

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU
INSTITUTO DE FÍSICA – INFIS

Mikael Cavalari de Oliveira

**Exposição Eritematosa: Efeitos da radiação ultravioleta no
tecido epitelial humano**

Uberlândia

2023

Mikael Cavalari de Oliveira

Exposição Eritematosa: Efeitos da radiação ultravioleta no tecido epitelial humano

Monografia apresentada ao curso de Física Médica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Física Médica.

Universidade Federal de Uberlândia

Orientador: Prof. Dr. Adamo Ferreira Gomes

Uberlândia

2023

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha mãe, Alessandra Regina Cavalari, por todo o apoio, incentivo e por sempre estar ao meu lado em todas as minhas decisões.

Aos meus amigos e colegas de curso que cumpriram esta jornada ao meu lado, nos momentos de estudo e de lazer.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adamo Ferreira Gomes, pelos conselhos, dedicação e colaboração durante todo o desenvolvimento deste trabalho e também durante a graduação.

A todos os professores e membros do Instituto de Física - INFIS, que colaboraram, direta ou indiretamente para minha formação, em especial a Prof. Dra. Ana Paula Perini e ao Prof. Dr. Mauricio Foschini, por além de terem sido meus professores foram amigos e sempre da melhor forma possível me auxiliaram com conselhos quando eu precisava. E a secretária Dilza Cortês, por sempre ter sido muito receptiva comigo nos momentos em que eu precisei.

“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.”

Mahatma Gandhi

Resumo

Com as mudanças cada vez mais frequentes das propriedades químicas da atmosfera, destacando-se principalmente a redução da camada de ozônio, surgiram-se inquietações e preocupações na comunidade científica. Visto que, a camada de ozônio está diretamente relacionada com a quantidade de radiação ultravioleta e seus tipos que entram em contato com a superfície terrestre. Assim, com o aumento da intensidade da radiação ultravioleta, esta acaba causando efeitos maléficos aos seres humanos, principalmente aqueles que apresentam pouca produção de melanina. Com isso produz-se dois efeitos relacionado a interação do tecido epitelial com a radiação ultravioleta. O primeiro é o efeito acumulativo da radiação durante toda a vida que conseqüentemente provoca reações crônicas, como além do envelhecimento cutâneo, as mutações genéticas, levando o indivíduo a ter uma predisposição aumentada ao câncer de pele. O segundo efeito pode-se considerá-lo como sendo o mais negligenciado pela população, é aquele efeito mais direto, diferente do crônico este é agudo e muitas das vezes pode ocorrer com uma simples exposição ao sol, levando aos eritemas, ou seja, a vermelhidão presente na pele. Porém, estes dois efeitos estão completamente interligados, uma vez que exposição diária e contínua, além de produzir eritemas, aumenta-se a chance de câncer de pele. Nesse sentido, com o objetivo de discutir sobre a exposição eritematosa e seus efeitos biológicos, bem como a equação experimental que a rege, além de discorrermos sobre a importância do índice ultravioleta, foi realizada uma pesquisa bibliográfica almejando esclarecer a importância acerca do conhecimento da radiação ultravioleta e sua interação com o tecido epitelial, afim de que, assim como os cânceres de pele, os eritemas possam ser evitados com simples medidas de prevenção.

Palavras-chave: Radiação Solar, Ultravioleta, Exposição Eritematosa, Índice Ultravioleta, Medidas de Prevenção.

Abstract

With the increasingly frequent changes in the chemical properties of the atmosphere, especially with the reduction of the ozone layer, concerns and worries have arisen in the scientific community. Since the ozone layer is directly related to the amount of ultraviolet radiation and its types that come into contact with the earth's surface. Thus, as the intensity of ultraviolet radiation increases, it ends up producing harmful effects to humans, especially those who have little production of melanin. This produces two effects related to the interaction of epithelial tissue with ultraviolet radiation. The first is the accumulative effect of radiation throughout life that consequently causes chronic reactions, such as skin aging and genetic mutations, leading the individual to have an increased predisposition to skin cancer. The second effect can be considered the most neglected by the population, it is that more direct effect, different from the chronic one, this one is acute and many times it can occur with a simple exposure to the sun, leading to erythema's, that is, the redness present on the skin. However, these two effects are completely interconnected, since daily and continuous exposure, besides producing erythema, increases the chances of it leading to skin cancer. In this sense, in order to discuss about the erythematos exposure and its biological effects, as well as the experimental equation that governs it, besides discussing the importance of the ultraviolet index, bibliographic research was carried out aiming to clarify the importance of the knowledge of ultraviolet radiation and its interaction with the epithelial tissue, so that, as well as the skin cancers, the erythema's can be avoided with simple prevention measures.

Keywords: Solar Radiation, Ultraviolet, Erythematos Exposure, Ultraviolet Index, Prevention Measures.

Lista de ilustrações

FIGURA 1 - PROPAGAÇÃO DA ONDA NA DIREÇÃO $E \times B$	14
FIGURA 2 - ESPECTRO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.	15
FIGURA 3 - FAIXAS DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.	16
FIGURA 4 - ESPECTRO DA RADIAÇÃO SOLAR NO TOPO DA ATMOSFERA (CURVA SUPERIOR) E NO NÍVEL DO MAR (CURVA INFERIOR) A PARTIR DA EMISSÃO DE UM CORPO NEGRO.	16
FIGURA 5 - ABSORÇÃO SELETIVA DA RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE POR PARTE DA ATMOSFERA.	20
FIGURA 6 - PORCENTAGEM DE REFLEXÃO, ABSORÇÃO E TRANSMISSÃO DE RADIAÇÃO SOLAR POR CAMADA DE NUVENS DE DIFERENTES ESPESSURAS.	21
FIGURA 7- PRODUÇÃO DE OZÔNIO ESTRATOSFÉRICO, E O CICLO DE CHAPMAN.	24
FIGURA 8- ESTRUTURA DA PELE.	25
FIGURA 9 - PORCENTAGEM DE PENETRAÇÃO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NA PELE.	27
FIGURA 10 - REFERÊNCIAS DO ESPECTRO DA AÇÃO ERITEMATOSA ADOTADOS PELA CIE E IEC.	29
FIGURA 11 - CURSO ANUAL E DIÁRIO DO ÍNDICE UV EM TERMOS DE LATITUDE.	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DO IUV POR CORES ONDE APRESENTA-SE CATEGORIA E O VALOR INTEIRO. 30

