de arrebentação, onde as ondas quebram, constitui uma zona de transição entre o mar e a areia e abriga uma rica diversidade de organismos marinhos, como peixes, crustáceos, moluscos, algas e outros. Os crustáceos são compostos principalmente de carbonato de cálcio (CaCO_3), que provém dos restos desses organismos. Algumas dessas praias também possuem vegetação adaptada ao ambiente, como plantas halófitas, que toleram o alto teor de sal,²⁵ e outras espécies adaptadas às condições do litoral.

Nos dias atuais, os resíduos plásticos que se acumularam

nos rios e nos oceanos têm sido alvo de grande preocupação dos cientistas e ambientalistas, pois afetam negativamente os organismos presentes nesses corpos hídricos e a saúde humana que consome frutos do mar. O mar devolve para as praias os resíduos maiores, visíveis nas areias. Os estudos indicaram que há, nos oceanos, cerca de 170 trilhões de partículas de plástico que, se reunidas, pesariam cerca de 2,3 milhões de toneladas.^{26,27} Cerca de 300 milhões de toneladas de plástico são produzidas a cada ano, das quais uma parte entra nos rios e nos oceanos. Os plásticos que flutuam na água do mar podem ser lançados em terra por correntes e ventos, ou se acumularem em zonas, como nas praias. É difícil obter avaliações quantitativas globais das liberações diretas de microplásticos primários de origem petroquímica nos oceanos do mundo, mas recentemente Giezen e Wiegman realizaram um estudo completo sobre a quantificação de resíduos plásticos nos oceanos.²⁸ Todos os anos são produzidas cerca de 300 milhões de toneladas de plástico, das quais uma parte entra nos rios e nos oceanos. Os plásticos que flutuam na água do mar podem ser lançados em terra por correntes e ventos, ou se acumular nas chamadas zonas, como nas praias.²⁹ Os grandes resíduos de plástico são facilmente visíveis e têm impactos sociais, econômicos e ecológicos negativos. Os microplásticos não são visíveis e sua liberação nos rios³⁰ e nos oceanos³¹ também pode ter consequências de longo alcance para a saúde humana.³² Nos rios da bacia Amazônica, microplásticos foram encontrados em 40 localidades fluviais na Amazônia brasileira, dos quais cerca de 90% eram fibras de poliéster e fragmentos de polipropileno e de polietileno.^{33,34,35} Com o grande volume de água que o rio Amazonas despeja no oceano, esses microplásticos vão se espalhar pelo mundo.

3. A Radiação Solar ou Luz Branca

Além da areia e da água, as pessoas também buscam o sol nas praias. Com o calor, o sol emite radiação eletromagnética, medida pelo comprimento de onda λ , em nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Além da luz branca, há radiação na faixa do ultravioleta (UV). A radiação solar que chega à Terra é composta por 56% de infravermelho, 39% de luz visível e 5% de luz ultravioleta.³⁶ As radiações solares mais perigosas pertencem à região do ultravioleta, como o UVA, com comprimento de onda entre 315 e 400 nanômetros; o UVB, entre 280 e 315 nanômetros; e o UVC, entre 100 e 280 nanômetros. Essas radiações são muito perigosas para a pele, com desdobramento muito negativos para a saúde como a pele e doenças mais graves, tais como queimaduras solares, danos aos olhos, enfraquecimento do sistema imunológico, desenvolvimento de rugas e manchas, fotodermatite, ceratoses actínicas, câncer de pele (melanoma

maligno e câncer de pele não melanoma), alterações histológicas na epiderme, envelhecimento precoce, cataratas e carcinogênese e, outras deteriorações de materiais e ecossistemas. No entanto, os efeitos da radiação solar podem ser mitigados com o uso de protetores solares passivos de uso tópico. Essas formulações com protetores solares se tornaram um grande negócio na área de cosméticos e serão detalhadas para que se entenda como funcionam.³⁷

O planeta se desenvolveu em função da luz solar. Não há como se viver sem essa radiação que aquece o planeta e promove a fotossíntese, essencial para o crescimento das árvores, a produção agrícola e o crescimento das algas nos oceanos. Esses fenômenos ocorrem apenas na presença da luz solar. Há muitos outros exemplos importantes em que a luz solar é fundamental. Nas células fotovoltaicas em placas ou em janelas inteligentes que transformam a energia solar em eletricidade, que só funcionam com a luz solar. Em termos de energia renovável, essa é a maior revolução em curso no mundo e busca fontes de energia produzíveis em qualquer lugar do planeta.

A luz solar é composta por uma mistura de radiações de diferentes comprimentos de onda, formando o espectro eletromagnético. Apenas a região visível desse espectro é capaz de sensibilizar o olho humano de uma pessoa normal. Quando a luz branca atravessa um prisma de quartzo ou gotículas de chuva, ela se decompõe em cores do arco-íris: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta (Figura 2). Cada cor corresponde a um comprimento de onda específico, sendo o vermelho o de comprimentos de onda mais longos e o violeta o de comprimentos de onda mais curtos.

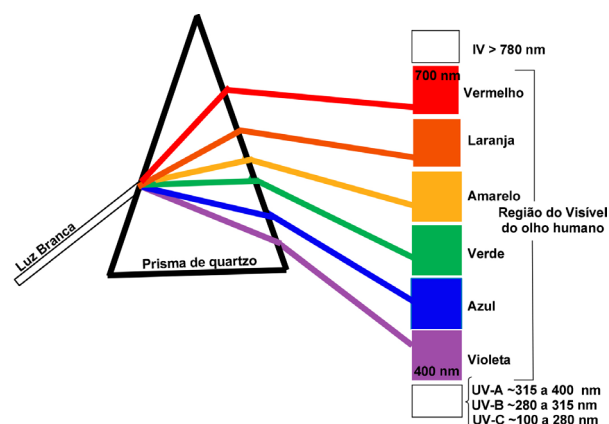


Figura 2. Decomposição da luz branca do sol por um prisma

A luz infravermelha (IV) possui comprimentos de onda mais longos do que a luz vermelha e é invisível ao olho humano. Ela é responsável pela emissão de radiação infravermelha e desempenha um papel crucial na manutenção da temperatura da Terra. Por outro lado, as radiações mais energéticas, com comprimentos de onda menores, são as mais penetrantes e correspondem à extremidade violeta do

