

Ação antipoluição no desenvolvimento de produtos cosméticos: uma revisão de literatura

Anti-pollution properties in the development of cosmetic products: a literature review

Antipolución en el desarrollo de productos cosméticos: una revisión de la literatura

Recebido: 11/05/2023 | Revisado: 27/05/2023 | Aceitado: 28/05/2023 | Publicado: 01/06/2023

Priscila Elias Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5750-6748>

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: prielias.alves@gmail.com

Beatriz da Motta Ramos Mendonça

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7452-0779>

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: beatrizmmend@hotmail.com

Elisabete Pereira dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6712-0643>

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: bete@pharma.ufrj.br

Cristal dos Santos Cerqueira Pinto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4550-4547>

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: cristalcerqueira@gmail.com

Resumo

Os cosméticos antipoluição vêm ganhando cada vez mais destaque no setor de beleza, representados principalmente por produtos multifuncionais que buscam proteger a pele dos efeitos da poluição ambiental e da eletropoluição. Para compreender o estabelecimento dessa categoria de produtos no mercado, é necessário fomentar o conhecimento científico acerca dos mecanismos envolvidos na interação poluentes-pele, o que contribui para o desenvolvimento de cosméticos de fato eficazes e seguros. O objetivo central deste trabalho foi, portanto, elucidar os efeitos negativos da poluição ambiental (com destaque para o material particulado) e da exposição constante à luz visível na forma da luz azul presente nas telas de eletrônicos, bem como evidenciar estratégias utilizadas em cosméticos antipoluição para minimizar esses danos. O estudo foi conduzido a partir de uma revisão de literatura utilizando o protocolo PRISMA como ferramenta metodológica para orientar as etapas de busca, identificação, seleção e análise de artigos. Nesse contexto, a pesquisa foi norteada conforme as palavras-chave e realizada com base nos dados das plataformas Google Acadêmico, Scielo, PubMed e ResearchGate. De acordo com os dados apresentados, conclui-se que a tendência antipoluição vem se tornando uma prática cada vez mais recorrente e firme no mercado de cosméticos, o que justifica a necessidade da compreensão dos fatores envolvidos nesse conceito.

Palavras-chave: Cosméticos; Poluição atmosférica; Poluição luminosa.

Abstract

Anti-pollution cosmetics are gaining more and more importance in the beauty sector, represented mainly by multifunctional products that seek to protect the skin from the effects of environmental pollution and electro-pollution. To understand the establishment of this category of products on the market, it is necessary to promote scientific knowledge about the mechanisms involved in the pollutant-skin interaction, which contributes to the development of cosmetics that are actually effective and safe. The main objective of this work was, therefore, to elucidate the negative effects of environmental pollution (with emphasis on particulate matter) and constant exposure to visible light in the form of blue light from electronics screens, as well as to highlight strategies used in anti-pollution cosmetics to minimize this damage. The study was conducted based on a literature review using the PRISMA protocol as a methodological tool to guide the stages of search, identification, selection and analysis of articles. In this context, the research was guided by keywords and based on data from Google Scholar, Scielo, PubMed and ResearchGate platforms. According to the data presented, it is concluded that the anti-pollution trend is becoming an increasingly recurrent and firm practice in the cosmetics market, which justifies the need to understand the factors involved in this concept.

Keywords: Cosmetics; Air pollution; Light pollution.

Resumen

La cosmética antipolución cobra cada vez más protagonismo en el sector de belleza, representado principalmente por productos multifuncionales que buscan proteger la piel de los efectos de la contaminación ambiental y lumínica. Para comprender el establecimiento de esta categoría de productos en el mercado, es necesario promover el conocimiento científico sobre los mecanismos involucrados en la interacción contaminante-piel, lo que contribuye para el desarrollo de cosméticos que sean realmente efectivos y seguros. El principal objetivo de este trabajo fue, por tanto, dilucidar los efectos negativos de la contaminación ambiental (con énfasis en el material particulado) y la constante exposición a la luz visible en forma de luz azul de las pantallas electrónicas, así como resaltar estrategias utilizadas en cosmética antipolución para minimizar este daño. El estudio se realizó con base en una revisión de la literatura utilizando el protocolo PRISMA como herramienta metodológica para orientar las etapas de búsqueda, identificación, selección y análisis de artículos. En este contexto, la investigación fue guiada por palabras clave y con base en datos de las plataformas Google Scholar, Scielo, PubMed y ResearchGate. De acuerdo con los datos presentados, se concluye que la tendencia antipolución se está convirtiendo en una práctica cada vez más recurrente y firme en el mercado cosmético, lo que justifica la necesidad de comprender los factores que intervienen en este concepto.

Palabras clave: Cosmética; Contaminación atmosférica; Contaminación lumínica.

1. Introdução

O envelhecimento cutâneo extrínseco, relacionado ao estresse oxidativo celular induzido pela exposição aos raios solares, é um tema sólido e bastante relevante na dermatologia e cosmetologia. Apesar de o sol ser considerado o principal fator ambiental desencadeador desse processo, outros agentes externos também podem contribuir para o envelhecimento extrínseco da pele, como os chamados “danos urbanos”. Tais danos são compostos por um conjunto de elementos da vida moderna, como a poluição atmosférica, tabaco, alimentação inadequada, estresse emocional e sono irregular, que acabam por potencializar os fenômenos relacionados ao envelhecimento (Schalka et al., 2016).

A pele, maior órgão do corpo humano e principal barreira entre o organismo e o ambiente externo, é um dos primeiros receptores dos poluentes presentes no ar. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), 92% da população mundial vive em áreas onde a poluição excede os limites estabelecidos, o que impacta diretamente na saúde da pele (In-Cosmetics, 2021). A OMS descreve a poluição do ar como a contaminação do ambiente interno ou externo por qualquer agente químico, físico ou biológico que modifica as características naturais da atmosfera. As fontes de poluição do ar podem ser naturais (como erupções vulcânicas, incêndios florestais, decomposição biológica) ou artificiais, por meio das indústrias, emissões veiculares, queima de combustíveis fósseis e atividades agrícolas (Puri et al., 2017).

Os poluentes atmosféricos podem se apresentar na forma de sólidos, líquidos, gases e partículas, sendo diretamente absorvidos para o tecido subcutâneo através da pele ou de folículos pilosos e glândulas sudoríparas/sebáceas. De acordo com as diretrizes de qualidade do ar da OMS, os quatro principais poluentes atmosféricos são: material particulado, ozônio, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre. O processo de urbanização desenfreado e o consequente aumento do consumo de energia expuseram o corpo humano a quantidades crescentes de poluição atmosférica, o que pode acabar excedendo o potencial de defesa natural da pele, ocasionando um distúrbio em sua função de barreira (Puri et al., 2017).