TABELA 2 - GRAU DE PROTEÇÃO PARA LENTES OCULARES. 35

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
2	JUSTIFICATIVA	11
3	OBJETIVOS	12
3.1	Objetivo Geral	12
3.2	Objetivos Específicos.....	12
4	METODOLOGIA	13
5	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
5.1	Por trás da Física das Radiações.....	14
5.2	Interação da radiação UV com o Ozônio.....	23
5.3	Interação da Radiação UV com a matéria.....	25
5.4	Efeitos da Radiação UV nos seres humanos.....	27
5.5	Exposição Eritematosa e sua equação experimental.....	28
5.6	Espectro da ação eritematosa.....	29
5.7	O Índice UV e sua importância	29
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
7	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que de toda a energia proveniente do Sol que chega à superfície do planeta, aproximadamente 10% dessa energia corresponde à radiação ultravioleta (RUV). O comprimento de onda dos RUV's estão em torno de 100 – 400 nm, sendo basicamente divididos em três tipos principais, como o UVC que está na faixa de (100 ~280 nm), UVB (280 ~315 nm) e UVA (315 ~ 400 nm). (WHO, 1994). Nesse sentido, veremos mais a frente que a energia é inversamente proporcional ao comprimento de onda implicando que a radiação ultravioleta do tipo UVC é o mais energético seguido pelo UVB e por fim UVA.

Apesar dos raios ultravioletas em geral apresentarem uma grande energia e esta ser danosa ao tecido humano podendo trazer sérios malefícios, a radiação ultravioleta pode ser benéfica, desde que não ultrapasse os limites considerados seguros. Caso venha ocorrer uma prolongada exposição, o indivíduo exposto deve tomar certos cuidados para tornar a sua exposição mais segura, principalmente quando se trata dos olhos e da pele humana. (VANICEK, 1999). Por outro lado, caso o ser humano não venha a utilizar certas medidas protetivas, a longa exposição poderá acarretar em sérios danos à sua saúde.

Em geral, os dois maiores problemas de saúde relacionados à RUV são os diferentes tipos de cânceres de pele além da catarata. Mas há uma problemática ignorada pela população, que é a exposição excessiva e sem proteção à radiação UVB, que acarreta em eritemas, ou seja, vermelhidões na pele. Nesse sentido, a alta taxa de exposição que leva à eritemas é classificada como reações agudas que chegam a se desenvolver, contudo, desaparecem em um intervalo curto de tempo. Por outro lado, o desenvolvimento de cânceres de pele e catarata está mais relacionado as reações crônicas, que seriam ao longo prazo, ou seja, tem um aparecimento gradual e de longa duração. Podemos dizer ainda que com a interação da radiação com a matéria, casos onde ocorrem eritemas e cataratas apresentam efeitos determinísticos, já para o aparecimento de cânceres apresentam efeitos estocásticos.

Vale ressaltar ainda que, outros aspectos importantes também podem influenciar diretamente no índice energético de radiação UV que chega à superfície terrestre como os fatores atmosféricos e geográficos, por exemplo: latitude, nuvens e névoa, altitude, reflexão de superfície, hora do dia, estação do ano e concentração de ozônio. Ainda assim, além de todos esses fatores, as atividades humanas interferem diretamente no meio, uma vez que com o aumento significativo da poluição ambiental, sabe-se que a espessura da camada de ozônio diminuí, influenciando diretamente num maior índice de penetração da radiação ultravioleta e especificamente a UVB, acarretando dessa maneira numa maior chance de a população sofrer com problemas mais graves advindos desse tipo de RUV.

2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho está baseado num informativo acerca dos riscos que a radiação ultravioleta proveniente do sol pode causar no tecido dos seres humanos, em especial no tecido epitelial, pele. Do mesmo modo que a radiação proveniente da estrela anã amarela pode ser benéfica para o ser humano, como por exemplo na síntese de vitamina D, a radiação que advém do Sol, a depender da exposição que um determinado indivíduo fica exposto faz com que este corre sérios riscos para a sua saúde, uma vez que a toxicidade produz eritemas na pele humana podendo assim causar sérios problemas. Nesse sentido, observa-se que hoje a exposição da pele à luz ultravioleta é um problema que vêm tornando-se cada vez mais crescente no mundo, sendo uma das causas mais comuns para o desenvolvimento de eritemas. Tudo isso pois a expectativa média de vida aumentou implicando diretamente ao aumento da exposição de doses de radiação ultravioleta, trazendo-se malefícios a saúde humana.

3 OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho será realizar uma revisão da literatura acerca da radiação ultravioleta e sua interação com o tecido humano.

Objetivos Específicos

Por outro lado, como objetivos específicos, temos:

1. Realizar um breve histórico acerca da física por trás da radiação ultravioleta e nesse sentido discutir como a radiação ultravioleta varia com múltiplos fatores, dentre estes: elevação do sol, hora do dia, estação do ano, nuvens e névoas, dentre outros;
2. Discutir o que é tecido epitelial, suas características, funções e classificações;
3. Discutir a interação da radiação ultravioleta (UV) sobre o tecido epitelial humano, nesse caso, concentrado na pele;
4. Discutir a equação experimental da Exposição Eritematosa;
5. Explicar o que é índice UV e qual a sua importância.