espectro visível. A luz ultravioleta possui comprimentos de onda menores do que os da luz violeta e é invisível ao olho humano. Essa região é dividida em três comprimentos de onda: UV-A, UV-B e UV-C. A luz ultravioleta é responsável por vários processos naturais, mas também pode ser prejudicial em doses excessivas. A pele humana é composta por três camadas principais: epiderme (camada externa), derme (camada média) e hipoderme (camada mais profunda) e, dependendo do comprimento de onda (λ) da radiação ultravioleta (UV-A e UV-B), penetrará em diferentes camadas da pele, provocando efeitos nocivos distintos. As radiações na faixa do UV-A (maior comprimento de onda) penetram mais profundamente na pele e atingem tanto a epiderme quanto a derme. Na epiderme, esses raios são os principais responsáveis pelo envelhecimento precoce da pele, afetando as células da camada basal, onde se formam os melanócitos, o que contribui para o desenvolvimento de melanomas. Na derme, os raios UV-A danificam as células, levando à degradação do colágeno e à perda de elasticidade. Por outro lado, as radiações da faixa do UV-B, de menor comprimento de onda, afetam basicamente a epiderme; entretanto, são responsáveis pelas queimaduras solares e pelo dano direto ao DNA. A exposição prolongada a esses raios pode levar ao desenvolvimento de vários tipos de câncer de pele, como o carcinoma basocelular. Já a radiação UV-C, em condições naturais, é quase totalmente absorvida pela camada de ozônio antes de atingir a superfície e, portanto, não afeta diretamente a pele. Mas quando usadas artificialmente, as UV-C podem causar danos extremamente severos à epiderme. Essas lâmpadas são utilizadas como germicidas para desinfecção, pois matam ou inativam micro-organismos.

A luz solar também possui diversas radiações de comprimentos de onda menores do que o UV (ex.: raios X, raios gama) e de comprimentos de onda maiores do que o IV (ex.: ondas de rádio e de televisão, micro-ondas).

Apesar dos problemas causados pelas radiações UV do sol, elas são úteis para muitas aplicações químicas em estudos científicos e industriais.³⁸ Na química, muitas reações são promovidas por radiações eletromagnéticas visíveis e ultravioletas, que constituem o campo da fotoquímica e são conhecidas há mais de um século. Daniel Berthelot (1865-1927) usou a radiação ultravioleta de uma lâmpada de vapor de mercúrio para conduzir uma série de reações de oxidação e polimerização, demonstrando que a fotólise poderia promover muitas delas.³⁹ A fotoquímica é a área da química e da física que estuda as reações e os estados excitados da matéria.⁴⁰

As principais reações que ocorrem sob a influência de luz são as pericíclicas. Na Figura 3, destacam-se algumas reações de ciclização, permitidas pelas regras de simetria dos orbitais, o que evidencia a eficiência da fotoquímica. O composto 1,2-difenil-3,3,4,4-tetrametilciclobutano foi obtido por meio de uma reação [2+2] em 95% a partir do transestilbeno, irradiado no ultravioleta em tetrametiletileno durante 19 horas.⁴¹

Ischay *et al.*⁴² demonstraram que o complexo metálico [Ru(bipy)₃Cl₂] funciona muito bem como fotocatalisador de luz visível na cicloadições de [2+2] de enonas arilados. A reação mostrada na Figura 3 apresentou alto rendimento e excelente diastereosseletividade na formação do ciclobutano. A eficiência desse processo é extremamente alta, rápidas (1 h) e de alto rendimento, usando a luz solar incidente como única fonte de irradiação.

Para exemplificar o uso de formação de produtos por interação de moléculas com luz de comprimentos específicos, destacamos a área de fotopolimerização. Nesse processo químico, um monômero líquido de baixo peso molecular é transformado em um polímero sólido ou em um compósito (mistura produzida a partir de duas ou mais classes de materiais), quando exposto à luz de

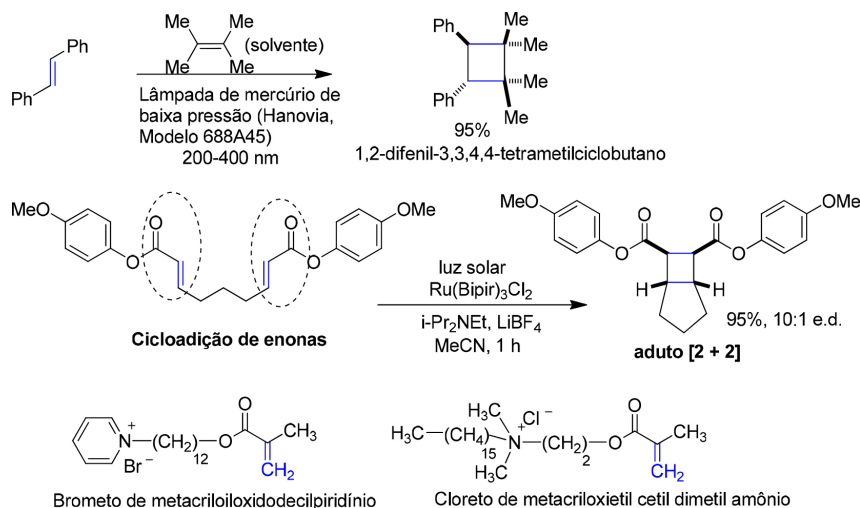


Figura 3. Exemplos de substâncias que podem formar produtos com irradiação de luz

comprimentos de onda específicos (ex. ultravioleta, lasers ou LEDs (light-emitting diodes)). Estes processos que ocorrem nas resinas utilizam um fotoiniciador que forma radicais livres (espécies reativas),⁴³ induzidos pela radiação, que iniciam e propagam a formação da cadeia polimérica. A odontologia é uma das muitas áreas que empregam materiais fotopolimerizáveis na produção de materiais dentários, particularmente nas restaurações. Na Figura 3, destaca-se a estrutura química do brometo de metacrilóiloxidodecílpiridínio (MDPB). Esse monômero derivado do ácido acrílico também pertence à categoria de compostos de amônio quaternário. Esses compostos geralmente possuem propriedades antimicrobianas, o que significa que podem inibir o crescimento de vários microrganismos, incluindo bactérias.^{44,45} No contexto da odontologia, o MDPB é utilizado em materiais restauradores. As restaurações dentárias envolvem o reparo de dentes danificados ou cariados, com o uso de materiais dentários à base de resina fotopolimerizável e de diversos compostos, formando um compósito. A fotopolimerização também é amplamente utilizada em diversos setores, como impressão 3D, revestimentos, adesivos e litografia.⁴⁶

4. Os Fotoprotetores ou Protetores Solares

O ser humano sempre esteve exposto às radiações solares e rapidamente percebeu seus efeitos na pele. Com a perda da pelagem, a luz do sol passou a causar não apenas calor, mas também queimaduras dolorosas, deixando a pele inflamada e sensível.⁴⁷ Portanto, desde os tempos mais remotos, o ser humano reconheceu a necessidade de proteger a pele, utilizando óleos vegetais ou argilas aplicadas ao corpo. Posteriormente, surgiram vestimentas, como chapéus de palha de abas largas, turbantes, guarda-chuvas, túnicas amplas e esvoaçantes, além de véus para cobrir o rosto. Com o avanço da ciência, desenvolveram-se formulações modernas de protetores solares, oferecendo maior eficácia na proteção contra a radiação ultravioleta. Essas formulações, quando espalhadas sobre a pele e expostas à luz solar, filtram os raios UV e dissipam a energia eletromagnética sob a forma de calor. As pessoas, no lazer ou no trabalho, precisam usar esse produto para proteger a pele dos raios UV nocivos. O primeiro protetor solar formulado foi o criado em 1935 por Eugène Schueller, o fundador da L'Oréal. O "Ambre Solaire" era um protetor solar com uma composição oleosa contendo salicilato de benzila como absorvedor de radiação UV.^{48,49}