Com a ampla difusão de informações acerca das impurezas e compostos químicos presentes no ar, a oferta de produtos de cuidado pessoal com apelo antipoluição se expandiu no mercado global (Franquilino, 2018), decorrente do estabelecimento dessa tendência asiática no setor de beleza ocidental. De acordo com pesquisas, 79% de todos os novos produtos globais para cuidados com a pele comercializados no primeiro trimestre de 2016 apresentavam uma alegação antipoluição (Mistry, 2017).

Ainda que o conceito comum de poluição esteja atrelado aos compostos químicos do ar, a poluição luminosa representada pela luz azul (luz visível de alta energia) também se tornou uma questão relevante, principalmente com o início da pandemia de COVID-19 (In-Cosmetics, 2021). O trabalho em casa, o maior tempo em ambientes fechados e o consequente maior contato com telas de dispositivos digitais como computadores, tablets, celulares e televisão voltaram a atenção para os efeitos da exposição constante à luz azul. A plataforma de pesquisas global Stylight reafirma essa nova preocupação social: em

2019, foi registrado um aumento de 136% no interesse de pesquisas no Google em torno de “cuidados para a pele com a luz azul”, chegando a 336% em maio de 2020, durante a quarentena (del Genio, 2021).

A luz azul pode ser emitida por fontes naturais como o sol, responsável pela emissão de 25 a 30% desse tipo de luz, e fontes artificiais, representadas principalmente pelos equipamentos eletrônicos que utilizam luz de LED como telas de celulares e computadores, por exemplo. Desse modo, seja em ambientes externos ou fechados, a exposição à luz azul é contínua no cotidiano, independente de faixa etária, hábitos e rotinas (Vilar, 2016). Esta exposição acentuada pode influenciar padrões de sono, ocasionar fadiga ocular e, em destaque, potenciais efeitos adversos na pele, o que é conhecido como eletropoluição. A eletropoluição pode desencadear uma série de problemas cutâneos como acne, eczema, psoríase, melasmas, bem como sensibilidade e enfraquecimento da superfície cutânea (In-Cosmetics, 2021).

No desenvolvimento dos produtos antipoluição, com uma abordagem relacionada tanto aos poluentes atmosféricos quanto à eletropoluição, é importante considerar os fatores causadores de danos celulares, com destaque para os raios UV e a luz azul no processo de oxidação celular. Além disso, é imprescindível controlar a deposição e penetração de materiais particulados na pele. Dessa maneira, tais produtos devem incorporar níveis adequados de antioxidantes, a fim de proteger contra os efeitos dos radicais livres, garantir limpeza suave e hidratação (Franquilino, 2018), visando melhorar a função de barreira e eliminar os poluentes oxidativos (Barros, 2021).

Considerando os fatos expostos e a relevância do tema no setor da beleza, o objetivo central desta revisão de literatura foi elucidar os efeitos negativos da poluição ambiental (com destaque para o material particulado) e da exposição constante à luz visível na forma da luz azul presente nas telas de eletrônicos, bem como evidenciar estratégias utilizadas em cosméticos antipoluição para minimizar esses danos.

2. Metodologia

O presente estudo se caracteriza como uma revisão de literatura, delineada através de pesquisas bibliográficas baseadas em estudos primários envolvendo o conceito antipoluição, com o objetivo de gerar uma compreensão própria da literatura, contribuir no âmbito da pesquisa científica e mapear tendências no setor de cosméticos. Para isso, as questões norteadoras da busca foram os efeitos da poluição atmosférica e da eletropoluição na pele, bem como o desenvolvimento de produtos com o apelo antipoluição.

A metodologia utilizada buscou contemplar os itens 5, 6, 7 e 8 do checklist do protocolo PRISMA, uma ferramenta metodológica criada para estimular o relato transparente dos métodos e resultados de revisões através da orientação nas etapas de busca, identificação, seleção e análise de estudos. O protocolo foi adaptado e os itens do checklist foram selecionados de acordo com os objetivos da metodologia adotada de revisão da literatura, de modo a aprimorar o caráter metodológico do estudo.

Tabela 1 – Checklist Revisão Protocolo Prisma 2020.

Métodos	Nº do Item	Item do checklist
Crítérios de elegibilidade	5	Especifique os critérios de inclusão e exclusão para a revisão e como os estudos foram agrupados para a síntese.
Fonte de informação	6	Especifique todos os bancos de dados, registros, sites, organizações, listas de referência e outras fontes pesquisadas ou consultadas para identificar estudos. Especifique a data em que cada fonte foi pesquisada ou consultada pela última vez.
Estratégia de busca	7	Apresente as estratégias de busca completas para todos os bancos de dados, registros e sites, incluindo quaisquer filtros e limites usados.
Processo de seleção	8	Especifique os métodos usados para decidir se um estudo atendeu aos critérios de inclusão da revisão, incluindo quantos revisores examinaram cada registro e cada relatório recuperado, se trabalharam de forma independente e, se aplicável, detalhes das ferramentas de automação usadas no processo.

Fonte: Adaptado e traduzido de PRISMA (2020).

- Item 5 - Critérios de elegibilidade: A revisão buscou selecionar artigos por meio de um critério de inclusão e exclusão, sendo os critérios de exclusão delimitados de acordo com as questões norteadoras. As buscas foram realizadas nos idiomas português e inglês e os resultados foram coletados no período entre junho de 2022 e março de 2023, com posterior filtração das informações a fim de garantir as delimitações pré-definidas.
- Item 6 - Fonte de informação: A pesquisa foi realizada de forma criteriosa com base nos dados das plataformas Scielo, PubMed, ResearchGate, Google Acadêmico e, por se tratar de um assunto que ganhou maior notoriedade recentemente, destacou-se à utilização de artigos técnicos publicados em revistas relevantes do segmento de cosméticos.
- Item 7 - Estratégia de busca: A estratégia de busca eletrônica para as bases de dados mencionadas foi norteadora na utilização das palavras-chaves: “cosméticos”, “antipoluição”, “luz azul”, sendo realizado o cruzamento subsequente entre elas. A atualidade das publicações utilizadas como referência foi considerada prioridade nesta revisão, uma vez que o tema é considerado relativamente novo no setor da beleza. Por isso, foi aplicado um filtro de forma a garantir que os conteúdos buscados se limitassem à última década.
- Item 8 - Processo de seleção: Foram incluídos os estudos que abordavam aspectos relacionados aos cosméticos antipoluição, abordando tanto a poluição atmosférica quanto a eletropoluição. Também foram analisados artigos técnicos que explicitavam o desenvolvimento de cosméticos com esse apelo, abordando o uso de ativos considerados adequados para os produtos antipoluição. De acordo com o critério de exclusão, foram subtraídos os artigos que não correspondiam ao conteúdo proposto pela revisão e materiais antigos que não contribuísssem para a discussão. Além disso, foram considerados aspectos como a possibilidade de acesso ao conteúdo nas plataformas citadas e a preferência por artigos originais.