4 METODOLOGIA

Este trabalho consiste numa análise qualitativa baseada em revisões bibliográficas, ou seja, em trabalhos já existentes de diversos autores e sua sequência cronológica de eventos. Desta forma, percorreu-se livros e trabalhos científicos necessários e que dizem respeito à radiação ultravioleta e seus respectivos efeitos no tecido humano e, a partir de suas leituras, interpretações e comparações foi realizada a crítica acerca do tema proposto. Para tal, foi feita a pesquisa de artigos e livros de forma a criar uma sequência sobre como a física explica a interação da radiação com a matéria, ou seja, como a radiação ultravioleta proveniente de sol atua sobre a pele, discutir a equação da exposição eritematosa e explicar a importância do índice UV e como se proteger da radiação UV.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 Por trás da Física das Radiações

5.1.1 O que é Radiação?

Definição:

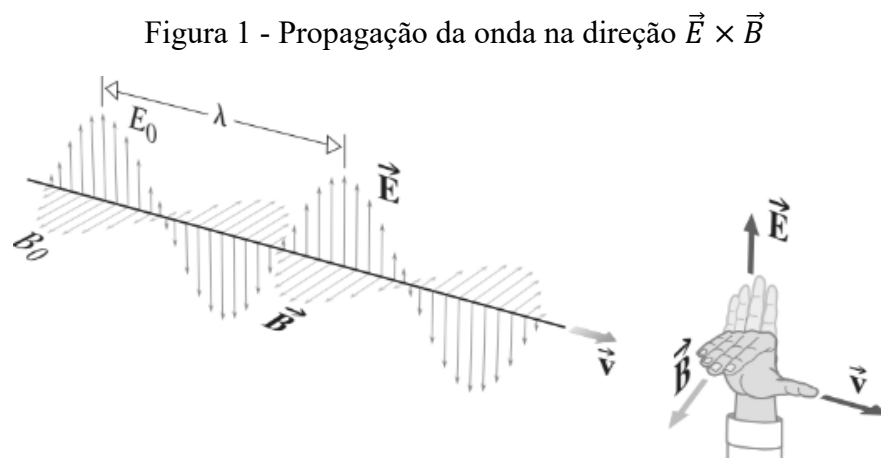
De acordo com os ensinamentos de Emico Okuno, ela define a radiação como energia em trânsito. O que seria uma comparação analogia com relação ao calor, que de forma simples podemos definir como energia térmica em trânsito (OKUNO, 2010).

Quanto a classificação:

Existem basicamente dois tipos de radiação, a corpuscular e a ondulatória. Para este trabalho focaremos nas chamadas radiações ondulatórias que são ondas eletromagnéticas propagando-se e carregando consigo energia.

E ainda, de acordo com a capacidade da radiação de interagir com a matéria, as radiações podem ser tanto ionizantes como não ionizantes. Nesse sentido, analisaremos as radiações ultravioletas, e com isso, estas são classificadas como não ionizantes, ou seja, não são capazes de retirar elétrons das órbitas dos átomos da matéria a qual a radiação está interagindo.

Com essa introdução, temos que as ondas eletromagnéticas são constituídas tanto por campo elétrico, como magnético, e ambos são oscilantes, e estão em fase como mostra a figura 1.

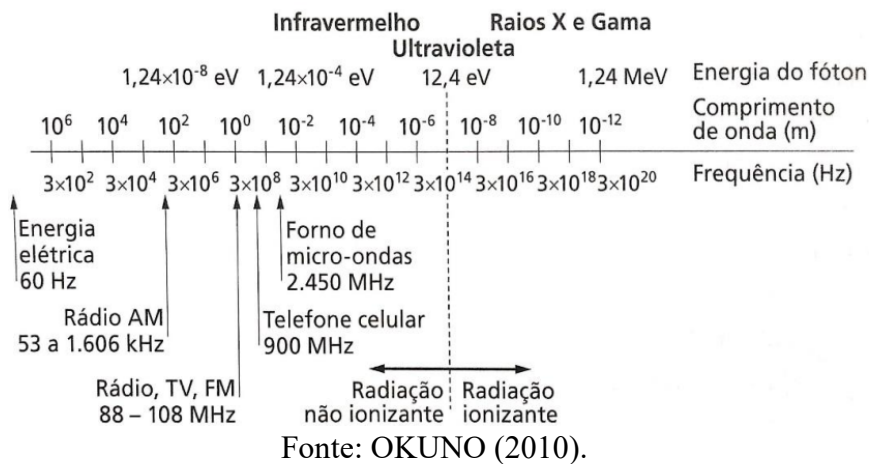


Fonte: HECHT (2016).

Podemos observar, da figura. 1, que, os campos estão perpendiculares entre si e a velocidade \vec{v} , nada mais é do que a velocidade de propagação da luz no vácuo, dado por: $\vec{v} = c = 3.10^8$ m/s.

A depender do comprimento de onda, dado por (λ), ela receberá um nome específico, como por exemplo: ondas de rádio, micro-ondas, radiação infravermelho, luz visível, radiação ultravioleta ou radiação gama. A figura 2. ilustra bem essas diferentes denominações.

Figura 2 - Espectro das ondas eletromagnéticas.



O modelo de energia utilizado para explicar os fenômenos quânticos associados ao calor foi inicialmente demonstrado por Max Planck em 1901, e posteriormente em 1905 para o fóton, no caso da luz, por Albert Einstein. Este mostrou que a energia da radiação eletromagnética de um quantum era inversamente proporcional ao comprimento de onda, obtido pela Eq. (5.1).

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad \text{Eq. (5.1)}$$

Onde h é a constante de Planck e vale $6,63.10^{-34}$ J.s que equivale a $4,14.10^{-15}$ eV.s, c é a velocidade da luz no vácuo, λ é o comprimento de onda dado em m, e ν é a frequência dada em Hz. A equivalência utilizada na constante de Planck foi de: $1 \text{ eV} = 1,602.10^{-19}$ J (OKUNO, 2010).

Por fim, abaixo temos a figura.3 que lista as principais faixas do espectro eletromagnético, com suas respectivas energias, comprimento de onda e frequência. Devemos tomar cuidado, uma vez que entre as radiações eletromagnéticas, suas respectivas energias podem se sobrepôr. E nesse sentido, as respectivas faixas diferentes, de forma geral implica em diferentes tipos de interação. Assim, para este trabalho, iremos nos atentar a faixa da radiação ultravioleta.

Figura 3 - Faixas do espectro eletromagnético.