Existem no mercado diversos tipos de formulações fotoprotetoras, na forma de géis, loções, cremes, sprays e pó compacto, mas a maior parte se apresenta em loção e creme, que atuam por meio de substâncias simples que absorvem

e dissipam a radiação UV.^{50,51} As sínteses desses produtos não são muito complexas e algumas podem ser realizadas em laboratórios de graduação.⁵²

As formulações de protetores solares disponíveis nas drogarias reúnem, de modo geral, dois conjuntos de filtros: orgânicos, frequentemente denominados químicos, e inorgânicos, conhecidos como físicos. Os primeiros atuam predominantemente pela absorção da radiação ultravioleta, convertendo-a em calor; já os segundos promovem reflexão e dispersão dessa radiação. Entre os inorgânicos, destacam-se óxidos que formam uma barreira na superfície cutânea, atenuando a incidência de UV nas camadas mais profundas. É comum, ainda, a combinação de compostos orgânicos e inorgânicos em uma mesma formulação. Nesse contexto, o óxido de zinco (ZnO) e o dióxido de titânio (TiO₂) ocupam posição central como fotoprotetores inorgânicos. Em escala nanométrica, além do efeito de espalhamento, também apresentam capacidade de absorção, especialmente na faixa do UV-B. Até o momento, são os únicos materiais inorgânicos autorizados pela RDC nº 600 da ANVISA para uso como filtros UV, em concentrações de até 25%. Para assegurar eficácia cosmética e minimizar o aspecto esbranquiçado na pele, essas partículas, de baixa solubilidade, são empregadas em dimensões reduzidas, tipicamente inferiores a 100 nm. Embora haja preocupações quanto à possível penetração cutânea, evidências experimentais indicam que nanopartículas de ZnO e TiO₂ não ultrapassam o estrato córneo, o que sustenta sua segurança nas formulações de protetores solares.⁵³

Como os protetores solares químicos e físicos entram em contato com a pele, que é o maior órgão do corpo humano e desempenha diversas funções essenciais para a nossa saúde, essas substâncias podem causar irritações, penetrar no interior do corpo e chegar ao sangue. No Brasil, essas substâncias são controladas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para garantir sua segurança e eficácia. Por meio de regulamentação, a ANVISA autoriza o uso do protetor solar e a sua concentração máxima na formulação. A mais recente resolução é a RDC Nº 600 que dispõe sobre a lista de filtros ultravioletas permitidos para produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes.⁵⁴ Essa resolução sobre a lista de filtros ultravioletas permitidos para produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes também faz parte da Resolução GMC MERCOSUL nº 44/2015.

Na RDC Nº 600 da ANVISA, estão liberadas 36 substâncias orgânicas para uso como protetores solares, com proteções máximas de 5% a 15%, exceto para ZnO e TiO₂, que têm proteções máximas de 25%. A lista da ANVISA também mostra quais são os protetores proibidos em produtos cuja aplicação em spray possa conduzir à inalação e prejudicar os pulmões e outros órgãos internos. Como pode

ser observado na Figura 4, todas as substâncias aprovadas pela ANVISA como protetores solares possuem, em suas estruturas moleculares, pelo menos um grupo cromóforo que absorve radiação na faixa do UV. Esses grupos removem as radiações UV da luz solar e as transformam em energia térmica, evitando que penetrem na pele. É preciso uma ampla faixa de absorção como característica essencial para a eficácia do protetor. Se um protetor não abranger todas as faixas de absorção dos raios UV-A e UV-B, as formulações podem usar uma combinação com outros protetores solares. Não menos importantes são as questões da fotoestabilidade do protetor sob radiação UV, da baixa capacidade de irritação da pele, da solubilidade nas formulações à base de água ou de óleo e da eficácia. A combinação adequada de diferentes ingredientes pode ser usada para criar protetores solares que ofereçam proteção de amplo espectro e sejam seguros e eficazes para a pele. A maioria dos protetores solares usa cerca de dois a seis ingredientes ativos, podendo ser, entre eles: oxibenzona (2-hidroxi-4-metoxibenzofenona), avobenzona (butil metoxidibenzoilmetano), octisalato (2-etilhexil-2-hidroxibenzoato), octocrileno (2-ciano-3,3'-difetilacrilato de 2-etilexila), homosalato (isoamil p-metoxicinamato) e octinoxato (4-metoxicinamato de etil-hexil).

Apesar de o Brasil ter uma flora bastante rica, capaz de contribuir com muitos compostos naturais com características de fotoproteção, como, por exemplo, propiofenonas, derivados do ácido cafeico, lignanas, ocotrienóis, carotenoides e flavonoides,⁵⁵ não há, na lista da RDC Nº 600 da ANVISA, nenhum produto natural aprovado. Seria muito oportuno para o meio ambiente o uso de produtos naturais. Uma possível explicação pode ser a capacidade de produção dessas substâncias em grande escala e o preço. Porém, como a sustentabilidade ambiental é urgente, é preciso pensar em produtos alternativos menos agressivos à fauna marinha.

Para cobrir uma grande parte da faixa UV, muitos protetores solares disponíveis no mercado contêm diversos filtros químicos. As composições dos protetores solares atualmente disponíveis no mercado incorporam uma variedade significativa de substâncias, cada uma desempenhando funções de grande importância na formulação, conforme as faixas estabelecidas pela ANVISA. Isso inclui a inclusão de diversos filtros solares que abrangem tanto as faixas de UV-A quanto as de UV-B. A Figura 5 apresenta uma síntese dos ingredientes presentes em uma fórmula de um produto amplamente reconhecido

