

## INFLUÊNCIA DOS RAIOS ULTRAVIOLETAS NA FISIOPATOLOGIA DE DISFUNÇÕES ESTÉTICAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Camilla Silva Pinto<sup>1</sup>  
Mariana Moreira Andrade<sup>2</sup>

**RESUMO:** Os raios ultravioletas (UV) são uma forma de radiação eletromagnética que se situa no espectro entre a luz visível e os raios X, eles são emitidos pelo sol e também podem ser produzidos artificialmente em certas fontes, como lâmpadas de bronzeamento artificial e equipamentos de esterilização. Os raios UV são invisíveis aos olhos humanos, pois sua frequência é maior do que a da luz visível. Por conseguinte, os raios ultravioletas possuem 3 comprimentos de ondas UVA, UVB e UVC, sendo assim, os raios do tipo UVA têm a menor energia entre os raios ultravioleta, mas são os mais abundantes, com isso, eles possuem maior capacidade de penetração na pele e são os principais responsáveis pelo envelhecimento precoce da pele, bem como a junção desses tipos de ondas podem desencadear algumas disfunções que podem ser causadas, como o aparecimento de rugas e o melasma. Tais disfunções, são ocasionadas pelo excesso de absorção dessa energia eletromagnética através da pele. Nesse contexto, fez-se necessária a análise de um complexo de artigos, cujo, demonstra os mecanismos que o tecido cutâneo sofre após incidência da radiação ultravioleta de forma crônica, indentificando aumento de espécies radioativas de oxigênio, a superexpressão das metaloproteínas de matriz, além da senescência que é desenvolvida com o tempo, cujo, não possui chance de efeito reverso, como também, a perda de colágeno e elastina que a derme sofre, para assim, ser possível identificar as causas para o aparecimento dessas disfunções. Foi evidenciado que apesar dos efeitos benéficos que a radiação ultravioleta pode oferecer, quanto sua atuação na produção de vitamina D, é constatado apesar, que os efeitos maléficos tem porcentagem maior quando se trata da resultância prejudicial que traz, principalmente, voltado ao tecido facial.

2208

**Palavras-chave:** Radiação ultravioleta. Disfunções. Radicais livres. Alterações.

**ABSTRACT:** Ultraviolet (UV) rays are a form of electromagnetic radiation that lies in the spectrum between visible light and X-rays. They are emitted by the sun and can also be produced artificially in certain sources such as tanning lamps and sterilization equipment. UV rays are invisible to human eyes because their frequency is higher than that of visible light. Therefore, ultraviolet rays have 3 wavelengths UVA, UVB and UVC, therefore, UVA type rays have the lowest energy among ultraviolet rays, but they are the most abundant, therefore, they have a greater ability to penetrate the skin. Skin and are mainly responsible for premature aging of the skin, as well as the combination of these types of waves can trigger some dysfunctions that can be caused, such as the appearance of wrinkles and melasma. Such dysfunctions are caused by the excess absorption of this electromagnetic energy through the skin. In this context, it was necessary to analyze a complex of articles, which demonstrate the mechanisms that skin tissue suffers after chronic incidence of ultraviolet radiation, identifying an increase in radioactive oxygen species, the overexpression of matrix metalloproteinases, in addition to the senescence that develops over time, which has no chance of a reverse effect, as well as the loss of collagen and elastin that the dermis suffers, so that it is possible to identify the causes for the appearance of these dysfunctions. It was evidenced that despite the beneficial effects that ultraviolet radiation can offer, in terms of its role in the production of vitamin D, it was found that the harmful effects have a higher percentage when it comes to the harmful results that it brings, mainly towards the facial tissue.

**Keywords:** Ultraviolet radiation. Dysfunctions. Free radicals. Changes.

<sup>1</sup> Discente.

<sup>2</sup> Docente.

## I. INTRODUÇÃO

De maneira ampla, a radiação solar pode ser definida como a emissão ou liberação de energia na forma de ondas eletromagnéticas. Esta radiação é composta por diversos tipos de ondas, cuja classificação se baseia em seus comprimentos de onda específicos. A radiação solar engloba, entre outros, raios gama, raios X, luz visível, radiação infravermelha e ultravioleta (Grandi; D'ovidio, 2020). Sua origem reside nos complexos de reações nucleares que têm lugar no núcleo solar, resultando na conversão de átomos de hidrogênio em átomos de hélio através de um processo de fusão nuclear, com a consequente liberação de uma quantidade específica de energia. A radiação solar é subsequentemente propagada em todas as superfícies solares, irradiando seu fluxo energético para o espaço circundante (Alves *et al.*, 2021).

A radiação ultravioleta (UV) é uma forma de radiação eletromagnética que tem comprimentos de onda mais curtos do que a luz visível, tornando-a invisível aos olhos. Ela é originada pelo sol e também pode ser produzida artificialmente em lâmpadas de bronzamento e dispositivos industriais, além disso, pode-se inferir que existem três tipos de radiação ultravioleta: UVA, UVB e UVC (Program, 2021). A UVA é a menos prejudicial, enquanto a UVC é a mais perigosa por ser capaz de atingir a camada mais profunda do tecido cutâneo, porém, é contida pela atmosfera antes de atingir a superfície terrestre. Já a UVB pode causar danos à pele, sejam patológicos, como queimaduras solares e aumento do risco de câncer de pele, sejam estéticos. (Krutmann *et al.*, 2021).

2209

É crucial examinar a interação entre a UV e a pele, considerando os diferentes tecidos e células específicas envolvidas. Notavelmente, é importante destacar que a radiação UVA, embora menos intensa quando comparada à radiação UVB, é capaz de penetrar mais profundamente nas camadas da pele (Shin, 2020). A exposição crônica e prolongada à radiação UVA pode desencadear o surgimento de disfunções estéticas, incluindo rugas, envelhecimento prematuro, discromias e outros indicadores de envelhecimento cutâneo (Passeron *et al.*, 2020). Estas características estão diretamente associadas ao envelhecimento da pele, especialmente o extrínseco, uma vez que a radiação UVA tem a capacidade de comprometer as fibras de colágeno e elastina, que desempenham um papel fundamental na manutenção da elasticidade e firmeza do tecido conjuntivo dérmico (Zorina *et al.*, 2022).

A exposição à radiação pode resultar na formação dos radicais livres, que são moléculas consideradas instáveis, por possuírem um elétron não emparelhado em sua camada externa, com isso, torna as moléculas altamente reativas fazendo com que busquem e interajam com outras moléculas ao seu redor, com a intenção de se estabilizarem (Di Meo; Venditti, 2020). Ressalta-

se que, embora os radicais livres sejam gerados como subprodutos naturais do metabolismo celular, sua produção também pode ser estimulada pela exposição excessiva à radiação UV, o que pode exceder a capacidade de regulação do organismo. Essas moléculas reativas têm o potencial de causar danos a componentes de biomoléculas diversas, incluindo proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, tais como DNA e RNA, por meio de um processo conhecido como estresse oxidativo (Darawsha *et al.*, 2021).