3. Discussão

3.1 Os efeitos da poluição atmosférica na pele

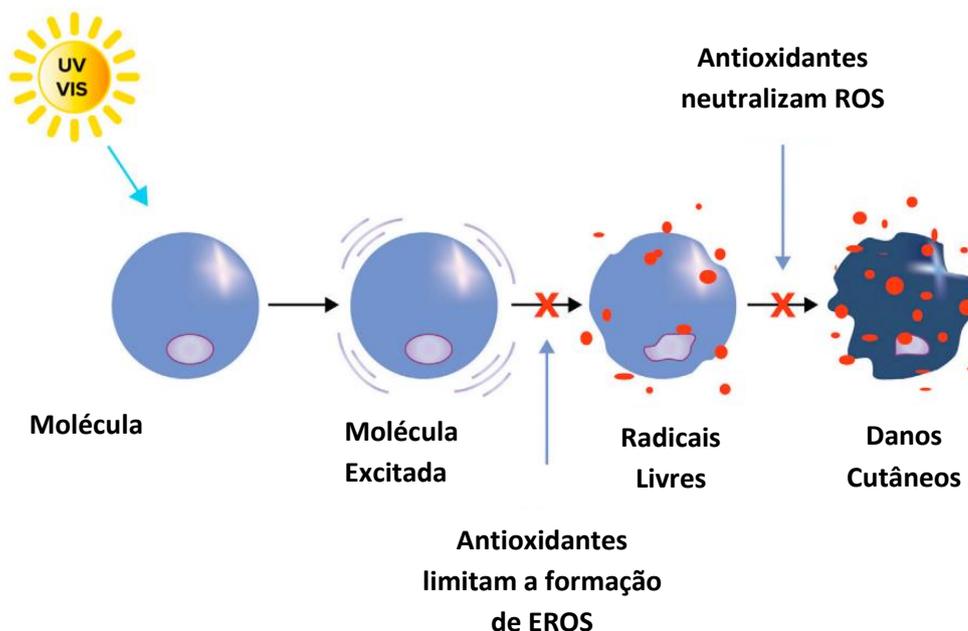
A pele, barreira mais externa do corpo e responsável pela proteção a substâncias nocivas, é frequentemente exposta a agentes ambientais que podem desencadear danos cutâneos através de diferentes vias como estresse oxidativo, inflamação e deficiências metabólicas. Essas implicações negativas ainda podem ser amplificadas pelo efeito sinérgico deletério do sol, em especial dos raios UVA, com esses agressores externos. Considerando que a permeação de substâncias através da pele depende de fatores como a integridade da função de barreira, idade, propriedades de hidratação e características físico-químicas dos

contaminantes, pessoas com a barreira cutânea danificada são frequentemente afetadas pela alta absorção dérmica de elementos da poluição atmosférica (Velasco et. al, 2018).

O primeiro indício científico que estabeleceu uma relação entre a poluição do ar e o envelhecimento cutâneo data do ano de 2010, em um estudo epidemiológico alemão no qual Vierkotter et al. associou o envelhecimento prematuro da pele com a exposição crônica à poluentes relacionados ao tráfego automotor, e confirmado pela formação de lesões pigmentadas como sinal clínico evidente. Atualmente, o modelo apresentado por Krutman et al. (2014) é o mais aceito na comunidade científica como o mecanismo pelo qual os agentes poluentes desencadeiam o processo de envelhecimento, com a participação do material particulado e do ozônio. Segundo essa hipótese, a exposição a esses compostos provoca um conjunto de alterações na barreira cutânea e promove a ativação de receptores e citocinas que, conseqüentemente, se manifestam na forma de envelhecimento extrínseco (Schalka et al., 2016).

Apesar de apresentarem papel fundamental nas vias de sinalização para a garantia da sobrevivência celular, as Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) formadas durante reações mitocondriais ou sob influência de fatores exógenos (como a radiação UV, poluentes e luz visível) são instáveis, podendo interagir facilmente com outras moléculas e causar danos. Para neutralizar esse impacto negativo, algumas enzimas antioxidantes enzimáticas como a catalase, superóxido dismutase e glutatona peroxidase, bem como substâncias antioxidantes não-enzimáticas como tocoferol (vitamina E) e ácido ascórbico (vitamina C), atuam no mecanismo de defesa celular quando há perturbação do equilíbrio redox, com a finalidade de evitar o estresse oxidativo às células cutâneas (Barros, 2021), esquema elucidado na Figura 1.

Figura 1 – Papel dos antioxidantes na limitação dos danos cutâneos induzidos por UV/luz visível ao impedir a formação de espécies reativas de oxigênio.



Fonte: Adaptado e traduzido de Lim et al. (2018).

Conforme o esquema da Figura 1, é possível compreender o mecanismo de ação dos antioxidantes na limitação da formação de EROS induzidas por exposição à radiação UV, poluentes ou luz visível, o que acaba por neutralizar o estresse oxidativo celular e consequentes possíveis danos à integridade cutânea. De maneira geral, em um cenário de estresse oxidativo ocorre a depleção dessas enzimas antioxidantes, promovendo a geração de EROS que interagem com a membrana plasmática e

iniciam uma cascata de peroxidação lipídica. Seguindo esse mecanismo, os poluentes atmosféricos acabam por induzir processos como o envelhecimento extrínseco da pele e condições inflamatórias e alérgicas como dermatite de contato, dermatite atópica, psoríase, acne e câncer de pele (Puri et al., 2017).