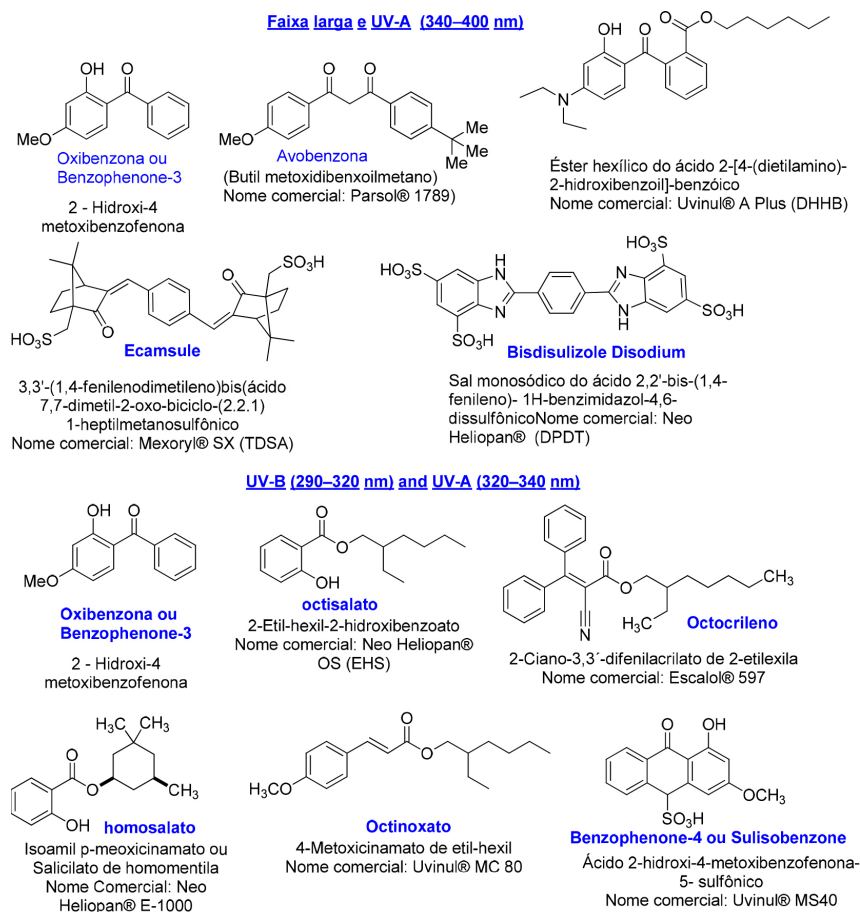


Figura 4. Exemplos de protetores solares orgânicos aprovados pela ANVISA

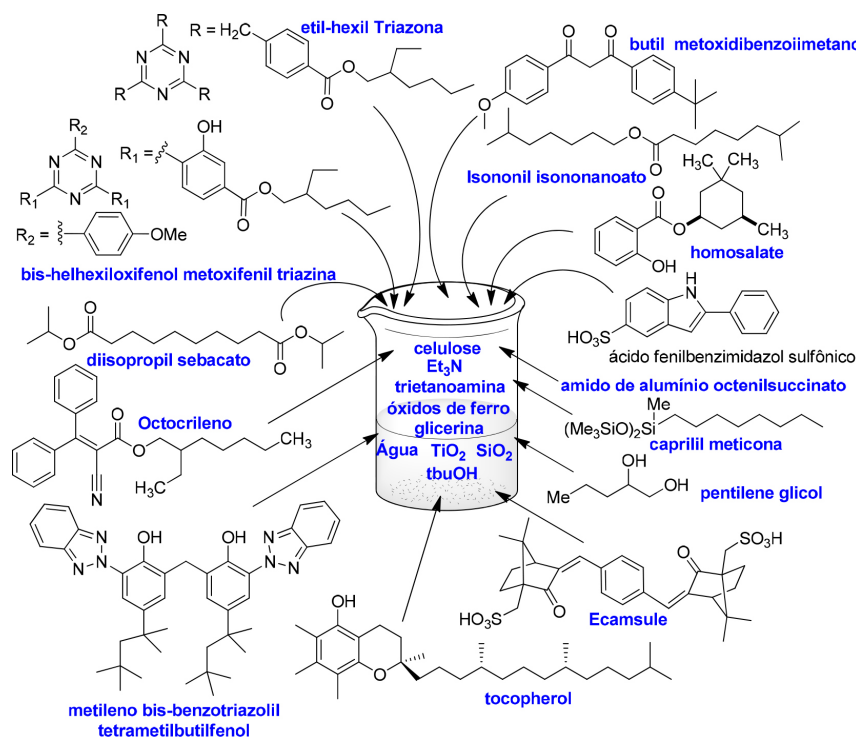


Figura 5. Exemplo de uma composição parcial de um protetor solar do mercado

e disponível em farmácias. No entanto, ao analisarmos os componentes de outras marcas, fica evidente que o número de ingredientes empregados é bastante extenso. Essas substâncias são liberadas pela pele humana à medida que as pessoas mergulham, nadam ou surfam no rio ou no mar.⁵⁶

O Fator de Proteção Solar (FPS) é um conceito simples baseado no eritema causado no corpo humano pela exposição à radiação UV-B. O FPS valor numérico padronizado que indica a eficácia de um protetor solar na atenuação da queimadura solar. Esse valor indica quanto tempo elas podem ficar ao sol antes de sua pele começar a sofrer queimaduras, em comparação com o tempo que levaria sem o uso do protetor solar. Quanto maior o FPS, maior a proteção fornecida que leva a formação de eritemas em função da radiação UV-B. O interessante é que o valor de FPS se tornou uma medida bastante conhecida das pessoas que entenderem o que significa. Um protetor solar com FPS 30 indica que a pele levaria 30 vezes mais tempo para queimar do que se não houvesse proteção. É importante destacar que nenhum protetor solar bloqueia 100% dos raios UV-B e que a água pode remover parte dele com o tempo. A aplicação correta é essencial, pois muitas pessoas não aplicam uma quantidade adequada de protetor solar ou não o reaplicam após nadar ou suar, o que reduz a eficácia da proteção. Para que eles funcionem adequadamente na proteção contra os efeitos nocivos da radiação solar é necessário adotar certos cuidados. A aplicação deve ser feita de maneira adequada e com quantidade suficiente para garantir uma redução eficaz dos efeitos protetores.

Além disso, é importante optar por produtos que ofereçam proteção contra os raios UV-A e UV-B, ou seja, que possuam um amplo espectro de defesa. É crucial considerar também os impactos ambientais, especialmente nos ecossistemas marinhos, onde determinados produtos químicos presentes em alguns protetores solares têm sido associados ao branqueamento de corais e a danos à vida aquática. A sensibilidade da pele e possíveis reações alérgicas também devem ser levadas em conta ao escolher um protetor solar adequado. Vale ressaltar que os protetores solares não devem ser encarados como a única estratégia de proteção solar. Existem roupas confeccionadas com tecidos especiais que filtram as radiações UV, bem como acessórios como chapéus e barracas que proporcionam sombra e reduzem a exposição direta ao sol. Ademais, não menos importante, é a consideração pelos horários em que a irradiação solar é menos intensa ao frequentar a praia ou se expor ao sol. Ao adotar essas medidas em conjunto com o uso de protetores solares, é possível criar uma abordagem abrangente e eficaz para a proteção contra os efeitos prejudiciais da radiação solar.

O tamanho do mercado global de produtos para protetores solares, e após a exposição ao sol, foi avaliado em US\$ 13,97 bilhões em 2022 e deve crescer de US\$ 14,40 bilhões em 2023 para US\$ 19,65 bilhões até 2030.⁵⁷ A crescente preocupação com a proteção da pele contra os raios nocivos do sol e o aumento do estado de alerta em relação ao câncer de pele são os principais fatores que impulsionam o crescimento do mercado. Produtos químicos agressivos usados em cosméticos e seus efeitos

nocivos na pele têm sido evitados pelos consumidores que estão mais críticos em relação aos ingredientes antes de escolher qualquer produto.⁵⁸

Há preocupações quanto à composição dos protetores solares para filtros de UV, baseados em compostos orgânicos, quanto à sua toxicidade e aos seus efeitos no meio ambiente. Além da necessidade de serem produtos que não afetem a vida marinha, os produtos químicos empregados na composição dos protetores não devem ser absorvidos pelo corpo. No entanto, há produtos detectados em amostras de exames de sangue, de leite materno e de urina.