Em vinculação a esses processos degenerativos, é evidente que a radiação ultravioleta afeta a pele de várias maneiras, e por meio de inúmeros mecanismos que são iniciados e que agem desencadeando a liberação de EROs, induzindo a senescência celular e prejudicando o colágeno (Salminen; Kaarniranta; Kauppinen, 2022). Esses processos combinados atuam justamente para esse envelhecimento prematuro da pele, tornando-a mais suscetível a rugas, manchas e perda de firmeza. Devido a isso, é fundamental a adição de medidas de proteção solar atuantes a longo prazo, como o uso de protetor solar e a restrição da exposição ao sol, para preservar a saúde do tecido cutâneo (Hwang *et al.*, 2020).

Nessa revisão integrativa será avaliado os efeitos da radiação solar ultravioleta quando em contato com pele, como também as principais disfunções estéticas que podem ser ocasionados com a exposição da radiação. Embasado nisso, serão atribuídos os diferentes mecanismos ocorrentes na pele, que incluem as mudanças celulares consequentes de uma possível radiação exacerbada, evidenciando, que os efeitos maléficos podem ser bem mais marcadores do que os benefícios que se obtêm. 2210

## 1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.2 RADIAÇÃO SOLAR

A energia solar é uma entidade intrinsecamente relacionada com diversos aspectos, abrangendo tanto aspectos físicos, químicos quanto biológicos. Ela desempenha um papel fundamental na sustentação da vida na Terra, exercendo influência direta sobre uma série de características que desempenham um papel crucial na regulação dos processos fisiológicos de organismos vivos (Saucedo *et al.*, 2020).

No âmbito da radiação solar, essa se manifesta como a emissão de várias classes de ondas eletromagnéticas, liberadas pelo Sol. Duas medidas proeminentes para quantificar essa radiação são a irradiância solar total (TSI), que descreve a potência global da energia solar incidente, e a irradiância solar espectral (SSI), que avalia a distribuição espectral da energia solar (Thuillier *et al.*, 2022).

O Sol é uma fonte primordial de uma ampla gama de radiações, variando desde raios gama de alta energia até ondas de rádio de baixa energia. No entanto, entre essas radiações, a mais relevante para a energia solar e para a manutenção da vida na Terra é a radiação solar na faixa de comprimento de onda visível e próxima ao visível (Guermoui *et al.*, 2020). A radiação solar é composta por múltiplos componentes, incluindo radiação infravermelha, luz visível, Raios-X, Raios-Y, Visível (VIS) e radiação ultravioleta (UV) (Bhattacharjee, 2022). A maior parcela da radiação solar consiste na luz visível, que se enquadra na parte do espectro eletromagnético oculto ao olho humano. Essa luz visível é composta por uma diversidade de cores que percorrem a faixa do vermelho até o violeta (Hudson *et al.*, 2020).

A UV, por outro lado, se apresenta como uma forma de energia eletromagnética cujos comprimentos de onda são mais curtos do que a luz visível, tornando-a imperceptível à visão humana (Lim *et al.*, 2022). A origem da radiação UV provém tanto do Sol quanto de fontes geradas artificialmente, como lâmpadas de bronzamento e dispositivos industriais. Uma distinção notável entre os tipos de radiação UV reside em três categorias distintas: a UVA que possui comprimento de onda mais longo, UVB que possui comprimento de onda curto e UVC, no qual, possui um comprimento de onda ainda mais curto e absorvido totalmente na camada de ozônio (Green; Xu; Sutherland, 2021).

### 1.3 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA E SUAS INTERAÇÕES

De forma sucinta, pode-se inserir que a radiação UV possui uma incidência sobre a terra, cujo é parte da radiação solar, sendo que a radiação ultravioleta é determinada por possuir de 100 a 400 nanômetros, o que a caracteriza sem poder ionizante (Bruning *et al.*, 2023). Com isso, de acordo com a literatura, essa incidência da R-UV corresponde a 4 ou até 6% da radiação solar, conseguinte a isso, existem três bandas espectrais dessa radiação, o que significa a existência de um intervalo entre dois comprimentos de onda no espectro eletromagnético (Kayani *et al.*, 2021).

Dentre elas, a UVA que possui de 315 a 400 nm; a UVB que obtém 280 a 315 nm; e a UVC tendo de 100 a 280 nm (Gromkowska-kepka *et al.*, 2021). Vale ressaltar, que como todo conceito, esse surgiu em agosto de 1932, apresentado pelo Segundo Congresso Internacional da Luz em Copenhague, capital da Dinamarca. Com isso, a exposição a esses espectros de radiação pode ser considerada benéficas ou nocivas a saúde (Bachmann; Braga, 2022).

Características distintas podem ser observadas quando citadas os tipos de ondas da R-UV, sendo assim, o tipo UVA corresponde a um comprimento de onda que se caracteriza como longo, e consegue ter uma ação penetrante que alcança as camadas mais profundas e intrínsecas

da pele (Gentile; Garcovich, 2021). Entretanto, ainda com os usos de bloqueadores para proteção solar, esse tipo de onda não consegue ser totalmente bloqueado. Isso porque é capaz de ultrapassar a barreira protetora e se incidir sobre a superfície epidérmica. Por essa razão, é considerada a onda de acarretamento para o envelhecimento cutâneo (Fernandes; Neto; Santos, 2023).

No entanto, quanto a exposição do tipo de onda UVB, pode-se dizer que, diferente da onda UVA, estes penetram nas camadas mais superficiais e extrínsecas da pele, sendo responsáveis pelo estímulo da produção da melanina, assim, também, como da vitamina D. Esse tipo de onda, realiza um papel nocivo sobre a pele e mais especificamente sobre o DNA (Shin, 2020).

Finalmente, os raios de onda UVC são considerados o tipo mais nocivo dentre os três tipos de ondas citados, podendo ser tratado também como prejudicial ao tecido humano, contudo, esse espectro é contido pela atmosfera, dessa forma, apenas os tipos de onda UVA e UVB conseguem atingir e penetrar camadas mais extrínsecas e intrínsecas da pele, respectivamente (Hessling *et al.*, 2021).

#### 1.4 Benefícios para a pele

A ação da radiação ultravioleta (R-UV) na pele exibe uma dualidade intrigante, pois, 2212  
embora apresente riscos decorrentes de sua elevada absorção, a R-UV desencadeia uma série de processos benéficos. Notavelmente, a radiação ultravioleta B (UVB) incide como protagonista nas propriedades da vitamina D, desempenhando um papel essencial na promoção da produção endógena dessa substância vital (De la guía-galipienso *et al.*, 2021).