Os poluentes presentes nas grandes regiões urbanas classificados como poluentes primários são divididos em dois grupos principais: material particulado (do inglês particulate matter, PM) e compostos orgânicos voláteis, representados por gases tóxicos como o ozônio e os dióxidos de nitrogênio e enxofre. Os PMs são os componentes mais nocivos da poluição do ar, sendo gerados por fábricas, usinas de energia, incineradores, automóveis, construção civil e incêndios (Velasco et al., 2018). Os materiais conhecidos como PM 10 e PM 2,5 são grandes responsáveis por causar estresse oxidativo, representado pelo aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (Barros, 2021).

Os PMs são carreadores de compostos químicos orgânicos, como os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), compostos altamente lipofílicos que penetram facilmente de maneira mais profunda na pele (Schalka et al., 2016). Considerados os poluentes orgânicos mais difundidos e perigosos, os PAHs são absorvidos na superfície de materiais particulados suspensos no ar em áreas urbanas e se concentram em órgãos como pulmões e trato digestivo. Esses poluentes podem ser provenientes de diversas fontes, como a queima de madeira residual, escapamento de automóveis, fumaça de diesel, indústria metalúrgica, produção de plásticos, pesticidas, corantes, fumaça de cigarro e fumaça resultante da combustão de material orgânico. A fuligem de carvão é mais cancerígena do que fuligem de madeira, por exemplo, por conter uma quantidade maior desses compostos (Puri et al., 2017).

Os hidrocarbonetos presentes no PM são ligantes potentes para o receptor Aril-hidrocarboneto (AhR), fator de transcrição expresso em queratinócitos e melanócitos. Ao ser ativado, o AhR desencadeia um processo transcricional com a geração de EROs e com a ativação de citocinas pró-inflamatórias, o que interfere no processo de envelhecimento (Schalka et al., 2016), além de promover um aumento na atividade da tirosinase e no conteúdo total de melanina, o que está intimamente relacionado a proliferação de manchas pigmentadas e o câncer de pele (Puri et al., 2017). Ademais, a exposição a esses poluentes também aumenta as metaloproteinases de matriz (MMPs), o que favorece a degradação de colágeno e reduz sua biossíntese, ou seja, também contribui para o envelhecimento cutâneo precoce e a formação de rugas (Barros, 2021). Em relação aos compostos orgânicos voláteis, a exposição ao ozônio leva à formação de peróxidos, aldeídos e lipídios como resultado da oxidação de ácidos graxos insaturados, induzindo estresse cutâneo. Thiele et al. relataram que o ozônio causa redução no nível de antioxidantes como as vitaminas C e E, além de aumentar o malondialdeído, um produto da peroxidação lipídica (Puri et al., 2017).

Dessa maneira, ao alterar os constituintes lipídicos do estrato córneo, determinantes críticos da função de barreira, e ao esgotar os níveis de vitamina E na pele, o ozônio possui papel determinante no estresse oxidativo, acelerando o envelhecimento cutâneo (Mistry, 2017). Em adição, o ozônio induz a inflamação principalmente mediada pelo fator de transcrição sensível a redox, o fator nuclear kappa B significativo, e juntamente com os raios UVA e a fumaça do cigarro, é um poderoso agente oxidante do esqualeno. A oxidação do esqualeno produz subprodutos em formas peroxidadas que levam à comedogênese, agravando a acne inflamatória (Puri et al., 2017) Considerando esse cenário, a depleção de vitamina E e nível de esqualeno exacerbam problemas cutâneos como pele desidratada, hiperpigmentação, fotoenvelhecimento, secreção excessiva de sebo, inflamação, pele sensível, eczema e dermatite atópica (Mistry, 2017).

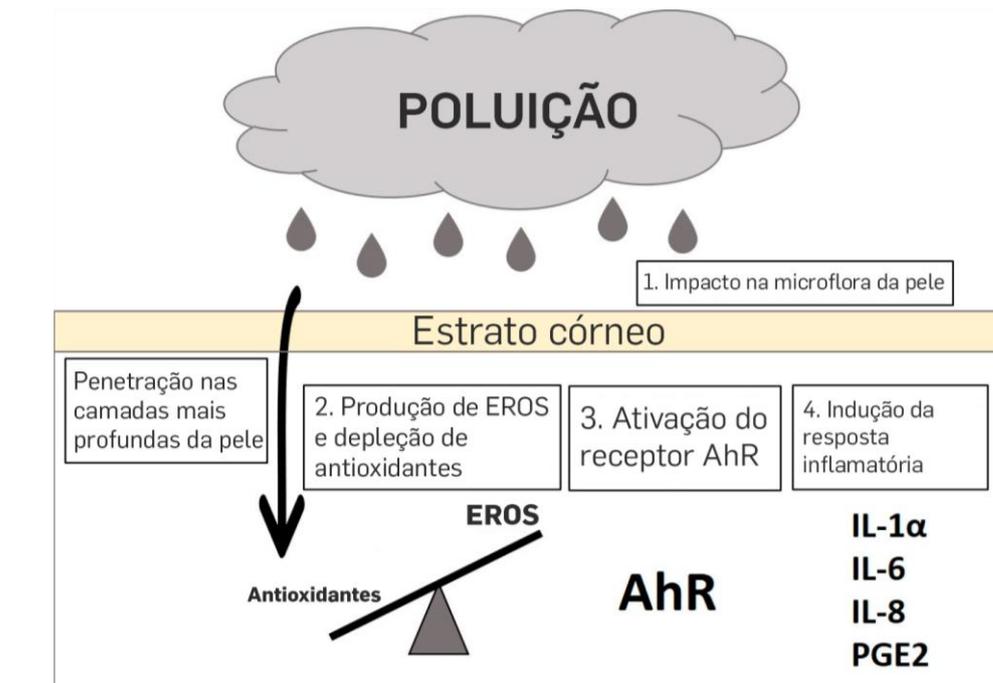
A pele é colonizada por vários tipos de microbiota que formam o microbioma residual da pele, que está ligado diretamente ao sistema imune, fornecendo a defesa adequada para a saúde da pele e a saúde do organismo de maneira holística (Rembiesa, Ruzgas, Engblom & Holefors, 2018). Uma vez que o microbioma cutâneo garante a função de barreira da pele, alterações provocadas nessa microflora podem beneficiar a proliferação de bactérias patogênicas. Em contato com o gás ozônio, observa-se uma queda de 50% dos microrganismos que habitam a pele, o que facilita a colonização do estrato córneo

por *Staphylococcus ssp.* e *Streptococcus ssp.*, que podem causar diversos danos cutâneos. Além disso, as partículas de poluição que se depositam na pele podem bloquear os poros, propiciando o desenvolvimento da bactéria responsável pela acne *Propionibacterium acnes* (Barros, 2021).