Muitos tecidos que oferecem proteção contra os raios UV (UV-A e UV-B) são tratados ou fabricados a partir de polímeros específicos que têm a capacidade inerente ou adquirida de absorver e/ou refletir a radiação ultravioleta. Os tecidos com protetores solares oferecem um bloqueio seguro (98,5%), eficiente e permanente contra a radiação UV. Sua proteção UV é conferida durante a fabricação do fio e da malha. Como os grupos que interagem com a radiação UV estão ligados covalentemente, o protetor solar permanece, não se desfaz com as lavagens. Dependendo da peça, o fator de proteção contra a radiação UV é superior de 50. As camisas, chapéus, biquínis e acessórios são produzidos com tecido de poliamida e elastano com fator de proteção ultravioleta (FPU) 50+, bloqueando 98,5% da passagem dos raios UV.

O polietileno e o polipropileno oferecem proteção contra os raios UV. Já o poliéster de alta densidade tende a proteger ainda mais. O elastano, por si só, não garante alta proteção UV, mas muitos tecidos de swimwear e roupas esportivas com elastano são tratados para aumentar essa proteção. Isso ocorre com a adição de aditivos químicos durante o processo de fabricação, como compostos à base de silício, dióxido de titânio, óxido de zinco e corantes.⁵⁹ A eficácia de cada tecido pode ser verificada pela etiqueta o qual contém o FPU indicado.

Uma das técnicas mais recentes e inovadoras é o processo sol-gel, que resulta na formação de camadas automontadas (nano) na superfície da fibra.⁶⁰ O sol-gel é uma rota sintética versátil baseada em uma reação em duas etapas (hidrólise e condensação), geralmente partindo de alcóxidos (semi)metálicos (por exemplo, tetraetoxissilano (TEOS), tetrametoxissilano, tetraisopropóxido de titânio), que conduzem à formação de revestimentos completamente inorgânicos ou híbridos orgânicos-inorgânicos à temperatura ambiente ou próxima a ela. Esses revestimentos alteram a superfície dos tecidos, conferindo propriedades multifuncionais, como, além da proteção UV, a resistência ao desgaste e características antibacterianas ou antimicrobianas do material. Essa abordagem vem se destacando por ser ecologicamente correta, pois utiliza menos produtos químicos nocivos do que os métodos tradicionais.

5. Problemas Ambientais com os Protetores Solares

As formulações contendo protetores solares são mundialmente conhecidas e de uso generalizado. No entanto, o uso desses cosméticos pode liberar grandes quantidades de produtos químicos nas águas costeiras,⁶¹ seja diretamente por meio do banho, seja indiretamente por meio de estações de tratamento de águas residuais e de deposições atmosféricas.⁶² Há evidências que os ingredientes ativos dos protetores solares, filtros UV orgânicos e inorgânicos, que podem bioacumular e bioconcentrar⁶³ nos sedimentos e nos bacterioplâncton marinhos⁶⁴ e entrar na cadeia alimentar dos peixes,^{65,66} sendo um problema real. A fauna marinha é tão sensível que alguns micro-organismo são usados como modelos para testes da toxicidade de protetores solares.⁶⁷

Cuidar de todas as dimensões da sustentabilidade são importantes para diminuir os impactos ambientais e, conseqüentemente, a sobrevivência do planeta. Qualquer produto químico despejado no meio ambiente é uma preocupação incluindo os protetores solares e os ingredientes da formulação. Os protetores solares são produtos importantes para prevenir diversas doenças nas pessoas.⁶⁸ No entanto, há necessidade de se entender melhor a segurança desses protetores solares químicos para a saúde das pessoas⁶⁸ e para o meio ambiente. A quantidade que esses produtos são utilizados causa impactos relevantes nos ambientes marinhos.⁶⁹

Os protetores solares orgânicos foram identificados em fontes de água e em animais aquáticos em todo o mundo, inclusive em recifes de corais. Esses organismos são um componente crítico do nosso meio ambiente, sustentando até 1 milhão de espécies de peixes, invertebrados e algas. O uso de protetor solar vem aumentando e, até 2024, o mercado global deve atingir US\$ 24 bilhões. Dentre estes, destaca-se a oxibenzona, o protetor solar mais produzido no mundo.⁷⁰ Ele é um contaminante implicado no branqueamento de recifes de coral, o que levou a legislatura estadual havaiana a aprovar um projeto de lei que proíbe certos protetores solares. Esse protetor orgânico é removido do corpo pela água do rio ou do mar; se, após 2 horas, não for reaplicado, deve ser reaplicado. Além do uso da oxibenzona como protetor solar, também é usada como loção para o corpo, sabonetes, cremes antienvelhecimento, loções pós-barba, xampu para bebês, etc. Também é usado para fabricar inseticidas e outros produtos farmacêuticos. Portanto, também está presente em descargas de águas residenciais, municipais e de barcos e navios. A oxibenzona foi considerada uma ameaça aos recifes de coral em todo o mundo. Estima-se que existam 26 produtores de oxibenzona no mundo que produzem 14.000 toneladas deste filtro solar. As formulações com esse

protetor solar podem chegar a 10%. Esse material é liberado anualmente em áreas de recifes de coral.⁷¹

6. Considerações Finais

Retomando o objetivo inicial deste trabalho, que buscou aprofundar a compreensão das substâncias presentes no ambiente praiano, suas interações com a radiação solar e os efeitos decorrentes, além de apresentar estratégias para minimizar os impactos negativos da exposição solar, constatamos que as praias constituem ecossistemas complexos e multifacetados, nos quais a Química desempenha papel fundamental. Os três elementos centrais da praia, a água do mar, a areia e a radiação solar, interagem de maneira dinâmica, envolvendo processos químicos que influenciam tanto a saúde dos frequentadores quanto a sustentabilidade ambiental. A água do mar contém diversos compostos e organismos vivos que entram em contato direto com as pessoas, podendo afetar a saúde; a areia, além de ser um substrato físico, abriga substâncias e microrganismos que participam das transformações químicas locais; já a radiação solar, elemento essencial para o bem-estar humano, promove reações químicas tanto benéficas, como a síntese de vitamina D, quanto prejudiciais, como o dano cutâneo e impactos ambientais relacionados aos filtros solares. A composição dos protetores solares, produtos químicos desenvolvidos para proteger a pele da radiação ultravioleta, evidencia a relação estreita entre a Química, a saúde e o meio ambiente. Substâncias orgânicas e inorgânicas presentes nessas formulações, embora eficazes na proteção, podem causar impactos ambientais adversos, especialmente em ecossistemas marinhos frágeis, como os recifes de corais, devido à bioacumulação e toxicidade de alguns filtros UV. Essa dualidade reforça a necessidade de avanços na formulação de protetores solares que aliem eficácia, segurança para o usuário e mínima interferência ecológica. Assim, a divulgação interdisciplinar que conecta Química, Biologia, Ecologia e Políticas Públicas é vital para promover o conhecimento e a conscientização social acerca da preservação das praias e da saúde humana. São imprescindíveis proposições que incentivem a regulamentação rígida da fabricação e uso de protetores solares, que estimulem pesquisas em tecnologias sustentáveis, como os tratamentos de roupas com proteção UV e soluções inovadoras para filtros solares menos agressivos ao meio ambiente. Além disso, políticas públicas integradas devem contemplar práticas educativas nas escolas e na comunidade, estratégias para reduzir a poluição nas áreas costeiras, o controle do uso e descarte adequado de produtos químicos e ações de proteção e recuperação dos ecossistemas praianos. Combinando ciência, educação e governança, será