Radiação eletromagnética	Frequência	Comprimento de onda	Energia do fóton (eV)
raios X e gama	> 3 PHz	< 100 nm	> 12
Ultravioleta UVC	3 PHz – 1,07 PHz	100 nm – 280 nm	12,42 – 4,42
UVB	1,07 PHz – 0,952 PHz	280 nm – 315 nm	4,42 – 3,94
UVA	0,952 PHz – 0,75 PHz	315 nm – 400 nm	3,94 – 3,10
luz visível	0,75 PHz – 0,428 PHz	400 nm – 700 nm	3,10 – 1,77
Infravermelha IVA	385 THz – 214 THz	780 nm – 1,4 μm	1,59 – 0,88
IVB	214 THz – 100 THz	1,4 μm – 3,0 μm	0,88 – 0,414
IVC	100 THz – 300 GHz	3,0 μm – 1,0 mm	0,414 – 1,24×10 ⁻³
radiofrequência	300 GHz – 10 kHz	1 mm – 30 km	muito pequena
micro-onda	300 GHz – 300 MHz	1 mm – 1 m	
frequência extremamente baixa	300 Hz – 0 Hz	10 ⁶ m – → ∞	extremamente pequena

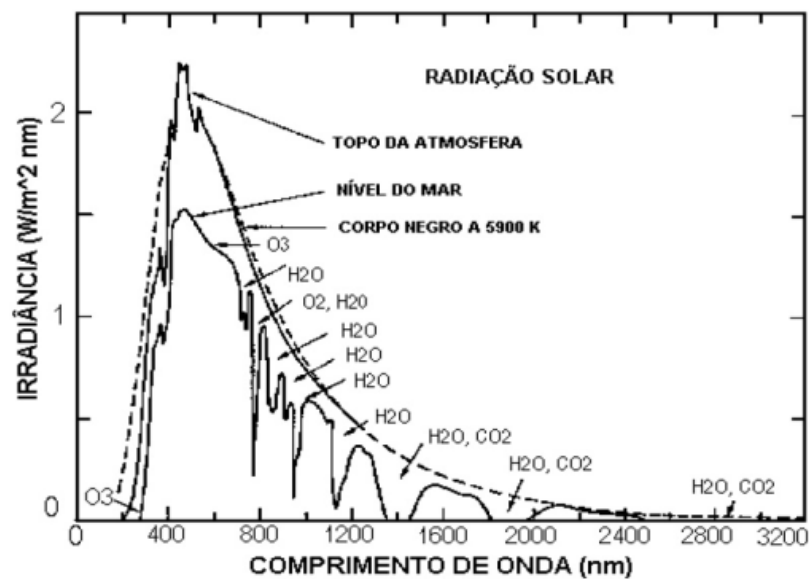
k (quilo) = 10³; M (mega) = 10⁶; G (giga) = 10⁹; T (tera) = 10¹²; P (peta) = 10¹⁵

Fonte: OKUNO (2010).

5.1.2 A Radiação Solar

A principal fonte da energia que entra na nossa atmosfera é proveniente do Sol, o qual está liberando constantemente parte de sua massa por meio de ondas eletromagnética irradiantes, além de partículas com grande quantidade de energia. A estrela próxima a terra comporta-se como um corpo negro ideal, isto é, ela absorve toda a sua energia recebida, nesse sentido há uma relação entre a energia que ela irradia com relação a uma temperatura específica, como ilustra a figura 4. (BARRY, CHORLEY, 2013).

Figura 4 - Espectro da Radiação Solar no topo da atmosfera (curva superior) e no nível do mar (curva inferior) a partir da emissão de um corpo negro.



Fonte: ECHER (2001)

A área da curva representada na figura 4 dá a energia total emitida por um corpo negro e esta é calculada através da relação empírica proposta por Joseph Stefan, em 1879, dada pela equação (5.2).

$$R = \sigma.T^4 \quad \text{Eq. (5.2)}$$

Onde R é a potência irradiada por unidade de área, T a temperatura absoluta dada em Kelvin, e σ é a constante de Stefan, e seu respectivo valor é dado por: $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W/m}^2. \text{ K}^4$ (RALPH, TIPLER, 2014).

A potência emitida pelo sol é em torno de $3,84.10^{26} \text{ W}$, contudo apenas uma fração pequena atinge a terra, uma vez que a energia recebida é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre Terra-Sol.

Medidas feitas por satélites mostram que a energia recebida no topo da atmosfera a qual chega perpendicular a superfície, denomina-se constante solar e desde 1980, indicam um valor aproximado de 1360 W/m^2 , com uma incerteza de $\pm 1\%$. Além disso, podemos observar da figura 4. que há faixas de onda da radiação solar, classificadas como ondas curtas, e ainda radiações infravermelhas, denominadas ondas longas, estas emitidas pela terra, pela atmosfera e também pelo sol. Nesse sentido, temos que em específico para a radiação solar, apenas por volta de 10% são radiações ultravioletas, que apresentam um comprimento de onda no intervalo de 100-400 nm, 40% representa luz visível e aproximadamente 52% são radiações próxima ao infravermelho (BARRY, CHORLEY, 2013).

Para este trabalho, discutiremos mais a fundo acerca da radiação ultravioleta, ou seja, o que é a radiação ultravioleta, suas respectivas classificações e ainda os seus efeitos atenuantes sobre a terra e como ocorre a interação dos raios UV com a matéria e seus efeitos sobre os seres humanos. Por outro lado, não podemos deixar de falar que a radiação solar é fundamental para a manutenção da vida terrestre, principalmente no que tange a luz visível e a radiação próxima ao infravermelho, uma vez que estas mantem o planeta devidamente aquecido e aquela responsável pela fotossíntese, já que as plantas conseguem sintetizar sua energia.

5.1.2.1 Radiação Ultravioleta (UV) e seus efeitos atenuantes

5.1.2.2 A Radiação Ultravioleta e suas classificações

A radiação ultravioleta foi descoberta no final do século 18, por Johann Wilhelm Ritter, onde ele observou que o cloreto de prata se tornava preto rapidamente ao passar de pontos da luz visível do espectro solar para um pouco além da área do violeta, assim esta região ele denominou de ultravioleta. Nesse sentido, com o passar do tempo, percebeu-se que o UV ocupava a porção do comprimento de onda de 100-400 nm. E a partir de estudos mais aprofundados notou-se que a radiação ultravioleta poderia ser classificada em três bandas, conhecido também como faixas, diferentes, sendo estas: UVA, UVB e UVC, como ilustrado acima pela figura 3.