O dióxido de nitrogênio, emitido principalmente por fontes de combustão móveis e estacionárias, causa danos oxidativos levando à formação de radicais livres que oxidam aminoácidos em proteínas teciduais e iniciam a peroxidação lipídica de ácidos graxos poliinsaturados (Puri et al., 2017). Estudos recentes relacionaram a formação de manchas escuras na pele – conhecidas como lentigos – com níveis de poluição do ar relacionada ao tráfego e, mais particularmente, ao nível de dióxido de nitrogênio (Mistry, 2017).

A combinação do estresse oxidativo, ativação do AhR e alterações na microflora provocados pela exposição das células da pele aos poluentes induz a cascata inflamatória, ao promover o aumento da produção de compostos pró-inflamatórios. Na presença de material particulado, células da linhagem de queratinócitos humanos liberam maiores quantidades de citocinas como TNF, IL-1 e IL-8, o que estimula uma resposta inflamatória e impacta nas funções biológicas celulares, podendo resultar em envelhecimento cutâneo e câncer de pele (Barros, 2021). Os impactos da poluição na superfície da pele, a epiderme, pode ser observado esquematicamente na Figura 2.

Figura 2 – Principais mecanismos de ação dos poluentes na pele.



Fonte: Traduzido de Rembiesa et al., (2018).

Para a prevenção de danos cutâneos induzidas pela poluição atmosférica, como os bem elucidados na Figura 2 deve-se adotar estratégias tanto para promover a redução da poluição do ar quanto para se proteger dos poluentes. Dessa maneira, é possível controlar as fontes de poluição produzidas pelo homem em ações individuais e coletivas como diminuir o uso de veículos pessoais e incentivar o uso de transporte público, estimular o desenvolvimento e uso de máquinas e métodos industriais que sejam ecologicamente corretos, evitar a queima de lixo a céu aberto e evitar o hábito de fumar. Além disso, governos podem incentivar o desenvolvimento de programas de melhoria da qualidade do ar em áreas urbanas com alto índice

de poluição atmosférica. Já as estratégias de proteção aos poluentes se dão principalmente através do uso de cosméticos antipoluição contendo antioxidantes tópicos como vitaminas C e E e o estímulo à fotoproteção física (Puri et al., 2017).

3.2 Luz azul e o fotoenvelhecimento

O espectro eletromagnético é composto por ondas de diferentes comprimentos e intensidades, como os conhecidos raios ultravioletas, ondas de rádio e raios X. Os comprimentos de onda influenciam diretamente na intensidade: quanto menor o comprimento, maior o potencial energético (Vilar, 2016). O espectro solar consiste em ultravioleta A (UVA - 320-400 nm), ultravioleta B (UVB - 290-320 nm) e ultravioleta C (UVC - 200-290 nm). Mais de 95% dos raios UVA e 1-5% dos raios UVB atingem a superfície da Terra, enquanto a maior parte dos raios UVC é absorvida pela camada de ozônio e oxigênio na atmosfera. Entretanto, a ação de poluentes ambientais pode provocar o esgotamento do ozônio estratosférico, o que aumenta a penetração de radiações ultravioletas a nível do solo. Nesse contexto, o comprimento de onda desempenha papel determinante nos efeitos que a radiação ultravioleta causa na pele: a exposição à radiação UVA, de maior comprimento de onda, resulta diretamente no envelhecimento extrínseco da pele, representado por sinais clínicos como elastose solar, manchas pigmentares e rugas grossas (Puri et al., 2017).

A porção do espectro eletromagnético captada pelos olhos humanos é a luz visível, localizada entre as luzes ultravioleta (UV) e infravermelho (IV), sendo composta por ondas de comprimentos entre 400 e 780nm. Essas ondas podem ser classificadas em ondas curtas (azul), médias (verde) e longas (vermelho). A luz azul, especificamente, apresenta menor comprimento de onda entre as mencionadas, estando localizada no espectro eletromagnético entre 400 e 500nm. Por isso, apresenta a maior energia dentro do espectro visível, sendo chamada de luz visível de alta energia (ou High Energy Visible Light – HEV) (Vilar, 2016), que penetra mais profundamente na pele do que os raios UVA e UVB e prejudica diretamente as células da derme e epiderme (Kumari et al., 2022).

O mecanismo de envelhecimento cutâneo induzido pelos raios UV é um processo complexo, desencadeado por vias distintas através da ativação de receptores, lesão mitocondrial, oxidação de proteínas, alteração dos níveis de Ca^{2+} , lesão dos telômeros e ativação de receptores de AhR (Puri et al., 2017). Apesar da indução de danos à pele ocasionados por radicais livres estar mais comumente atribuída à exposição aos raios UV, a luz azul vem sendo elucidada como um importante agente nesse contexto. O denominado “envelhecimento digital” está diretamente relacionado com esse contexto: se trata do envelhecimento prematuro da pele após a exposição à luz azul emitidos pelo sol ou, mais proeminente na sociedade atual, de eletrônicos como telefones celulares, telas de laptop e desktops. Esse aceleração do processo de envelhecimento é agravado pelo dado alarmante de que milhares de pessoas gastam, em média, de quatro a cinco horas em seus smartphones (Panda et al., 2021).

A doses baixas e curto prazo, a irradiação da luz azul é considerada segura, sendo utilizada como tratamento terapêutico de doenças cutâneas como eczema e psoríase, podendo ser combinada com fotossensibilizantes para tratar queratose actínica. Em contrapartida, a exposição à luz azul a longo prazo e o acúmulo de doses pode ser prejudicial, sendo que esses perigos vêm sendo recentemente desvendados na literatura científica e concentrados, principalmente, nos danos à pele induzidos pela formação de EROs (Mendrok-Edinger et al., 2018).

O estresse oxidativo mediado por UV e luz visível inicia vários caminhos que afetam a saúde da pele. Os antioxidantes endógenos naturais evoluíram para proteger a pele dos estímulos ambientais e garantir o rejuvenescimento e proteção cutâneos; entretanto, o sistema de proteção natural não é ilimitado quando a pele é exposta ao excesso de UV e luz visível, ocasionando a quebra do sistema antioxidante e levando a uma ruptura da pele saúde, incluindo danos no DNA, hiperpigmentação e melanogênese. (Lim et al., 2021).