possível garantir que as praias continuem sendo espaços de lazer, cultura e saúde, resguardando seu equilíbrio químico, ambiental e social para as gerações futuras.

Agradecimentos

Agradecemos as bolsas concedidas pelo CNPq e pela FAPERJ. Este trabalho foi parcialmente financiado pelos processos FAPERJ CNE E-26/203.954/2024 e E-26/010/00168/2015 e CNPq 1A 301873/2019-4. Agradecemos as bolsas de pós-doutorado de Ferreira, P. G. e Carvalho, A. S. (aq)

Referências Bibliográficas

1. Preston-Whyte, R.; Em *A Companion to Tourism*; Lew, A. A.; Hall, M.; Williams, A. M., eds; Blackwell Publishing Ltd: New Jersey, 2004, ch. 28.
2. Lenček, L.; Bosker, G.; *The Beach: A History of Paradise on Earth*. Secker & Warburg Ltd: London, 1998.
3. Golledge, R. G.; Representing, interpreting and using cognised environments. *Papers of the Regional Science Association* **1978**, *41*, 168. [Crossref]
4. Melrose, S.; Seasonal Affective Disorder: An Overview of Assessment and Treatment Approaches. *Depression Research and Treatment* **2015**, *2015*, 178564, 1. [Crossref]
5. Kenwright, B.; There's More to Sound Than Meets the Ear: Sound in Interactive Environments. *IEEE Computer Graphics and Applications* **2020**, *40*, 62. [Crossref]
6. Silva, R. S.; Silva, I.; Silva, R. A.; Souza, L.; Tomasi, E.; Physical activity and quality of life. *Ciência & Saúde Coletiva* **2010**, *15*, 115. [Crossref]
7. Morrison, K.; Braham, R. A.; Dawson, B.; Guelfi, K.; Effect of a Sand or Firm-Surface Walking Program on Health, Strength, and Fitness in Women 60–75 Years Old. *Journal of Aging and Physical Activity* **2009**, *17*, 196. [Crossref]
8. Ulrich, R. S.; View through a window may influence recovery from surgery. *Science* **1984**, *224*, 420. [Crossref]
9. Amaral, A. C. Z.; Corte, G. N.; Filho, J. S. R.; Denadai, M. R.; Colling, L. A.; Borzone, C.; Veloso, V.; Omena, E. P.; Zalmon, I. R.; Rocha-Barreira, C.A.; Souza, J. R. B.; Rosa, L. C.; Almeida, T. C. M.; Brazilian sandy beaches: characteristics, ecosystem services, impacts, knowledge and priorities. *Brazilian Journal of Oceanography* **2016**, *64*, 5. [Crossref]
10. Sola, M. C. R.; Paiva, P. C.; Variação Temporal da Macrofauna Bentônica Sublitoral da praia da Urca (RJ) após a Ocorrência de Ressacas. *Brazilian Journal of Oceanography* **2001**, *49*, 137. [Crossref]
11. Forezi, L. S. M.; Ferreira, P. G.; Carvalho, A. S.; da Silva, F. C.; Ferreira, V. F.; Medicinal Chemistry for Sustainable Development. *Current Topics in Medicinal Chemistry* **2023**, *23*, 957. [Crossref]