Sintetizando temos:

- **UVA:** Esta radiação ultravioleta apresenta um comprimento de onda variando entre (315 - 400) nm. Ela quase não é absorvida pela camada de ozônio acarretando assim numa maior incidência sobre a superfície terrestre, e sendo fundamental para a síntese de vitamina D no organismo, além de causar danos ao ser humano em relação a longas exposições.
- **UVB:** A radiação UVB, por outro lado, apresenta o comprimento de onda variando entre (280 – 315) nm. Ela é parcialmente absorvida pela camada de ozônio. Nosso estudo será altamente focado nela, uma vez que as longas exposições implicam numa taxa de dose maior por este tipo de radiação UV, acarretando em eritemas mais severos, devido a sua alta energia. Esta radiação é a nossa principal fonte de estudo.
- **UVC:** Já a radiação UVC apresenta o comprimento de onda variando entre (100 – 280) nm. Contudo esta é completamente absorvida pela camada de ozônio. Este tipo de radiação é muito utilizado como esterilizador de materiais médicos e em processos de tratamento de água, uma vez que apresenta propriedades bactericidas.

Assim, observa-se que, a radiação UVA apresenta um comprimento de onda maior que as demais, conseqüentemente seu transporte energético acaba sendo menor e menos danoso ao ser humano, quando analisamos a equação 5.1 e observamos a figura 3. Entretanto, longas exposições podem trazer sérios malefícios ao ser humano, como é o caso de eritemas que podem evoluir e trazer conseqüências indesejáveis a médio e longo prazo. A radiação ultravioleta do tipo A é responsável pelo bronzeamento, que seria um escurecimento transitório da pele, além de ser a responsável pelo fotoenvelhecimento. Assim, quando vamos para o campo da dermatologia médica a radiação UVA pode ser dividida em dois tipos, a saber: UVA-I (400-340) nm e UVA-II (340-315) nm. A

primeira, apresenta uma maior capacidade de penetração no tecido epitelial humano, pele, induzindo assim o fotoenvelhecimento, além de poder trazer mudanças ao DNA, podendo ser altamente nocivo ao ser humano. Já a segunda os danos são mais severos visto que sua energia será maior em decorrência do comprimento de onda ser menor (OKUNO, VILELA, 2005).

Já a radiação UVC está presente na faixa mais energética, e os danos causados por esse tipo de radiação são muito mais severos contudo, é altamente absorvido na atmosfera, principalmente pela camada de ozônio. Não sendo uma preocupação direta para os humanos.

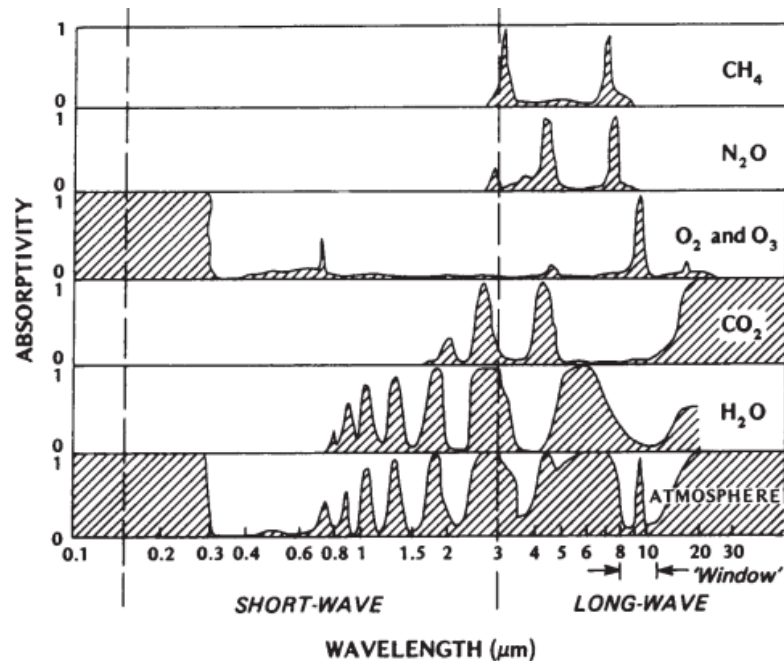
Por fim, a radiação UVB chega à superfície e é danosa ao ser humano, e como ela pode acarretar problemas diretos e a curto prazo como eritemas, e indireto a longo prazo como diferentes cânceres de pele e catarata. Principalmente levando em conta aos grandes períodos de exposição a essa radiação.

Assim sendo, a interação da radiação UV na superfície terrestre e sua interação com os seres humanos depende de alguns fatores, e estes são os efeitos atenuantes. Porém é fato que, o tempo de exposição implica diretamente nos danos que um indivíduo pode sofrer. Deve-se salientar que a radiação ultravioleta deve ser quantificada em termos de irradiância em W/m^2 quando se trata de exposição contínua, já para exposição por tempo limitado trata-se de dose, ou exposição, e sua respectiva unidade será J/m^2 .

5.1.2.3 Efeito Atmosférico

A atmosfera terrestre é composta por diversos elementos gasosos, além de partículas sólidas e massas líquidas sendo fundamentais para a manutenção da vida na Terra, atuando assim como um filtro das radiações provenientes do sol. Desse modo, a energia solar ao interagir com a atmosfera sofre processos de atenuação, difusão e reflexão. A depender das características físico-químicas desses constituintes, a radiação global que chega à superfície poderá ser intensamente atenuada. Como exemplo, temos o vapor d'água (H_2O), que, além de atuar como termorregulador, absorvendo a radiação infravermelha, também é responsável pela formação das nuvens e transporte de calor na atmosfera. O dióxido de carbono (CO_2), assim como o vapor d'água, atua como um eficiente absorvedor de radiação de ondas longas, como é possível observar a figura 5, que ilustra bem a absorção seletiva por parte da atmosfera com relação a radiação proveniente do sol, como também aquele que advém da superfície terrestre, sendo estas as de ondas curtas. Notadamente, o uso generalizado de combustíveis fósseis é responsável pelo incremento nos totais de CO_2 na atmosfera e o conseqüente no desequilíbrio climático global, podendo acarretar em problemas como a diminuição da camada de ozônio e levando ao aumento dos índices de radiação ultravioleta que chegam à superfície terrestre (SANTOS, 2010).

Figura 5 - Absorção seletiva da radiação solar e terrestre por parte da atmosfera.



Fonte: OKE (1978).

O ozônio (O₃) apresenta um importante papel para os seres vivos devido as suas características, além disso, é considerado um poluente, em virtude do seu poder oxidante. No entanto, na camada estratosférica, em torno de 15 a 30 km de altitude, ele absorve a radiação ultravioleta (RUV), compreendida na faixa de (100-315) nm.