De acordo com um estudo realizado por Jurkiewicz-Lange e Buettner, a maior quantidade de formação de radicais livres está associada a uma exposição combinada dos raios UV com a luz visível, o que produz um aumento de 6 vezes de radicais livres na pele. Ainda, a exposição à luz visível isolada proporciona um aumento significativo de 3 vezes na produção de radicais livres (Vilar, 2016). A luz azul exerce seus efeitos diretos na pele interagindo com os cromóforos, nos quais desencadeia uma mudança de um estado fundamental para um estado ativado. A ativação dessas moléculas resulta na superprodução de EROS e liberação de espécies reativas de nitrogênio, ou seja, monóxido de nitrogênio e hiperpigmentação (Suiythimeathegorn et al., 2022). Nesse cenário, 40% da nossa exposição à luz azul é proveniente do Sol, enquanto os demais 60% têm origem de aparelhos e dispositivos pessoais (Dal-Iavan, 2020).

A exposição exagerada à luz azul pode causar danos cumulativos, ocasionando problemas oculares, dores de cabeça e cansaço, além de implicações negativas na pele por atingir as camadas mais profundas da derme relacionadas à formação de radicais livres, que favorece o envelhecimento prematuro da pele, o aparecimento de rugas e linhas de expressão, diminuição da hidratação e elasticidade, alterações pigmentares e processos inflamatórios cutâneos (Vilar, 2016).

Nesse panorama, o envelhecimento da pele está diretamente relacionado com o ritmo circadiano do corpo: a luz azul inibe a produção de melatonina – o hormônio responsável por regular o ritmo circadiano – e, portanto, o contato excessivo com as telas à noite pode reduzir a qualidade do sono, o que contribui para o fotoenvelhecimento da pele e se manifesta em sinais visíveis como a presença de olheiras escuras (In-Cosmetics, 2021).

Alguns achados sugerem que, para garantir a proteção completa contra o fotoenvelhecimento, é necessário considerar não apenas os impactos da luz UV, mas também os danos ocasionados pela luz visível. Liebel et. al demonstrou que a luz azul atua induzindo a expressão de MMP-1 e da quimiocina pró-inflamatória IL-8, contribuindo para o fotoenvelhecimento e a inflamação. Sua atuação pode estar relacionada também à apoptose de queratinócitos, o que inibe a proliferação e velocidade de migração dos fibroblastos e ocasiona a formação de EROs. Além disso, a luz visível também pode induzir hiperpigmentação por indução da tirosinase, enzima limitante da taxa de melanogênese. Portanto, de acordo com os estudos abordados, é possível sugerir que a irradiação de luz azul proveniente de dispositivos emissores de LED pode, de fato, ocasionar efeitos prejudiciais na pele, contribuindo diretamente para o fotoenvelhecimento (Mendrok-Edinger et al., 2018).

3.3 Desenvolvimento de produtos antipoluição

Os cosméticos antipoluição podem ser apresentados na forma de cremes, sérums e fotoprotetores e atuam na proteção da pele contra diferentes tipos de poluição como a atmosférica e eletromagnética (causada pelas ondas emitidas por celulares e equipamentos eletrônicos) (Franquilino, 2018). No desenvolvimento desses produtos, prioriza-se a atenuação dos efeitos nocivos da poluição na pele seguindo estratégias específicas para a formulação. Assim sendo, os produtos cosméticos disponíveis no mercado podem combater a poluição de diferentes maneiras: ao se utilizar de antioxidantes tópicos afim de reduzir o estresse oxidativo e a inflamação; ao aumentar a função de barreira da pele; ao diminuir a deposição de poluentes na pele pela promoção da limpeza ou esfoliação; ao proteger a pele da radiação UV e seus efeitos sinérgicos quando em contato com agentes ambientais poluentes e ao promover a síntese de proteínas fibrosas na pele (Barros, 2021).

O uso de produtos antipoluição pode ser atrelado à hábitos que potencializam a proteção da pele contra danos induzidos por agentes externos como o uso de produtos para enxague para limpeza a pele e protetores solares para absorver ou difundir a radiação UV, evitando que os compostos fotorreativos respondam à exposição desses raios (Velasco et. al, 2018). Considerando essa infinidade de possibilidades, as empresas costumam introduzir em seus cosméticos antipoluição diversos ingredientes com diferentes mecanismos de ação, obtendo formulações desenhadas para combater o maior número possível de poluentes (Juliano & Magrini, 2018).

Apesar da popularização do apelo antipoluição, atualmente não há diretrizes bem estabelecidas em relação à proteção da pele contra agressores externos, principalmente devido à certa escassez de evidências (Velasco et. al, 2018). Portanto, é importante ressaltar que não há nenhum método oficial que valide o claim antipoluição, mas busca-se analisar a atuação de diversos ativos a partir da melhor compreensão dos agentes envolvidos nesses processos (Barros, 2021).

Uma vez que a produção de EROs é uma implicação negativa relevante nesse contexto, o uso de ingredientes antioxidantes é bastante útil na formulação de cosméticos com esse apelo, conferindo ação antirradicais livres para prevenir e minimizar os efeitos oxidativos, tanto de uso tópico quanto oral. Como exemplo, pode-se mencionar as vitaminas C e E, resveratrol, chá verde, coenzima Q10, licopeno e extratos naturais como os de alecrim, cúrcuma, açafraão, uva, romã e soja (Franquilino, 2018).

Estudo realizado por Cotovio et. al (2010) demonstra que a exposição de queratonócitos ao ozônio indicam estresse oxidativo através do emprego de marcadores fluorescentes, ressaltando o potencial de ativos antioxidantes na prevenção do dano oxidativo celular induzido pelo ozônio. Duche, Cotovio, Catroux (2004) comprovaram a ação citoprotetora e antioxidante do ácido elágico contra poluentes atmosféricos ao diminuir a ligação dos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos aos queratinócitos, o que pode ser uma forte evidência para a utilização desse ativo em cosméticos tópicos antipoluição (Velasco et. al, 2018).