12. Church, J. A.; White, N. J.; Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Cent. *Surveys in Geophysics* **2011**, *32*, 585. [Crossref]
13. Lindsey, R.; Climate Change: Global Sea Level. Disponível em: http://arizonaenergy.org/News_17/News_Sep17/ClimateChangeGlobalSeaLevel.html. Acesso em: 04 agosto 2023.
14. García-Aljaro, C.; Martín-Díaz, J.; Viñas-Balada, E.; Calero-Cáceres, W.; Lucena, F.; Blanch, A. R.; Mobilisation of microbial indicators, microbial source tracking markers and pathogens after rainfall events. *Water Research* **2017**, *112*, 248. [Crossref]
15. Schlacher, T. A.; Dugan, J.; Schoeman, D. S.; Lastra, M.; Jones A.; Scapini, F.; McLachlan, A.; Defeo, O.; Sandy beaches at the brink. *Diversity and Distributions* **2007**, *13*, 556. [Crossref]
16. Schlacher, T. A.; Schoeman, D. S.; Dugan, J.; Lastra, M.; Jones, A.; Scapini, F.; McLachlan, A.; Sandy beach ecosystems: key features, management challenges, climate change impacts, and sampling issues. *Marine Ecology* **2008**, *29*, 70. [Crossref]
17. Cohen, J., Shuval, H. I.; Coliforms, fecal coliforms, and fecal streptococci as indicators of water pollution. *Water, Air, & Soil Pollution* **1973**, *2*, 85. [Crossref]
18. Hazen, T. C.; Fecal Coliforms as Indicators in Tropical Waters: A Review. *Toxicity Assessment* **1988**, *3*, 461. [Crossref]
19. Sabino, R.; Rodrigues, R.; Costa, I.; Carneiro, C.; Cunha, M.; Duarte, A.; Faria, N.; Ferreira, F. C.; Gargaté, M. J.; Júlio, C.; Martins, M. L.; Nevers, M. B.; Oleastro, M.; Solo-Gabriele, H.; Veríssimo, C.; Viegas, C.; Whitman, R. L.; Brandão, J.; Routine screening of harmful microorganisms in beach sands: Implications to public health. *Science of The Total Environment* **2014**, *472*, 1062. [Crossref]
20. Filippidis, A.; Misaelides, P.; Clouvas, A.; Godelitsas, A.; Barbayannis, N.; Anousis, I.; Mineral, chemical and radiological investigation of a black sand at Touzla Cape, near Thessaloniki, Greece. *Environmental Geochemistry and Health* **1997**, *19*, 83. [Crossref]
21. Defeo, O.; McLachlan, A.; Schoeman, D. S.; Schlacher, T. A.; Dugan, J.; Jones, A.; Lastra, M.; Scapini, F.; Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **2009**, *81*, 1. [Crossref]
22. Eagle, G. A.; *Em Sandy Beaches as Ecosystems*; McLachlan, A.; Erasmus, T., eds.; Springer: Dordrecht, 1983, ch. 14. [Crossref]
23. Cabrini, T. M. B.; Barboza, C. A. M.; Skinner, V. B.; Hauser-Davis, R. A.; Rocha, R. C.; Saint'Pierre, T. D.; Valentin, J. L.; Cardoso, R. S.; Heavy metal contamination in sandy beach macrofauna communities from the Rio de Janeiro coast, Southeastern Brazil. *Environmental Pollution* **2017**, *221*, 116. [Crossref]
24. Nour, H. E.; Helal, S. A.; Wahab, M. A.; Contamination and health risk assessment of heavy metals in beach sediments of Red Sea and Gulf of Aqaba, Egypt. *Marine Pollution Bulletin* **2022**, *177*, 113517. [Crossref]
25. Flowers, T. J.; Colmer, T. D.; Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Annals of Botany* **2015**, *115*, 327. [Crossref]
26. Paddison, L.; Oceanos têm mais de 170 trilhões de partículas de plástico, diz estudo. Disponível: <<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/oceanos-tem-mais-de-170-trilhoes-de-particulas-de-plastico-diz-estudo/>>. Acesso: em 29 julho 2023.
27. Eriksen, M.; Cowger, W.; Erdle, L. M.; Coffin, S.; Villarrubia-Gómez, P.; Moore, C. J.; Carpenter, E. J.; Day, R. H.; Thiel, M.; Wilcox, C.; A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans-Urgent solutions required. *PLoS One* **2023**, *18*, e0281596. [Crossref]
28. Giezen, A. V.; Wiegman, B.; Spoilt - Ocean Cleanup: Alternative logistics chains to accommodate plastic waste recycling: An economic evaluation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* **2020**, *5*, 100115. [Crossref]
29. Bajon, R.; Huck, T.; Grima, N.; Maes, C.; Blanke, B.; Richon, C.; Couvelard, X.; Influence of waves on the three-dimensional distribution of plastic in the ocean. *Marine Pollution Bulletin* **2023**, *187*, 114533. [Crossref]
30. Pegado, S. S.; Schmid, K.; Winemiller, K. O.; Chelazzi, D.; Cincinelli, A.; Dei, L.; Giarrizzo, T.; First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Marine Pollution Bulletin* **2018**, *133*, 814. [Crossref]
31. Boucher, J.; Friot D.; *Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources*. IUCN: Gland, 2017. [Crossref]
32. Leslie, H. A.; Velzen, M. J. M. V.; Brandsma, S. H.; Vethaak, D.; Garcia-Vallejo, J. J.; Lamoree, M. H.; Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International* **2022**, *163*, 107199. [Crossref]
33. Rico, A.; Redondo-Hasselerharm, P. E.; Vighi, M.; Waichman, A. V.; Nunes, G. S. S.; Oliveira, R.; Singdahl-Larsen, C.; Hurley, R.; Nizzetto, L.; Schell, T.; Large-scale monitoring and risk assessment of microplastics in the Amazon River. *Water Research* **2023**, *232*, 119707. [Crossref]
34. Gerolin, C. R.; Pupim, F. N.; Sawakuchi, A. O.; Grohmann, C. H.; Labuto, G.; Semensatto, D.; Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. *Science of The Total Environment* **2020**, *749*, 141604. [Crossref]
35. Queiroz, A. F. S.; Conceição, A. S.; Chelazzi, D.; Rollnic, M.; Cincinelli, A.; Giarrizzo, T.; Filho, J. E. M.; First assessment of microplastic and artificial microfiber contamination in surface waters of the Amazon Continental Shelf. *Science of The Total Environment* **2022**, *839*, 156259. [Crossref]
36. Balogh, T. S.; Velasco, M. V. R.; Pedriali, C. A.; Kaneko, T. M.; Baby, A. R.; Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. *Anais Brasileiros de Dermatologia* **2011**, *86*, 732. [Crossref]
37. Lim, H. W.; Cooper, K.; The health impact of solar radiation and prevention strategies. *Journal of the American Academy of Dermatology* **1999**, *41*, 81. [Crossref]