O processo de absorção da radiação solar pela atmosfera se dá através da dissociação, vibração e transição rotacional das moléculas. Nesse sentido, a energia absorvida é capaz de alterar tanto as composições físicas como também químicas das moléculas, dentre outras propriedades.

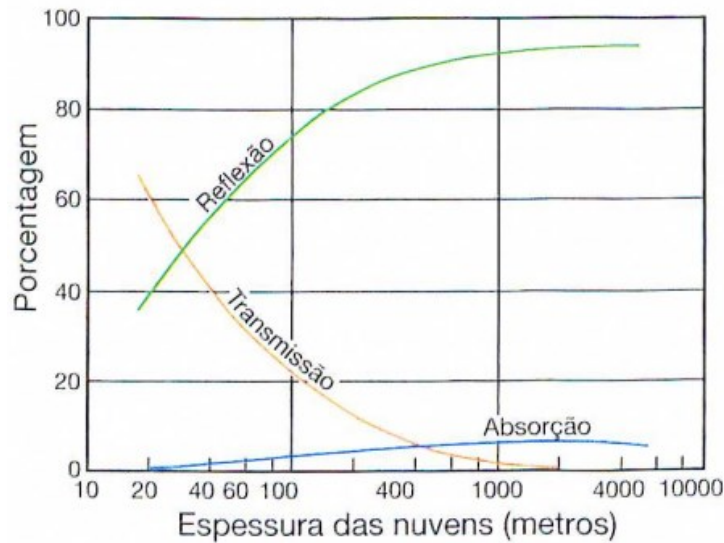
Para o processo de espalhamento, temos notoriamente o espalhamento Rayleigh, onde a radiação solar é obstruída por partículas que estão presentes na atmosfera atuando como um filtro. Temos ainda que, a direção e intensidade do espalhamento dependerão do tamanho da partícula e do comprimento da onda eletromagnético incidente. Quanto menor o comprimento da onda, mais fortemente será espalhado (KIRCHOFF, 1995; ASSUNÇÃO, 2003).

5.1.2.4 Efeito das Nuvens

As nuvens podem apresentar diferentes formas, desde aquelas que apresentam maior espessura vertical, como por exemplo a Cumulonimbus, como também as mais finas, como as Cirrostratus. Além disso, a composição física formadoras das nuvens podem variar desde cristais de gelo até gotículas de água. Nesse sentido, uma cobertura espessa e contínua de nuvens, como é o caso das Cumulonimbus, apresentam uma forma de barreira muito significativa à penetração da radiação.

Assim, a quantidade de radiação que é devidamente refletida pelas nuvens depende da quantidade de cobertura além da sua espessura, sendo muito bem ilustrado na figura 6. Desse modo, a proporção de radiação o qual está incidindo e é devidamente refletida é o que se denomina de albedo, ou também conhecido por coeficiente de reflexão (BARRY, CHORLEY, 2013).

Figura 6 - Porcentagem de reflexão, absorção e transmissão de radiação solar por camada de nuvens de diferentes espessuras.



Fonte: HEWSON, LONGLEY (1944).

Diretamente, temos que o tipo de nuvem afeta o albedo, e que medidas feitas por aviões, mostram que o albedo de uma cobertura total pode variar de 40-50% para Cirrostratus e de 90% para as Cumulonimbus (BARRY, CHORLEY, 2013).

Matematicamente, define-se o albedo da seguinte forma:

$$\alpha = \frac{R_r}{R_i} \quad (\text{Eq. 5.3})$$

Onde, R_r é a radiação refletida, e R_i é a radiação incidente recebida no topo da nuvem.

Ainda, podemos definir a radiação global recebida na superfície em dias nublados, sendo dado por:

$$S = S_0[b + (1 - b) \cdot (1 - c)] \quad (\text{Eq. 5.4})$$

Onde, S_0 é a radiação solar para céus claros, ou seja, sem nuvens. c é a nebulosidade e b é o coeficiente que depende do tipo e da espessura da nuvem. Para se ter uma ideia nos Estados Unidos o valor de b em média é de aproximadamente 0,35 (BARRY, CHORLEY, 2013).

No entanto, devemos nos atentar que em alguns casos, nuvens muito dispersas podem aumentar a refletância fazendo com que os níveis de radiação UV sejam mais altos do que comparado com um céu totalmente claro. Assim, em dias de “mormaço”, ou seja, o sol coberto por nuvens, mas quente e abafado, ocorre de forma proporcional um risco de aumentar a exposição ao sol. Aumentando consideravelmente o risco de acarretar num problema de saúde como por exemplo o surgimento de eritemas (VANICEK, 1999).

5.1.2.5 Efeito da latitude

Com relação a este efeito, temos que diferentes partes da superfície da terra recebem diferentes quantidades de radiação solar. E a fase ao qual o sol se encontra, ou seja, se este está em periélio ou no afélio, influência de forma direta, uma vez que no verão a tendência é de que a radiação seja maior que no inverno. Assim, há também que quanto a latitude está mais perto da região equatorial, maior será o nível de radiação ultravioleta. Além disso, vale destacar que o efeito da latitude implica na duração do dia, o que por ventura, acarreta proporcionalmente na duração de exposição à radiação solar.

5.1.2.6 Efeito da altitude

Tanto o ozônio como a coluna atmosférica, isto é, relacionado as estruturas ligadas a atmosfera, sendo classificadas a grosso modo como: Troposfera que fica numa altitude variando entre 0 e 12 km, Estratosfera entre 16 e 48 km, Mesosfera entre 50 e 85 km e por fim Termosfera entre 85 e 120km. O que se pode observar é que a radiação ultravioleta varia de acordo com a altitude, implicando assim numa quantidade variável de RUV que chega na região da Troposfera. Uma vez que esta está mais ligada à superfície terrestre e que também tende a variar. Amplamente, pode-se dizer que, a cada 1000 m acima do nível do mar, ocorre decréscimo de aproximadamente 1% no conteúdo de ozônio estratosférico levando ao aumento de 6 a 8% de fluxo de RUV. Além disso, ao chegar na região estratosférica observa-se que nela é onde ocorre a máxima concentração de ozônio e veremos mais afundo como isso influencia diretamente na taxa de fluxo de RUV (SANTOS,2010).