Além do uso de antioxidantes, se vê necessária a aplicação de ativos que atuem como um escudo mecânico contra os agentes poluentes, a fim de manter o equilíbrio cutâneo (Velasco et. al, 2018). O carvão ativado é um ingrediente com boa aplicação nesse contexto, por adsorver poluentes e ajudar na retirada das toxinas provenientes da poluição. Além dele, o PEG 20 Glyceryl Triisostearate, um surfactante suave, também atua na remoção do material particulado da pele, assim como o Biosaccharide gum-4, um polissacarídeo de alto peso molecular que forma uma barreira não-oclusiva que protege contra os fatores externos (Barros, 2021). Para aumentar a função de barreira, deve-se considerar também a priorização de um veículo que garanta um sensorial seco após a aplicação, para evitar a adesão de partículas do ar na pele, o que ajuda a diminuir a penetração e os danos causados por materiais particulados. No mercado, é possível encontrar fotoprotetores formulados com sílicas absorvedoras de sebo, para manter a oleosidade controlada e evitar a adesão de partículas de poluição (Franquilino, 2018).

Para Biatry (2002), emulsões de finantriol (álcool comumente utilizado em cosméticos como umectante) podem agir limitando a penetração de resíduos de combustão nas células da pele, também conferindo uma ação antipoluição (Velasco et. al, 2018). Outra tecnologia aplicada com esse objetivo é o estímulo a ativação dos receptores das células de Langherans, o que estimula a defesa da pele contra agressões diárias (Franquilino, 2018). Nesse contexto, polifenóis como flavonóides e catequinas se caracterizam como componentes naturais capazes de interagir com o AhR como antagonistas, prevenindo a resposta negativa à poluição (Barros, 2021).

A niacinamida, amplamente conhecida por uniformizar o tom de pele, fortalecer a barreira cutânea e diminuir a produção de sebo, pode atuar como um importante ativo no combate à poluição ao proteger as células cutâneas contra o estresse oxidativo induzido por material particulado como o P.M. 2.5, de fácil aderência à pele e consequente penetração na barreira cutânea. Para controlar a deposição e penetração de material particulado na pele, garantindo a integridade cutânea, utiliza-se ingredientes sólidos e absorventes como o carvão ativado, argila, silicato de magnésio e alumínio (Barros, 2021).

Como a barreira cutânea comprometida também leva a uma maior perda de água transepidérmica, resultando em má hidratação da pele, uma das abordagens para combater o impacto dos poluentes é melhorar a hidratação. A poluição também é conhecida por degradar proteínas estruturais, como colágeno e elastina, o que impacta diretamente na firmeza e elasticidade da pele e resulta em sinais extrínsecos de envelhecimento (Mistry, 2017). Sendo assim, a formulação de produtos antipoluição pode proteger a pele contra a perda de água e a flacidez através da ação do ácido hialurônico, por exemplo (Franquilino, 2018).

Visto que o material particulado induz a secreção de citocinas pró-inflamatórias, a adição de ativos com ação anti-inflamatória também pode atenuar os efeitos da poluição (Barros, 2021). Moléculas ativas podem desempenhar um papel preventivo ao bloquear vias de sinalização pró-inflamatórias como Keap1-Nfr2 e IKB-NFKB, reduzindo imediatamente os danos à saúde de curto prazo causados por fatores de inflamação como COX e interleucinas. A combinação dessas estratégias de defesa física e biológica contra os agentes de poluição são eficazes em danos cutâneos a curto e longo prazo (Velasco et. al, 2018).

Ao considerar especificamente a proteção contra a luz azul, pode-se adotar uma estratégia de proteção diurna, com exposição reduzida à luz azul e prevenção da formação de radicais livres e reparo noturno, com maior proteção da ativação de fotorreceptores, da degradação de colágeno e dos danos contra a oxidação do DNA (Suiithimeathegorn et al., 2022). Uma vez que os antioxidantes naturais são rapidamente consumidos com o excesso de radicais livres induzidos pela luz azul, o desenvolvimento de produtos que visem bloquear fisicamente a luz azul é feito geralmente incluindo uma variedade de ingredientes antioxidantes exógenos como as vitaminas C, A e E, niacinamida, flavonóides, entre outros, o que aumenta a defesa da pele contra os danos oxidativos (In-Cosmetics, 2021). Devido à alta necessidade, se vê necessária a adição de substâncias antioxidantes em filtros solares, com o objetivo de garantir uma proteção completa contra o envelhecimento da pele induzido pelo sol (Mendrok-Edinger et al., 2018).

Diante disso, antioxidantes naturais como os carotenoides luteína e a zeaxantina podem atuar amenizando os danos provocados pela luz azul na pele, combatendo os radicais livres. Assim, garantem o aumento da capacidade antioxidante e de filtro de luz azul da pele, conferindo uma maior proteção às células ao proteger os queratinócitos e os fibroblastos. Ainda, estudos indicam que a luteína é capaz de induzir a síntese de ácido hialurônico nos queratinócitos, o que consequentemente promove maior hidratação e elasticidade da pele (Vilar, 2016).

Nesse cenário, é importante ressaltar que os protetores solares convencionais são dedicados à absorção dos raios UVA e UVB, não sendo capazes de prevenir o estresse oxidativo induzido pela luz azul na pele (Mendrok-Edinger et. al, 2018). O desenvolvimento de filtros solares que protejam contra a luz visível deve priorizar formulações com pigmentos coloridos, uma vez que o bloqueio ocorre apenas por filtros físicos (USP, 2017). Os filtros físicos, também conhecidos como minerais ou inorgânicos, são caracterizados por serem partículas refletivas que conferem proteção contra a luz visível de acordo com o tamanho de partícula: quanto maior o tamanho da partícula, maior a opacidade (capacidade refletiva). Os protetores coloridos são eficazes na proteção contra a luz visível pela capacidade de refletir a luz, relacionada com a reflexão difusa (Schalka et al., 2012). Atualmente, o desenvolvimento de protetores solares com cor que contém compostos inorgânicos, como óxidos de ferro, dióxido de titânio e óxido de zinco é, portanto, estabelecido como uma estratégia eficaz na proteção contra a radiação de luz azul (Suiithimeathegorn et al., 2022).

De acordo com os dados expostos, evidencia-se que os cosméticos com alegação antipoluição desempenham um papel importante na compreensão da ação de agentes externos sobre a superfície cutânea, sendo extremamente relevantes na pesquisa científica. A característica multifuncional desses produtos, atrelada a execução de testes de eficácia, contribuem para garantir uma ampla proteção aos poluentes atmosféricos. Entretanto, o estabelecimento de diretrizes unificadas e a aplicação de metodologias de avaliação a para esse claim ainda é um longo caminho a ser percorrido.