A exposição da pele à UV, desencadeia a conversão do 7-desidrocolesterol em vitamina D<sub>3</sub>, que posteriormente é transformada em sua forma ativa, 1 $\alpha$ ,25-dihidroxitamina D<sub>3</sub>, no fígado e nos rins (Holick, 2020). Sua função tradicional envolve o controle dos níveis de cálcio e fosfato no corpo, além disso, o receptor da vitamina D está presente em praticamente todos os tecidos do organismo, o que implica em diversos efeitos biológicos, tanto durante o desenvolvimento fetal quanto na vida adulta, nos sistemas metabólico, epidérmico, endócrino, neurológico e imunológico (Aguilar-shea, 2021). O fato de que o receptor de vitamina D está presente na maioria das células do sistema imunológico, com a capacidade dessas células de conversor ativo para 25(OH)D<sub>3</sub> em sua forma ativa, 1,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>, destaca o papel crucial da sinalização da vitamina D na promoção de um sistema imunológico eficaz (El-sharkawy; Malki, 2020).

Além disso, a exposição controlada à R-UV estimula a produção de melanina, um pigmento cutâneo que desempenha um papel fundamental na proteção contra os efeitos nocivos da exposição solar. O incremento da melanina manifesta-se como uma estratégia adaptativa do organismo para mitigar os danos causados pela radiação ultravioleta, culminando em uma melhoria substancial na saúde da pele (Veleva *et al.*, 2020).

É relevante ressaltar também que o R-UV transcende seu papel biológico, podendo ser utilizado como ferramenta em aplicações terapêuticas no âmbito dermatológico, destacando a imagem ultravioleta (Mojeski *et al.*, 2020). Assim como, especificamente, terapias com RUV são eficazes no tratamento de condições dermatológicas, como acne e certos tipos de linfomas cutâneos. Frequentemente, esses tratamentos são combinados com outras abordagens médicas para melhorar seus resultados clínicos (Young *et al.*, 2021).

Essa abordagem científica explora detalhes sobre a produção de melanina em resposta à exposição controlada à radiação UV, bem como os benefícios terapêuticos da radiação UV no tratamento de condições dermatológicas específicas, enriquecendo o entendimento desses processos.

## 2. Malefícios causados na pele

2213

A R-UV é absorvida pela pele por meio de suas moléculas, e é fundamental considerar que uma absorção descontrolada e excesso dessa radiação pode resultar em reações fotoquímicas prejudiciais (Savina; Tsentlovich; Sherin, 2020). Tais respostas culminam em alterações na derme e na epiderme, podendo impactar a saúde e a estética propriamente dita. A extensão dos danos está correlacionada com os níveis de radiação absorvida e o tempo de exposição, influenciando o desenvolvimento precoce de rugas, ressecamento, manchas e lesões cutâneas (Jindal *et al.*, 2020). Notavelmente, a pele cronicamente afetada pelo R-UV experimenta uma manipulação mais significativa da matriz extracelular (MEC), em parte devido ao colágeno degradado (Budden *et al.*, 2021).

Além disso, a radiação ultravioleta exerce diversos efeitos diretamente na fisiologia da pele, com respostas tanto agudas quanto tardias. Entre as respostas agudas, destaca-se a inflamação causada pelo R-UV, particularmente através da atuação dos raios UVB. Esta indução desencadeia uma cascata de citocinas e mediadores vasoativos e neuroativos que colaboram na promoção de uma resposta inflamatória aguda na pele (Patra; Gallais Séresal; Wolf, 2020). Em situações em que a exposição ao R-UV excede um limiar crítico, os queratinócitos na epiderme

ativam vias apoptóticas, resultando em danos celulares e uma característica de "células queimadas pelo sol", evidenciada por núcleos picnóticos (Tang *et al.*, 2021).

Além disso, os raios UVB e UVA podem induzir danos ao DNA, incluindo a formação de dímeros de pirimidina. Enquanto ambos realizam essa indução, os raios UVA são menos eficazes e atuam com menor intensidade em comparação aos raios UVB. Além disso, os raios UVA podem induzir a fragmentação mitocondrial e ser caracterizados como um estressor metabólico, embora com uma eficiência geralmente mais fraca e desequilibrada do que os raios UVB (Valerio *et al.*, 2022).

Simultaneamente, vale ressaltar que a ação do bronzeamento artificial tem aumentado gradativamente durante os anos, visto que, essa área tem crescido e se tornado uma indústria com 30 milhões de usuários. Contudo, é importante ressaltar que as máquinas de bronzeamento são consideradas não reguladas corretamente, variando e excedendo a correlação com a composição e a força da própria radiação UV (Perer *et al.*, 2020). Portanto, a produção da radiação UV realizada para esses procedimentos é considerado até dez vezes mais poderosa do que as radiações emitidas pela luz solar, atenuando ainda, que o uso de bronzadores artificiais químicos causam um estresse celular (Rubeshkumar *et al.*, 2020).

## 2.1 RADICAIS LIVRES

Radicais livres são átomos ou moléculas que se caracterizam pela presença de elétrons desemparelhados em seus orbitais externos, desempenhando papéis de doadores ou receptores de elétrons, o que induz a modificações nas moléculas em seu entorno (Di Meo; Venditti, 2020).

É relevante salientar que a formação de radicais livres é derivada do metabolismo orgânico e é regulada pelas células do sistema imunológico que expressam enzimas NADPH oxidase (Nox). No entanto, fontes externas também são atuam na produção de radicais livres, incluindo a exposição à radiação ultravioleta (UV), que estimula a geração dessas espécies reativas quando a pele absorve essa energia eletromagnética. Outros fatores desencadeadores incluem poluição, tabagismo, atividade física excessiva e exposição a solventes industriais (Begum *et al.*, 2022).

A superexposição à radiação ultravioleta, em particular, é capaz de gerar estresse oxidativo ou lesões oxidativas na pele (Chen *et al.*, 2021). As radiações UV induzem a produção de oxigênios reativos, como ânion superóxido, radical hidroxila e peróxido de hidrogênio, que podem causar danos a moléculas essenciais, como lipídios, proteínas, DNA e RNA (Zhong *et al.*, 2021). A hidroxila radical, em especial, é altamente reativa e desencadeia modificações nas



macromoléculas, perturbando sua estrutura e função. Essas perturbações moleculares podem levar ao desenvolvimento de disfunções fisiológicas (Gu *et al.*, 2020).

Dentro desse contexto, a radiação UV promove a geração de radicais livres oxidativos por meio de interações com o oxigênio atômico, favorecendo a formação das descrições mencionadas anteriormente. Essa ação tem um impacto direto nas macromoléculas essenciais, prejudicando suas funções normais e, conseqüentemente, desencadeando disfunções aparentes (Michalak, 2022).

## 2.2 FISIOPATOLOGIA DAS PRINCIPAIS DISFUNÇÕES PROMOVIDAS

### 2.3 O Melasma

O melasma é um tipo de discromina e se apresenta como uma desordem pigmentar que se manifesta por meio de máculas e manchas hiperpigmentadas. Essa disfunção normalmente afeta predominantemente mulheres em idade reprodutiva e de pele negra, embora sua ocorrência em homens não seja incomum (Desai *et al.*, 2023). Diversos fatores contribuem para o desenvolvimento do melasma, dentre eles, destacam-se a influência da exposição à radiação ultravioleta, a qual resulta na produção de melanina pelo tecido epidérmico (Alcantara *et al.*, 2020).