38. Neumann, M. G.; Schmitt, C. C.; A Fotoquímica Básica e Aplicada no Brasil Durante os Últimos 40 Anos. *Química Nova* **2017**, *40*, 675. [Crossref]
39. Wisniak, J.; Daniel Berthelot. Part III. Contribution to photochemistry. *Educación Química* **2010**, *21*, 314. [Crossref]
40. Neumann, M. G.; Quina, F. H.; A fotoquímica no Brasil. *Química Nova* **2002**, *25*, 34. [Crossref]
41. Chapman, O. L.; Adams, W. R.; Photochemical transformations. XXII. Photoisomerization of substituted acrylic acids and acrylamides to β -lactones and β -lactams. *Journal of the American Chemical Society* **1968**, *90*, 2333. [Crossref]
42. Ischay, M.; Anzovino, M.; Du, J.; Yoon, T.; Efficient visible light photocatalysis of [2+2] enone cycloadditions. *Journal of the American Chemical Society* **2008**, *130*, 12886. [Crossref]
43. Stansbury, J. W.; Curing Dental Resins and Composites by Photopolymerization. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* **2000**, *12*, 300. [Crossref]
44. Imazato S.; Review: Antibacterial properties of resin composites and dentin bonding systems. *Dental Materials* **2003**, *19*, 449. [Crossref]
45. Cheng, L.; Zhang, K.; Zhang, N.; Melo, M. A. S.; Zhou, X. D.; Bai, Y. X.; Reynolds, M. A.; Xu, H. H. K.; Developing a New Generation of Antimicrobial and Bioactive Dental Resins. *Journal of Dental Research* **2017**, *96*, 855. [Crossref]
46. Imazato, S.; Kinomoto, Y.; Tarumi, H.; Torii, M.; Russell, R. R.; McCabe, J. F.; Incorporation of antibacterial monomer MDPB into dentin primer. *Journal of Dental Research* **1997**, *76*, 768. [Crossref]
47. Urbach, F.; The historical aspects of sunscreens. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* **2001**, *64*, 99. [Crossref]
48. Couturier, D.; Meilleur casino en ligne en France 2026 – Comparatif des casinos en ligne fiables et sécurisés. Disponível em: <[https://la-revue-des-marques.fr/sagas_marques/ambre-solaire/ambre-solaire.php#:~:text=En%201935%2C%20c'est%20en,au%20large%20de%20l'](https://la-revue-des-marques.fr/sagas_marques/ambre-solaire/ambre-solaire.php#:~:text=En%201935%2C%20c'est%20en,au%20large%20de%20l'>)>. Acesso em 05 agosto 2023.
49. Gralon.; L'ambre Solaire: Histoire D'un Succès. Disponível em: <<https://www.gralon.net/articles/sante-et-beaute/soin-et-beaute/article-l-ambre-solaire---histoire-d-un-succes-5144.htm>>. Acesso em 05 agosto 2023.
50. Flor, J.; Davolos, M. R.; Correa, M. A.; Protetores Solares. *Química Nova* **2007**, *30*, 153. [Crossref]
51. Walters, C.; Keeney, A.; Wigal, C. T.; Johnston, C. R.; Cornelius, R. D.; The Spectrophotometric Analysis and Modeling of Sunscreens. *Journal of Chemical Education* **1997**, *74*, 99. [Crossref]
52. Murtinho, D. M. B.; Serra, M. E. S.; Pineiro, M.; Síntese de fotoprotetores e sua imobilização em poli(metacrilato de metilo): um projeto integrado de química orgânica, química de polímeros e fotoquímica. *Química Nova* **2010**, *33*, 1805. [Crossref]
53. Newman, M. D.; Stotland, M.; Ellis, J. I.; The safety of nanosized particles in titanium dioxide and zinc oxide based sunscreens. *Journal of the American Academy of Dermatology* **2009**, *61*, 685. [Crossref]
54. ANVISA.; Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 600, de 09/02/2022. Disponível em: <https://anvisa.gov.br/legis/datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&tipo=RDC&numeroAto=00000600&seqAto=000&valorAno=2022&origao=RDC/DC/ANVISA/MS&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_menu=1696&cod_modulo=134&pesquisa=true>. Acesso em 20 maio 2026.
55. Guaratini, T.; Callejon, D. R.; Pires, D. C.; Lopes, J. N. C.; Lima, L. M.; Neto, D. G.; Sustovich, C.; Lopes, N. P. Fotoprotetores derivados de produtos naturais: perspectivas de mercado e interações entre o setor produtivo e centros de pesquisa. *Química Nova* **2009**, *32*, 717. [Crossref]
56. Balogh, T. S.; Velasco, M. V. R.; Pedriali, C. A.; Kaneko, T. M.; Baby, A. R.; Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. *Anais Brasileiros de Dermatologia* **2011**, *86*, 732. [Crossref]
57. Fortune Business Insights; Disponível em: <<https://www.fortunebusinessinsights.com/sun-care-products-market-103821>>. Acesso em 05 agosto 2023.
58. Grand View Research; Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/sun-care-products-market-report>>. Acesso em 05 agosto 2023.
59. Huang, R.; Zhang, S.; Zhang, W.; Yang, X.; Progress of zinc oxide-based nanocomposites in the textile industry. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing* **2021**, *3*, 281. [Crossref]
60. Sfamini, S.; Hadhri, M.; Rando, G.; Drommi, D.; Rosace, G.; Trovato, V.; Plutino, M. R.; Inorganic Finishing for Textile Fabrics: Recent Advances in Wear-Resistant, UV Protection and Antimicrobial Treatments. *Inorganics* **2023**, *11*, 19. [Crossref]
61. Rodríguez-Fuentes, G.; Sandoval-Gío, J. J.; Arroyo-Silva, A.; Noreña-Barroso, E.; Escalante-Herrera, K. S.; Olvera-Espinosa, F.; Evaluation of the estrogenic and oxidative stress effects of the UV filter 3-benzophenone in zebrafish (*Danio rerio*) eleutheroembryos. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **2015**, *115*, 14. [Crossref]
62. Chatzigianni, M.; Pavlou, P.; Siamidi, A.; Vlachou, M.; Varvaresou, A.; Papageorgiou, S.; Environmental impacts due to the use of sunscreen products: a mini-Review. *Ecotoxicology* **2022**, *31*, 1331. [Crossref]
63. Lozano, C.; Givens, J.; Stien, D.; Matallana-Surget, S.; Lebaron, P.; Em *Sunscreens in Coastal Ecosystems: Occurrence, Behavior, Effect and Risk*; Tovar-Sánchez, A.; Sánchez-Quiles, D.; Blasco, J., eds.; Springer: Cham, 2020, ch. 5. [Crossref]
64. Danovaro, R.; Corinaldesi, C.; Sunscreen products increase virus production through prophage induction in marine bacterioplankton. *Microbial Ecology* **2003**, *45*, 109. [Crossref]

65. Barone, A. N.; Hayes, C. E.; Kerr, J. J.; Lee, R. C.; Flaherty, D. B.; Acute toxicity testing of TiO₂-based vs. oxybenzone-based sunscreens on clownfish (*Amphiprion ocellaris*). *Environmental Science and Pollution Research International* **2019**, *26*, 14513. [[Crossref](#)]
66. Araújo, M. J.; Rocha, R. J. M.; Soares, A. M. V. M.; Benedé, J. L.; Chisvert, A.; Monteiro, M. S.; Effects of UV filter 4-methylbenzylidene camphor during early development of *Solea senegalensis* Kaup, 1858. *Science of the Total Environment* **2018**, 628-629, 1395. [[Crossref](#)]
67. Paredes, E.; Perez, S.; Rodil, R.; Quintana, J. B.; Beiras, R.; Ecotoxicological evaluation of four UV filters using marine organisms from different trophic levels *Isochrysis galbana*, *Mytilus galloprovincialis*, *Paracentrotus lividus*, and *Siriella armata*. *Chemosphere* **2014**, *104*, 44. [[Crossref](#)]
68. Agbai, O. N.; Buster, K.; Sanchez, M.; Hernandez, C.; Kundu, R. V.; Chiu, M.; Roberts, W. E.; Draelos, Z. D.; Bhushan, R.; Taylor, S. C.; Lim, H. W.; Skin cancer and photoprotection in people of color: A review and recommendations for physicians and the public. *Journal of the American Academy of Dermatology* **2014**, *70*, 748. [[Crossref](#)]
69. Bachelot, M.; Li, Z.; Munaron, D.; Gall, P. L.; Casellas, C.; Fenet, H.; Gomez, E.; Organic UV filter concentrations in marine mussels from French coastal regions. *Science of the Total Environment* **2012**, *420*, 273. [[Crossref](#)]
70. Schneider, S. L.; Lim, H. W.; Review of environmental effects of oxybenzone and other sunscreen active ingredients. *Journal of the American Academy of Dermatology* **2019**, *80*, 266. [[Crossref](#)]
71. Downs, C. A.; Kramarsky-Winter, E.; Segal, R.; Fauth, J.; Knutson, S.; Bronstein, O.; Ciner, F. R.; Jeger, R.; Lichtenfeld, Y.; Woodley, C. M.; Pennington, P.; Cadenas, K.; Kushmaro, A.; Loya, Y.; Toxicopathological effects of the sunscreen UV filter, oxybenzone (benzophenone-3), on coral planulae and cultured primary cells and its environmental contamination in Hawaii and the U.S. Virgin Islands. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **2016**, *70*, 265. [[Crossref](#)]