4. Considerações Finais

Os fenômenos inerentes à vida urbana e o aumento da conscientização e preocupação com o impacto da poluição no envelhecimento extrínseco, exacerbado pelo agravamento da qualidade do ar em todo o mundo, foram responsáveis por fomentar tanto o conhecimento científico quanto à percepção dos consumidores acerca desse tema. A poluição atmosférica e a

exposição à luz visível têm ganhado destaque nesse cenário, sendo os principais responsáveis pelo estímulo à geração de espécies reativas de oxigênio, o que impacta diretamente na integridade cutânea.

Como consequência, a tendência antipoluição originada na Ásia se difundiu no mercado de cosméticos e cuidados pessoais em todo o mundo, potencializada pelo aumento da compreensão científica acerca dos mecanismos envolvidos nos danos à pele pelos diferentes poluentes. Nesse cenário, as marcas de cosméticos buscam novos conceitos e ingredientes ativos para atender a demanda dos consumidores, principalmente na forma de produtos multifuncionais que procuram desde a formação de um filme protetor sobre a pele até o reparo da pele agredida ao dano ambiental.

Dessa maneira, é possível concluir que o desenvolvimento de produtos antipoluição está além de uma tendência, sendo uma preocupação que veio para se estabelecer de forma firme no mercado dos cosméticos. Por isso, a compreensão efetiva dos agressores ambientais e dos mecanismos envolvidos nos danos cutâneos provocados tanto pela poluição atmosférica quanto pela exposição à luz azul se vê imprescindível como estratégia de suporte para o desenvolvimento de cosméticos com esse apelo, de forma a garantir produtos eficazes e seguros no mercado da beleza.

Referências

- Barros, C. (2021). Cosméticos antipoluição. *In-cosmetics Connect*. <https://connect.in-cosmetics.com/pt/tendencias/cosmeticos-antipoluicao/>
- Dal-Iavan, C. (2020). Defesa contra IV, Luz Azul e UVA-II. *Cosmetologia*, 32(4). <https://cosmetologia.com.br/article/read/area/IND/id/549/>
- del Genio, C. (2021). 2021 Skincare Trends: What's Next. *Stylight Insights*. Retrieved from <https://www.stylight.com/insights/reports/2021-skincare-trends>
- Franquilino, E. (2018). Cosméticos Antipoluição. *Cosmetics Online*, 30, 18-20. https://www.cosmeticsonline.com.br/ct/painel/fotos/assets/uploads/materias/32208-Enfoque_302+site.pdf
- In-Cosmetics. (2021). Are we entering a blue light pandemic? *In-cosmetics Connect*. Retrieved from <https://connect.in-cosmetics.com/trends-en/are-we-entering-a-blue-light-pandemic/>
- Juliano, C., & Magrini, G. (2018). Cosmetic Functional Ingredients from Botanical Sources for Anti-Pollution Skincare Products. *Cosmetics*, 5(1), 19. <http://dx.doi.org/10.3390/cosmetics5010019>
- Kumari, J., Das, K., Babaei, M., Rokni, G. R., & Goldust, M. (2022). The impact of blue light and digital screens on the skin. *J Cosmet Dermatol*. 2023, 22: 1185- 1190. doi:10.1111/jocd.15576
- Lim, H. W., Kohli, I., Ruvolo, E., Kolbe, L., & Hamzavi, I. H. (2022). Impact of visible light on skin health: The role of antioxidants and free radical quenchers in skin protection. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 86(3S), S27–S37. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2021.12.024>
- Mendrok-Edinger, C., Campiche, R., Gadsinski, K., & Schuetz, R. (2018). Into the Blue: Novel Test Reveals Blue Light Damage, Protection Strategies. *Cosmetic&Toiletries*. <https://www.cosmeticsandtoiletries.com/research/methods-tools/article/21837052/into-the-blue-novel-test-reveals-blue-light-damage-protection-strategies>
- Mistry, N. (2017). Guidelines for Formulating Anti-Pollution Products. *Cosmetics*, 4(4), 57. <http://dx.doi.org/10.3390/cosmetics4040057>
- Panda, P., Mohanty, S., Pal, A., & Mukkamala, S. (2021). Blue Light Protective Cosmetics: Demand of the Digital Era. *Research Journal of Pharmacy and Life Sciences*, 2(2), 43-58.
- PRISMA. (2020). Transparent Reporting of Systematic Reviews and Meta-Analyses. 2020. <http://www.prisma-statement.org/>
- Puri, P., Nandar, S. K., Kathuria, S., & Ramesh, V. (2017). Effects of air pollution on the skin: A review. *Indian journal of dermatology, venereology and leprology*, 83(4), 415–423. <https://doi.org/10.4103/0378-6323.199579>
- Rembieska, J., Ruzgas, T., Engblom, J., & Holfors, A. (2018). The Impact of Pollution on Skin and Proper Efficacy Testing for Anti-Pollution Claims. *Cosmetics*, 5(1), 4. <http://dx.doi.org/10.3390/cosmetics5010004>
- Schalka, S., Bechelli, L., Camarano Pinto Bombarda, P., & Fernandes de Abreu, F. (2016). Uma nova proposta para avaliação de cosmeceútico antioxidante no tratamento da pele afetada pelos efeitos da vida urbana. *Surgical & Cosmetic Dermatology*, 8(1), 46-54.
- Schalka, S., Sant'Anna Addor, F. A., Monteiro Agelune, C., & de Melo C. Pereira, V. (2012). Proteção oferecida por fotoprotetores contra luz visível - uma proposta de avaliação. *Surgical & Cosmetic Dermatology*, 4(1), 45-52.
- Suithimeathegorn, O., Yang, C., Ma, Y., & Liu, W. (2022). Direct and Indirect Effects of Blue Light Exposure on Skin: A Review of Published Literature. *Skin pharmacology and physiology*, 35(6), 305–318. <https://doi.org/10.1159/000526720>
- USP. (2017). Mesmo usando filtro, exposição ao Sol pode ser perigosa. *Jornal da USP*. <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-da-saude/mesmo-usando-filtro-exposicao-ao-sol-pode-ser-perigosa/>
- Velasco, M., Sauce, R., Oliveira, C., Pinto, C., Martinez, R., Baah, S., Almeida, T., Rosado, C., & Baby, A. (2018). Active ingredients, mechanisms of action and efficacy tests of antipollution cosmetic and personal care products. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Science*. 10.1590/s2175-97902018000001003.
- Vilar, W. M. (2016). Luz Azul: O que é e como nos afeta. Kemin do Brasil. https://aditivosingredientes.com/upload_arquivos/201612/2016120567752001482171331.pdf