2215

De acordo com a literatura científica, a radiação UVA desempenha um papel significativo no agravamento das pigmentações associadas ao melasma, especialmente em indivíduos melanocompetentes (Vechtomova *et al.*, 2021). A UVA, caracterizada por seu comprimento de onda mais longo, consegue penetrar na epiderme, mesmo quando bloqueada por protetores solares, ampliando assim a intensidade das hiperpigmentações específicas. Este efeito parece ser mais pronunciado em pacientes com fototipos cutâneos mais escuros, classificados como tipos IV-VI (Duteil *et al.*, 2022).

No entanto, não é apenas a radiação UVA que desencadeia o melasma, uma vez que estudos apontam que os raios UVB, que têm comprimentos de onda mais curtos, também podem induzir hiperpigmentação. Isso ocorre por meio da ativação da Opsina 3, um sensor receptor específico nos melanócitos, desencadeando uma resposta nos queratinócitos, que por sua vez influenciam a formação da barreira supranuclear, especialmente quando exposta à radiação UVA (Lan *et al.*, 2023). Essa cascata de eventos evidencia a complexidade dos mecanismos de pigmentação da pele e destaca a importância da proteção adequada contra a radiação ultravioleta, especialmente em indivíduos suscetíveis ao melasma.



## 2.4 O Envelhecimento Precoce

O envelhecimento cutâneo, tanto intrínseco quanto extrínseco, reflete o declínio progressivo das funções fisiológicas da pele. Entre os fatores extrínsecos, a exposição excessiva à radiação ultravioleta (UV) surge como um dos principais desencadeadores do envelhecimento (Ma *et al.*, 2022). A radiação UV penetra profundamente na pele, comprometendo a integridade das fibras de colágeno e elastina, estruturas cruciais para a elasticidade, firmeza e sustentação pertinentes. A exposição prolongada à radiação UV induz, com o tempo, a manipulação progressiva dessas fibras, culminando em manifestações como rugas, flacidez e perda de tônus cutâneo (Salminen; Kaarniranta; Kauppinen, 2022).

Além disso, o envelhecimento cutâneo influencia na velocidade e efetividade da produção de componentes essenciais da matriz extracelular (MEC), como proteoglicanos e glicosaminoglicanos, notadamente o ácido hialurônico. Os complexos da MEC desempenham um papel fundamental nas camadas celulares superficiais e nos tecidos conjuntivos da pele, afetando sua integridade estrutural e função (Al-atif, 2022).

O envelhecimento da pele induzido pela exposição solar também está intrinsecamente ligado à geração de espécies reativas de oxigênio (ERO). Os raios ultravioleta, enquanto componentes específicos da radiação solar, podem acentuar a produção de ERO, promovendo danos à estrutura e ao funcionamento celular e desencadeando respostas inflamatórias (Negre-Salvayre; Salvayre, 2022). Os ERO desenvolveram uma variedade de vias de sinalização, resultando no aumento da produção de colágeno, na síntese e ativação de metaloproteinases da matriz (MMPs) envolvidas na remodelação do tecido conjuntivo, bem como na ativação do fenótipo secretor associado à senescência (SASP). Em conjunto, esses mecanismos resultam no envelhecimento cutâneo (Gu *et al.*, 2020).

2216

## 3. As rugas

As rugas são manifestações resultantes de um processo de degeneração dos componentes de sustentação da pele. Elas se apresentam como dobras, sulcos ou vincos na superfície, sendo uma característica tipicamente associada ao envelhecimento (Geng *et al.*, 2021). A perda de elasticidade, tonicidade, colágeno e, notavelmente, ácido hialurônico, são fatores determinantes para o desenvolvimento dessas marcas. A exposição solar, especialmente a radiação ultravioleta (R-UV), e seu efeito exacerbado desempenham um papel significativo no surgimento precoce de rugas (Zhao *et al.*, 2020).

É relevante destacar que o ácido hialurônico é uma substância naturalmente sintetizada pelo organismo e presente na pele, contribuindo para a hidratação e volume cutâneo (Juncan *et al.*, 2021) A exposição aos raios ultravioleta, porém, tende a diminuir a produção de ácido hialurônico pelos fibroblastos, células cruciais responsáveis pela síntese de componentes estruturais da pele. Tal redução na produção de ácido hialurônico resulta na perda de hidratação e elasticidade da pele, agravando, assim, a formação de rugas (Daher *et al.*, 2023).

### 3.1 FATORES DESENCADEADOS PELA RADIAÇÃO UV

A senescência celular é um estado irreversível de parada de crescimento e funcionamento das células. A exposição crônica à radiação UV pode induzir a senescência celular na pele (Lee *et al.*, 2021). Esse mecanismo ocorre devido a ação da radiação UV que danifica o DNA das células, levando a respostas de reparo e a ativação do que é chamado de "senescência celular causada por radiação" (SCIR). As células senescentes secretam citocinas inflamatórias, o que pode contribuir para o envelhecimento da pele (Domaszewska-szostek; Puzianowska-kuznicka; Kurylowicz, 2021).

Atenuante a isso, um fator que possui um dos papéis principais quando relacionados as mudanças na pele, provocando certas disfunções são os EROS, visto que, a exposição à radiação UV, principalmente os raios UVB e UVA, desencadeia a formação de EROs na pele (Boo, 2020). Esses que, são moléculas instáveis que contêm oxigênio reativo, como os radicais livres. Quando há um excesso dessas moléculas, elas podem causar danos às células e às biomoléculas, incluindo o DNA, podendo levar à oxidação celular e à inflamação. Com isso, as principais espécies de EROS envolvidas nesse processo são o ânion radical superóxido ( $O_2^-$ ), o radical hidroxila (OH), o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e as espécies de oxigênio singlete ( $O_2$ ) (Ansary *et al.*, 2021).

Paradoxalmente, da mesma forma que a R-UV desencadeia a formação dessas moléculas, está ligada também, no desencadeamento da superexpressão das metaloproteinases de matriz (MMP'S) na pele. A exposição crônica à essa energia eletromagnética pode levar a um desequilíbrio entre a produção de MMPs e seus inibidores naturais, conhecidos como inibidores de metaloproteinases de matriz (TIMPs). Esse desequilíbrio favorece a atividade das MMPs, resultando na degradação excessiva de colágeno e elastina na pele (Tampa *et al.*, 2021)

### 3.2 A IMPORTÂNCIA DA PROTEÇÃO SOLAR NA PELE

A proteção solar tem como característica específica a capacidade de fornecer uma camada de proteção à pele contra a radiação solar ultravioleta, diminuindo, assim, a probabilidade de envelhecimento prematuro da pele, a aparência de disfunções, além do aparecimento de outras patologias mais perigosas como o câncer de pele (Addor *et al.*, 2022).

Pode-se ainda ressaltar, que de acordo com as literaturas e pesquisas científicas, a utilização diária de protetor solar de amplo espectro e tópico, pode ser um auxiliador para a prevenção do fotoenvelhecimento, embasado nisso, há estudos ainda, que indicam uma possível adição de antioxidantes aos bloqueadores, em vista de que, é eficaz contra eventos moleculares induzidos por radiação IRA (Krutmann *et al.*, 2021).