5.1.2.7 Altura do Sol

Com relação à altura do sol, temos que a relação entre os raios solares e o plano tangente à superfície da Terra num determinado ponto de observação também afeta de forma proporcional a quantidade de radiação proveniente do Sol. Tal relação é denominada de ângulo zenital. E pode-se observar que quanto maior a altura do sol, mais intenso será a radiação por unidade de área e além disso mais curto será o caminho percorrido pelos raios solares, o que de forma direta acarreta numa diminuição de absorção por parte da atmosfera. Isso implica que o ângulo zenital

varie com relação à latitude, e com as estações do ano. Este fluxo de radiação ultravioleta incidente é inversamente proporcional à distância da linha do Equador (KIRCHOFF, 1995; BARRY, CHORLEY, 2013). Assim, é possível observar que, quanto menor o ângulo zenital do sol, maior será a intensidade da radiação ultravioleta e quanto maior o ângulo zenital, menor a irradiância solar.

5.2 Interação da radiação UV com o Ozônio

5.2.1 A Simples Química do Ozônio

O ozônio apresenta formação natural e é encontrado tanto na faixa da troposfera como na estratosfera, aquele é denominado de mau ozônio, uma vez que é tóxico, trazendo consigo prejuízos à saúde como também danos a vegetação. O ozônio estratosférico se encontra a cerca de 25 km de altitude e nesse sentido apresenta uma grande importância funcional para proteger a Terra dos raios ultravioletas provenientes do Sol, atuando assim como um filtro natural (YNOUE, 2017).

A luz solar que apresenta uma irradiação de comprimento de onda na faixa de 410 nm iremos representar sua energia, $h \cdot \nu$, dada pela expressão (5.1). Assim, temos a seguinte dissociação química:



O oxigênio, por sua vez, combina-se com um oxigênio molecular na presença, geralmente, de N_2 , uma vez que é a molécula mais abundante na atmosfera, e assim, ocorre a formação do ozônio.



O ozônio ao reagir com o óxido de nitrogênio acaba sendo destruído. Assim:



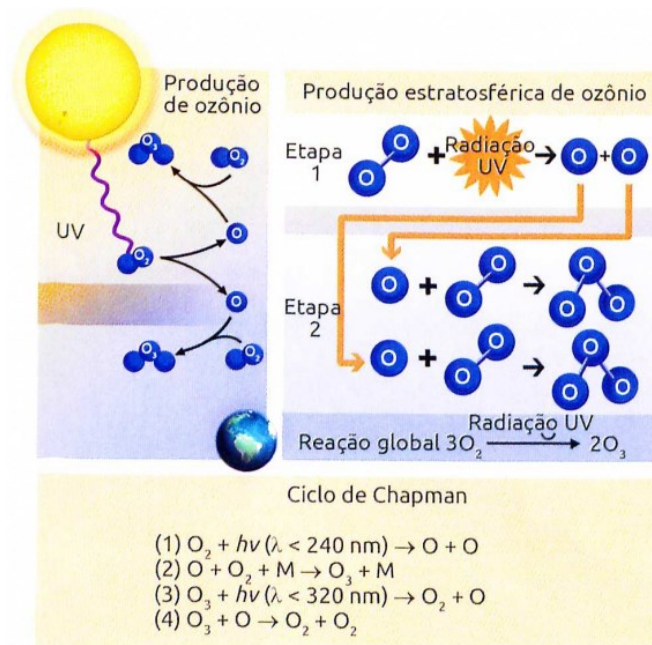
Nesse caso, ocorrendo a radiação solar, o dióxido de nitrogênio (NO_2) se dissocia novamente voltando para a Eq. (5.5) obtendo assim um ciclo. Desse modo, há equilíbrio na formação e no consumo de O_3 .

Para a radiação ultravioleta nos interessa o ozônio na estratosfera, uma vez que é esta camada responsável pela proteção da Terra dos danos causados pela radiação UV (YNOUE, 2017).

Os raios ultravioletas, atingem a superfície terrestre de acordo com o comprimento de onda, isto é, observa-se que a predominância se dá na faixa do UVA e UVB. Sendo estas responsáveis por acarretar sérios danos à saúde humana, que, para este trabalho, focaremos na reação eritematosa que será discutida mais à frente.

O ozônio na estratosfera forma-se naturalmente, num ciclo conhecido por Ciclo de Chapman sendo ilustrado na figura 7. de forma didática.

Figura 7- Produção de ozônio estratosférico, e o ciclo de Chapman.



Fonte: YNOUE (2017).

Da figura podemos observar que o ciclo de Chapman é caracterizado por 4 reações.

A **primeira** reação a radiação ultravioleta proveniente do sol incide sobre a estratosfera, esta apresenta um comprimento de onda na faixa de ao menos 240 nm, podendo ser menor. A partir desse momento, ocorre-se lentamente a dissociação do O_2 . Passa-se então para a **segunda** reação, nesta o oxigênio atômico “O” reage rapidamente com o O_2 na presença de uma terceira molécula (M), esta nada mais é do que o N_2 . E assim, forma-se o Ozônio (O_3). A partir dessa etapa, chega-se a **terceira** reação, o qual o O_3 passa a absorver a radiação com comprimento de onda menores que 320 nm, voltando-se a decompor em oxigênio molecular e atômico, ou seja, O_2 e O. Por fim, na **última** reação podemos observar que o Ozônio ao reagir-se com o oxigênio atômico produz novamente duas moléculas de oxigênio, podendo

assumir assim a reação global de duas formas diferentes como: $3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ O}_3$ ou $2 \text{ O}_3 \rightarrow 3 \text{ O}_2$ (Ynoue, 2017).