Em contrapartida a isso, os protetores solares são formulados com uma mistura de filtros UV, com o objetivo de oferecer uma proteção abrangente contra os raios ultravioleta e aumentar o fator de proteção solar (FPS). Em relação à sua capacidade de interação com a radiação ultravioleta, esses filtros podem ser divididos em categorias, como UVA, UVB ou filtros de amplo espectro que abrangem ambos os tipos de radiação (Jesus *et al.*, 2023).

### 3.3 METODOLOGIA

2218

Neste estudo será realizada uma revisão integrativa de literatura, visto que, dentre os principais tipos de pesquisa, essa se trata de uma pesquisa com cunho científico, no qual, possui a finalidade da busca e sintetização dos resultados obtidos através das pesquisas sobre uma questão ou tema, tendo como seguimento o meio ordenado, abrangente e sistemático da revisão.

Por conseguinte, a revisão sobre as influências da radiação ultravioleta, suas interações e fisiopatologias causadas esteticamente, cujo, propondo um meio de fundamentação teórico utilizando-se artigos científicos selecionados entre os anos de 2019 e 2023 em bancos de dados como SCIELO, PUBMED e Google Acadêmico. Todos os estudos e resultados encontrados serão percorridos e pesquisados de forma ampla, discorrendo sobre o conceito da radiação ultravioleta, os benefícios e os malefícios causados na pele, como também a fisiopatologia das disfunções relacionadas e ressaltadas no trabalho, além das precauções e proteções que podem ser aderidas para prevenção de tais disfunções.

Após a busca e coleta de todas as informações encontradas, será feita uma compactação dessas informações com base em artigos que atendam aos critérios de inclusão, como artigos originais, publicados nos últimos 5 anos e que faça menção às disfunções abordada, para que seja

possível ressaltar ao leitor de forma sucinta e comprovada, os mecanismos e consequências causadas pelo excesso de radiação ultravioleta quando absorvida pelas camadas da pele.

### 3.4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Foram selecionados artigos com bases nos critérios estabelecidos, os quais incluem 5 artigos originais com pesquisas que discorrem sobre a influência que a radiação ultravioleta tem sobre a pele e suas consequências quando é absorvida de forma exacerbada e, pela falta de proteção. Os fatores de acometimento encontrados nesse estudo estão associados de uma forma estética, no qual, podem ser abordados e denominados como disfunções, cujo, são causadas de forma crônica através da influência da radiação ultravioleta.

Um dos principais fatores da radiação ultravioleta que podem causar danos a pele são os diferentes tipos de ondas propagadas e absorvidas, como cita Rognoni et al. (2021) e Gromkowska-Kepka et al. (2021) evidenciando que as ondas UVB de baixa energia (280-315 nm) e UVA (315-400 nm) conseguem penetrar na pele e causar cronicamente reações fotoquímicas, danificando o DNA e os lipídeos, como também as células da pele de forma direta, ou indiretamente, causando inflamação cutânea, que acarretará como consequência na ativação dos fatores fisiopatológicos.

2219

Ainda previamente, pode-se equiparar observações que levantam que a exposição a luz ultravioleta atua como fonte de um processo que traz alguns tipos de benefícios à pele, visto que, pode-se perceber de acordo com os artigos comparados, que a produção de vitamina D é um dos principais pontos a serem observados quando se trata de tais benefícios, como cita Veleva et al. (2020), essa vitamina é estimulada através da luz UV que age na pele sendo absorvida pelo 7-desidrocolesterol na membrana plasmática de células epidérmicas, viabilizando a produção de pré-vitamina D.

Em contrapartida, pode-se ainda observar que apesar da existência de diversos outros fatores benéficos quanto a radiação UV promovendo o auxílio à saúde da pele humana, há uma controvérsia quando se nota que ao se tratar da radiação ultravioleta, as pesquisas e artigos possuem maior embasamento quanto aos malefícios em questão, essa análise pode ser percebida com os resultados comparativos e individuais que o quadro 1 traz sobre alguns benefícios, sendo expressa uma média de percentual calculada entre os tópicos abordados entre os autores.

**Quadro 1** – Média em percentual dos benefícios da radiação UV abordados nos artigos originais, sendo calculados individualmente e comparativamente entre todos os autores.

BENEFÍCIOS						
Autor/Ano	Vitamina D	RC	Fototerapia	Endorfinas	Aparência	ANÁLISE INDIVIDUAL
(Valério <i>et al.</i> , 2021)	N	N	N	N	N	0%
(Krutmann <i>et al.</i> , 2021)	S	N	N	N	N	10%
(Rognoni <i>et al.</i> , 2021)	S	N	N	N	N	20%
(BEDNARSKI <i>et al.</i> , 2021)	N	N	N	N	N	0%
(Veleva <i>et al.</i> , 2020)	S	S	S	N	S	80%
ANÁLISE COMPARATIVA	60%	10%	10%	0%	10%	-

Legenda - S: sim; N: não

Abreviaturas - RC: ritmo circadiano.

Paradoxalmente a isso, Valério *et al.* (2021) aborda que mesmo que se note alterações visíveis da UVB principalmente na epiderme, a UVA é ainda mais eficiente quando se fala da ação na derme propriamente dita, sendo capaz de impulsionar o fotoenvelhecimento e causar alterações significativas nas assinaturas de expressão gênica dos fibroblastos, o que provoca alterações também em sua capacidade secretora, causando mecanismos como apoptose celular e senescência.

Salminen, Kaarniranta e Kauppinen (2022), afirmam que a radiação ultravioleta excessiva é um dos principais fatores ou se não o principal a desencadear uma remodelação do sistema imunitário, o que leva ao estado de fotoenvelhecimento. Assim como, Gu *et al.*, (2020), que coloca como explicação que a radiação ultravioleta age como um fator ambiental extrínseco que acelera esse envelhecimento e resulta em alterações cumulativas na estrutura cutânea, evidenciando demais disfunções como rugas e alterações pigmentares (melasma).

Semelhante a essas acelerações e alterações dos processos cutâneos de forma extrínseca, a perda e déficit de proteínas como elastina e colágeno são consequentemente desencadeadas, como sugere Biskanaki *et al.*, (2021), após utilização de amostras de tecidos jovens e envelhecidos para realização de testes, pôde constatar que houve hiperplasia na camada de queratina, redução dos números de componentes da pele, e principalmente, uma expressão mais fraca do colágeno tipo I, após tais tecidos serem expostos a radiação ultravioleta.

Consequente a isso, pôde-se constatar ainda os efeitos maléficos ressaltados quanto a disfunção que gera as alterações pigmentares na pele, sendo o melasma. Alcântara *et al.*, (2020) realizou uma pesquisa experimental envolvendo 22 pacientes que possuem o melasma, com isso,

foram colocados fragmentos da pele em exposição aos raios UVB e UVA, podendo constatar como resultado um aumento significativo de granulação da melanina após exposição ao tipo UVA e, aumento na contagem de dendritos de melanócitos induzidos, produzindo ainda, respostas melanogênicas.

A análise dos diferentes tipos de malefícios causados a partir da radiação UV podem ser observados no quadro 2, onde se demonstra de forma percentual as abordagens realizadas pelos autores sobre os diferentes tipos de malefícios que podem ser evidenciados na pele, a partir de resultados individuais e comparativos entres todos.

**Quadro 2** – Média em percentual dos malefícios da radiação UV abordados nos artigos originais, sendo calculados individualmente e comparativamente entre todos os autores.

MALEFÍCIOS						
Autor/Ano	Fotoenvelhecimento	Eritema	Perda de elastina e colágeno	Alterações pigmentares	Supressão de processos imunológicos	ANÁLISE INDIVIDUAL
(Valério <i>et al.</i> , 2021)	S	N	S	S	S	<b>80%</b>
(Krutmann <i>et al.</i> , 2021)	S	N	S	S	S	<b>80%</b>
(ROGNON I <i>et al.</i> , 2021)	S	S	S	N	S	<b>80%</b>
(BEDNARSKI <i>et al.</i> , 2021)	S	N	S	N	S	<b>60%</b>
(Veleva <i>et al.</i> , 2020)	N	N	N	N	S	<b>20%</b>
ANÁLISE COMPARATIVA	<b>80%</b>	<b>20%</b>	<b>80%</b>	<b>20%</b>	<b>100%</b>	-

Legenda – S: sim; N: não

Hudson *et al.*, (2020), avaliaram os efeitos causados pela radiação ultravioleta, em um estudo descritivo e, quantitativo, no qual foi feita a análise em fibroblastos e queratinócitos primários da pele humana que foram cultivados a partir de pele adulta saudável, como também, testes com gerações de ERO celular. Os resultados quanto aos raios UV propriamente dito, demonstrou aumento semelhante de ERO nos dois tipos de células, sendo 68% em queratinócitos e 44% em fibroblastos.

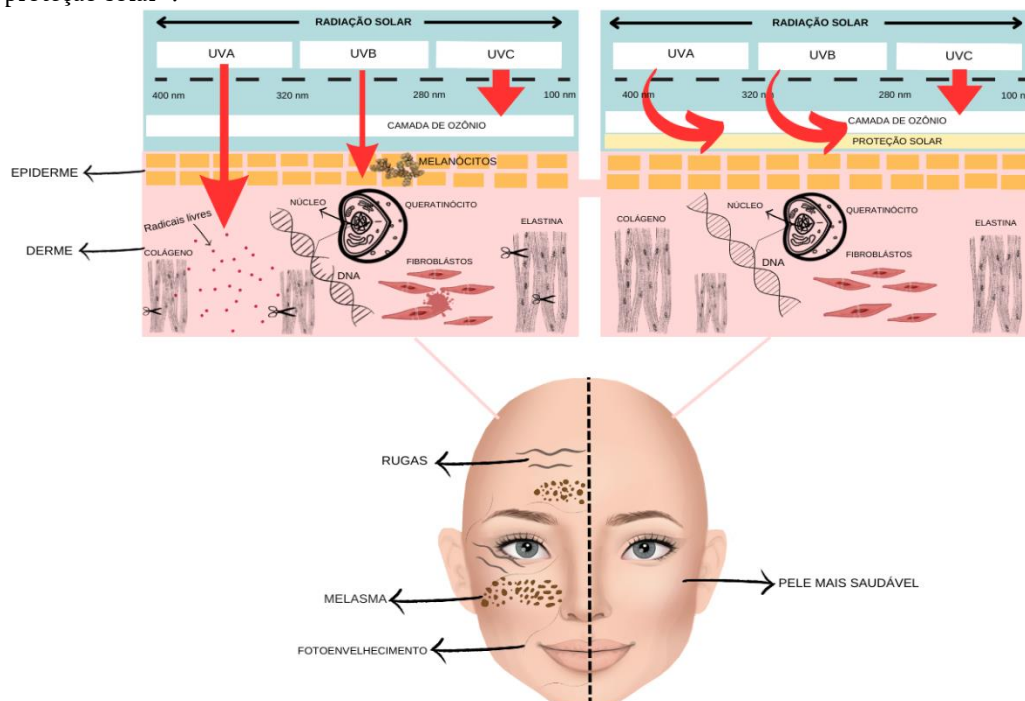
Em relevância a isso, os fatores ativados pela radiação ultravioleta podem ser expressos de formas distintas no tecido cutâneo, Bednarski *et al.*, (2021) evidenciam a ativação da catepsina K a partir de doses de radiação UV e, seu envolvimento na degradação do colágeno tipo I e da elastina além de estar relacionada a fisiopatologias patogênicas, como também, evidenciam que a progerina está associada ao envelhecimento da pele induzida pelos raios ultravioletas.

É obtida uma análise contextualizada diante do quadro 3, onde se obtém os diferentes tipos de fatores que podem ser ativados pela radiação ultravioleta e, conseqüentemente viabilizar fisiopatologias nos principais sítios de ação.

**Quadro 3** – Fatores ativados pela influência da radiação ultravioleta e seus mecanismos fisiopatológicos principais em seu sítio de ação.

Fatores ativados pela radiação UV	Mecanismos fisiopatológicos causados na pele	Local de ação dos fatores
Catepsina K	Degrada a elastina.	Derme.
Progerina	Envelhecimento celular.	Derme.
Espécies reativas de oxigênio (ERO)	Oxidação celular, danos ao DNA e envelhecimento precoce da pele.	Epiderme, derme.
Ativação de Metaloproteinasas de Matriz (MMPs)	Degradação do tecido conjuntivo.	Matriz extracelular.
Liberação do Fenótipo Secretor Associado à Senescência (SASP)	Promoção do envelhecimento da pele e inflamação crônica.	Derme.
Diminuição da Produção de Colágeno	Rugas e flacidez.	Derme.
Danos ao DNA	Aumento do risco de mutações celulares.	Tecido cutâneo.
Compostos FICZ e cis-UCA (ácido urocanico)	Supressão das funções imunológicas.	Tecido cutâneo.

**Figura 1** – Contraste da incidência de radiação ultravioleta no tecido cutâneo sem proteção e no tecido cutâneo com proteção solar\*.



\* No lado esquerdo da figura se obtém a representação do tecido cutâneo sem proteção solar recebendo incidência dos raios UVA e UVB, identificando as alterações e mecanismos gerados na epiderme e derme que vão ser causadores das disfunções demonstradas na face representada na figura, tais como, rugas, fotoenvelhecimento e melasma, causados pelos fatores desencadeados pela radiação UV, tendo como ilustração também as tesouras indicando uma diminuição da elastina e colágeno, enquanto, no lado direito da figura, se representa um tecido sem anormalidades, pois possui proteção solar, cujo bloqueia a incidência exarcebada desses dois tipos de onda da radiação ultravioleta, permitindo que não haja modificações incisivas nesses mecanismos.



## CONCLUSÃO

Por meio dessa análise realizada e da construção da revisão de cunho integrativo da literatura foi possível constatar clara evidência de que a radiação ultravioleta possui diferentes tipos de ondas de comprimentos que são capazes de atingir os tecidos como epiderme e derme, causando supressão de processos imunológicos, como também a ativação de fatores que induzem ao aparecimento de disfunções.

Entretanto, foi demonstrado ainda, que tal radiação pode oferecer benefícios à saúde da pele se sua exposição for devidamente controlada, para interferência de processos fisiopatológicos que são causados cronicamente e por negligência a proteção.

Na análise dos artigos científicos foi constatado que a radiação ultravioleta possui um índice maior quando se trata de causar malefícios a pele, visto que, em concordância aos artigos analisados, a ação dessa radiação eletromagnética ultravioleta e seus diferentes contrastes são causas para os processos fisiopatológicos citados em todo o trabalho.

## REFERÊNCIAS

AGUILAR-SHEA, A. L. Vitamin D, the natural way. **Clinical Nutrition ESPEN**, v. 41, p. 10-12, 1 fev. 2021.

AL-ATIF, H. Collagen Supplements for Aging and Wrinkles: A Paradigm Shift in the Fields of Dermatology and Cosmetics. **Dermatology Practical & Conceptual**, v. 12, n. 1, p. e2022018, 1 jan. 2022.

ALCANTARA, G. P. et al. Evaluation of *ex vivo* melanogenic response to UVB, UVA, and visible light in facial melasma and unaffected adjacent skin. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 95, p. 684-690, 30 nov. 2020.

ALVES, P. V. et al. A importância do conceito da radiação solar na educação básica: a percepção de alunos do ensino médio sobre a temática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210054, 19 abr. 2021.

ANSARY, T. M. et al. Inflammatory Molecules Associated with Ultraviolet Radiation-Mediated Skin Aging. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 8, p. 3974, jan. 2021.

BACHMANN, L.; BRAGA, G. U. L. Radiação Ultravioleta para a Inativação de Microrganismos em Ambientes Públicos. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 16, p. 605-605, 11 set. 2022.

BEDNARSKI, I. A. et al. <p>More Than Skin Deep &ndash; the Effects of Ultraviolet Radiation on Cathepsin K and Progerin Expression in Cultured Dermal Fibroblasts</p>. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**, v. 14, p. 1561-1568, 27 out. 2021.

BEGUM, R. et al. NADPH oxidase family proteins: signaling dynamics to disease management. **Cellular & Molecular Immunology**, v. 19, n. 6, p. 660–686, jun. 2022.

BHATTACHARJEE, P. Foundation of Electromagnetic Waves. v. 7, p. 143–148, 5 dez. 2022.  
BOO, Y. C. Emerging Strategies to Protect the Skin from Ultraviolet Rays Using Plant-Derived Materials. **Antioxidants**, v. 9, n. 7, p. 637, jul. 2020.

BUDDEN, T. et al. Ultraviolet light-induced collagen degradation inhibits melanoma invasion. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 2742, 12 maio 2021.

CHEN, J. et al. Oxidative stress in the skin: Impact and related protection. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 43, n. 5, p. 495–509, 2021.

DAHER, J. C. et al. Complicações vasculares dos preenchimentos faciais com ácido hialurônico: confecção de protocolo de prevenção e tratamento. **Revista Brasileira de Cirurgia Plástica**, v. 35, p. 2–7, 19 maio 2023.

DARAWSHA, A. et al. The Protective Effect of Carotenoids, Polyphenols, and Estradiol on Dermal Fibroblasts under Oxidative Stress. **Antioxidants**, v. 10, n. 12, p. 2023, dez. 2021.

DE LA GUÍA-GALIPIENSO, F. et al. Vitamin D and cardiovascular health. **Clinical Nutrition**, v. 40, n. 5, p. 2946–2957, 1 maio 2021.

DESAI, S. R. et al. Best Practices in the Treatment of Melasma with a Focus on Patients with Skin of Color. **Journal of the American Academy of Dermatology**, 23 set. 2023.

2224

DI MEO, S.; VENDITTI, P. Evolution of the Knowledge of Free Radicals and Other Oxidants. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2020, p. e9829176, 24 abr. 2020.

DOMASZEWSKA-SZOSTEK, A.; PUZIANOWSKA-KUŹNICKA, M.; KURYŁOWICZ, A. Flavonoids in Skin Senescence Prevention and Treatment. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 13, p. 6814, jan. 2021.

DUTEIL, L. et al. A new in vitro method to predict in vivo photoprotection of skin hyperpigmentation induced by visible light. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 36, n. 6, p. 922–926, 2022.

EL-SHARKAWY, A.; MALKI, A. Vitamin D Signaling in Inflammation and Cancer: Molecular Mechanisms and Therapeutic Implications. **Molecules**, v. 25, n. 14, p. 3219, jan. 2020.

GARBE, B. et al. The Influence of Short-Wave and Long-Wave Radiation Spectrum on the Photostability of Sunscreens. **Skin Pharmacology and Physiology**, v. 33, n. 2, p. 77–85, 2020.

GARNACHO SAUCEDO, G. M.; SALIDO VALLEJO, R.; MORENO GIMÉNEZ, J. C. Effects of solar radiation and an update on photoprotection. **Anales de Pediatría (English Edition)**, v. 92, n. 6, p. 377.e1-377.e9, 1 jun. 2020.

GENG, R. et al. Boosting the Photoaged Skin: The Potential Role of Dietary Components. **Nutrients**, v. 13, n. 5, p. 1691, maio 2021.

GENTILE, P.; GARCOVICH, S. Adipose-Derived Mesenchymal Stem Cells (AD-MSCs) against Ultraviolet (UV) Radiation Effects and the Skin Photoaging. **Biomedicines**, v. 9, n. 5, p. 532, maio 2021.

GRANDI, C.; D'OVIDIO, M. C. Balance between Health Risks and Benefits for Outdoor Workers Exposed to Solar Radiation: An Overview on the Role of Near Infrared Radiation Alone and in Combination with Other Solar Spectral Bands. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 4, p. 1357, jan. 2020.

GREEN, N. J.; XU, J.; SUTHERLAND, J. D. Illuminating Life's Origins: UV Photochemistry in Abiotic Synthesis of Biomolecules. **Journal of the American Chemical Society**, v. 143, n. 19, p. 7219–7236, 19 maio 2021.

GROMKOWSKA-KĘPKA, K. J. et al. The impact of ultraviolet radiation on skin photoaging — review of in vitro studies. **Journal of Cosmetic Dermatology**, v. 20, n. 11, p. 3427–3431, nov. 2021.

GU, Y. et al. Biomarkers, oxidative stress and autophagy in skin aging. **Ageing Research Reviews**, v. 59, p. 101036, 1 maio 2020.

GUERMOUI, M. et al. A comprehensive review of hybrid models for solar radiation forecasting. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120357, 10 jun. 2020.

HESSLING, M. et al. The impact of far-UVC radiation (200–230 nm) on pathogens, cells, skin, and eyes – a collection and analysis of a hundred years of data. **GMS Hygiene and Infection Control**, v. 16, p. Doc07, 16 fev. 2021. 2225

HOLICK, M. F. Sunlight, UV Radiation, Vitamin D, and Skin Cancer: How Much Sunlight Do We Need? Em: REICHRATH, J. (Ed.). **Sunlight, Vitamin D and Skin Cancer**. Advances in Experimental Medicine and Biology. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 19–36.

HUDSON, L. et al. Individual and combined effects of the infrared, visible, and ultraviolet light components of solar radiation on damage biomarkers in human skin cells. **The FASEB Journal**, v. 34, n. 3, p. 3874–3883, 2020.

HWANG, W. et al. Topical application of Zanthoxylum piperitum extract improves lateral canthal rhytides by inhibiting muscle contractions. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 21514, 9 dez. 2020.

JESUS, A. et al. Antioxidants in Sunscreens: Which and What For? **Antioxidants**, v. 12, n. 1, p. 138, jan. 2023.

JINDAL, A. K. et al. Sun Exposure in Children: Balancing the Benefits and Harms. **Indian Dermatology Online Journal**, v. 11, n. 1, p. 94–98, 13 jan. 2020.

JUNCAN, A. M. et al. Advantages of Hyaluronic Acid and Its Combination with Other Bioactive Ingredients in Cosmeceuticals. **Molecules**, v. 26, n. 15, p. 4429, jan. 2021.

KAYANI, A. B. A. et al. UV Photochromism in Transition Metal Oxides and Hybrid Materials. **Small**, v. 17, n. 32, p. 2100621, 2021.

KRUTMANN, J. et al. Daily photoprotection to prevent photoaging. **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v. 37, n. 6, p. 482–489, 2021.

LAN, Y. et al. Opsin 3 mediates UVA-induced keratinocyte supranuclear melanin cap formation. **Communications Biology**, v. 6, n. 1, p. 1–13, 3 mar. 2023.

LEE, Y. I. et al. Cellular Senescence and Inflammaging in the Skin Microenvironment. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 8, p. 3849, jan. 2021.

LIM, H. W. et al. 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**, Impact of Current Gaps in Sun Care on Dermatological Health. v. 86, n. 3, Supplement, p. S27–S37, 1 mar. 2022.

MA, J. et al. Autophagy plays an essential role in ultraviolet radiation-driven skin photoaging. **Frontiers in Pharmacology**, v. 13, 2022.

MICHALAK, M. Plant-Derived Antioxidants: Significance in Skin Health and the Ageing Process. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 2, p. 585, jan. 2022.

MOJESKI, J. A. et al. Ultraviolet imaging in dermatology. **Photodiagnosis and Photodynamic Therapy**, v. 30, p. 101743, 1 jun. 2020.

NEGRE-SALVAYRE, A.; SALVAYRE, R. Post-Translational Modifications Evoked by Reactive Carbonyl Species in Ultraviolet-A-Exposed Skin: Implication in Fibroblast Senescence and Skin Photoaging. **Antioxidants**, v. 11, n. 11, p. 2281, nov. 2022.

PASSERON, T. et al. Clinical and biological impact of the exposome on the skin. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 34, n. S4, p. 4–25, 2020.

PATRA, V.; GALLAIS SÉRÉZAL, I.; WOLF, P. Potential of Skin Microbiome, Pro- and/or Pre-Biotics to Affect Local Cutaneous Responses to UV Exposure. **Nutrients**, v. 12, n. 6, p. 1795, jun. 2020.

PERER, J. et al. The sunless tanning agent dihydroxyacetone induces stress response gene expression and signaling in cultured human keratinocytes and reconstructed epidermis. **Redox Biology**, v. 36, p. 101594, 1 set. 2020.

PROGRAM, N. T. Ultraviolet-radiation-related Exposures. Em: **15th Report on Carcinogens [Internet]**. [s.l.] National Toxicology Program, 2021.

ROGNONI, E. et al. Role of distinct fibroblast lineages and immune cells in dermal repair following UV radiation-induced tissue damage. **eLife**, v. 10, p. e71052, 23 dez. 2021.

RUBESHKUMAR, P. C. et al. Association between exposure to artificial sources of ultraviolet radiation and ocular diseases: a systematic review protocol. **JBI Evidence Synthesis**, v. 18, n. 8, p. 1766, ago. 2020.

SALMINEN, A.; KAARNIRANTA, K.; KAUPPINEN, A. Photoaging: UV radiation-induced inflammation and immunosuppression accelerate the aging process in the skin. **Inflammation Research**, v. 71, n. 7, p. 817–831, 1 ago. 2022.

SAVINA, E. D.; TSENTALOVICH, Y. P.; SHERIN, P. S. UV-A induced damage to lysozyme via Type I photochemical reactions sensitized by kynurenic acid. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 152, p. 482–493, 20 maio 2020.

SHIN, D. W. Various biological effects of solar radiation on skin and their mechanisms: implications for phototherapy. **Animal Cells and Systems**, v. 24, n. 4, p. 181–188, [s.d.].

TAMPA, M. et al. Current Perspectives on the Role of Matrix Metalloproteinases in the Pathogenesis of Basal Cell Carcinoma. **Biomolecules**, v. 11, n. 6, p. 903, jun. 2021.

TANG, Z. et al. Research progress of keratinocyte-programmed cell death in UV-induced Skin photodamage. **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v. 37, n. 5, p. 442–448, 2021.

THUILLIER, G. et al. Characteristics of solar-irradiance spectra from measurements, modeling, and theoretical approach. **Light: Science & Applications**, v. 11, n. 1, p. 79, 29 mar. 2022.

VALERIO, H. P. et al. Spatial proteomics reveals subcellular reorganization in human keratinocytes exposed to UVA light. **iScience**, v. 25, n. 4, 15 abr. 2022.

VECHTOMOVA, Y. L. et al. UV Radiation in DNA Damage and Repair Involving DNA-Photolyases and Cryptochromes. **Biomedicines**, v. 9, n. 11, p. 1564, nov. 2021. 2227

VELEVA, B. I. et al. The Effect of Ultraviolet B Irradiation Compared with Oral Vitamin D Supplementation on the Well-being of Nursing Home Residents with Dementia: A Randomized Controlled Trial. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 5, p. 1684, jan. 2020.

YOUNG, A. R. et al. A revised action spectrum for vitamin D synthesis by suberythemal UV radiation exposure in humans in vivo. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 118, n. 40, p. e2015867118, 5 out. 2021.

ZHAO, Y. et al. A multi-layered model of human skin elucidates mechanisms of wrinkling in the forehead. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 105, p. 103694, 1 maio 2020.

ZHONG, Q.-Y. et al. Gender differences in UV-induced skin inflammation, skin carcinogenesis and systemic damage. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 81, p. 103512, 1 jan. 2021.

ZORINA, A. et al. Molecular Mechanisms of Changes in Homeostasis of the Dermal Extracellular Matrix: Both Involuntional and Mediated by Ultraviolet Radiation. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 12, p. 6655, jan. 2022.