5.3 Interação da Radiação UV com a matéria

5.3.1 Um pouco de Anatomia e Fisiologia

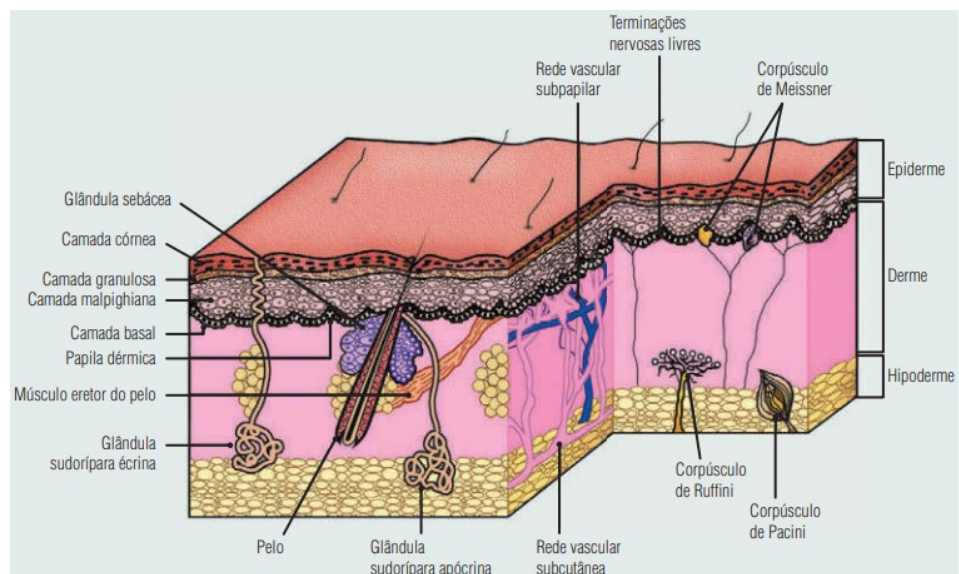
A pele apresenta em média $1,80 \text{ m}^2$, sendo o maior órgão do corpo humano e integrante do sistema tegumentar. Nesse sentido, cada estrutura que compõe a sua formação pode apresentar uma ou mais funções, muitas das quais são fundamentais para a manutenção da vida humana (RIVITTI,2014).

As principais funções são respectivamente:

- Regulação da temperatura corporal;
- Proteção contra agentes infecciosos, desidratação e radiação UV;
- Excreção de componentes da transpiração, como água e sais minerais;
- Síntese de Vitamina D;
- Absorção de certas substâncias, como: hormônios, vitaminas e medicamentos.

As estruturas da pele, como mostra a figura 8, é dividida em três partes, sendo estas a Epiderme, Derme e Hipoderme.

Figura 8- Estrutura da pele.



Fonte: RIVITTI (2014).

A Epiderme, é caracterizada por ser a camada mais superficial, sendo responsável como uma primeira barreira física contra agentes externos. Ela é formada por um epitélio estratificado escamoso queratinizado contendo quatro camadas, a camada basal, espinhosa, granulosa e córnea. As células que compõe a epiderme, podem ser divididas em quatro grupos: as células troncos, as proliferativas, as diferenciadas e as funcionais.

Além disso, possui ainda células dendríticas (melanócitos e células de Langherans) e células neuroendócrinas (células de Merkel).

A camada basal é formada por células germinativas da epiderme e compreendem tanto células tronco como células proliferativas, sendo responsáveis pela renovação das células escamosas da epiderme. Já as células da camada espinhosa são as células em diferenciação, poligonais com núcleos vesiculares apresentando inúmeras junções intercelulares, conhecidas como desmossomos. Por outro lado, os grânulos de querato-hialina são típicos da camada granulosa constituídas por células funcionais, são achatadas e apresentam núcleos de cromatina de alta densidade. Contudo, as células da camada córnea não apresentam núcleo, sendo estas muitas achatadas e além de serem totalmente queratinizadas.

Os melanócitos apresentam uma grande importância, uma vez que são responsáveis pela produção de melanina e ainda pela distribuição desta entre as células da epiderme. Estão situados na camada basal da epiderme. Além disso, são células de citoplasma claro com núcleos centrais hiper cromáticos.

Já as células de Langherans são histiócitos com prolongamentos citoplasmáticos especializados na função de apresentação de antígenos para os linfócitos T, tendo importante papel nos processos de reação de hipersensibilidade cutânea. E, por fim, as células de Merkel são possivelmente células derivadas da crista neural com funções neuroendócrinas (SANTOS,2010).

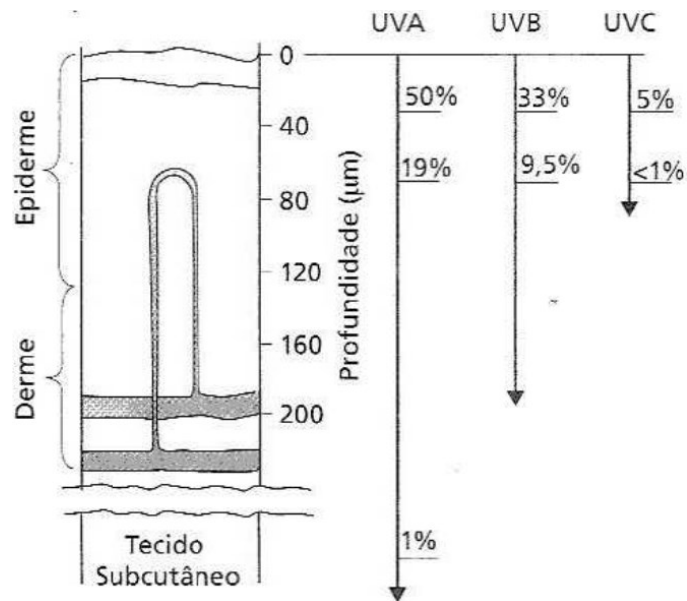
A Derme, por sua vez, é responsável por aferir elasticidade e resistência à pele. Assim sendo, ela é constituída por tecido conjuntivo o qual é rico em colágeno, fibras elásticas e ainda contém células denominadas de fibroblastos além de glóbulos brancos que advém da circulação sanguínea, para que dessa forma colabore com a defesa contra microrganismos.

Por fim, a Hipoderme é a camada mais interna, sendo composta por células denominadas de adipócitos, ou seja, células gordurosas, e estas protegem contra traumas físicos e ainda atua como depósito de calorías.

5.4 Efeitos da Radiação UV nos seres humanos

Nos seres humanos, a interação da radiação ultravioleta com a pele é diversificada, uma vez que depende de qual faixa do UV está sendo analisada. Desse modo, a figura 9. ilustra bem essa distinção para as três faixas do ultravioleta. Da figura, podemos observar que por apresentar frequências mais elevadas, a partir da equação (5.1), a respectiva energia também será elevada. Assim sendo, a penetração na pele acaba sendo menor que para radiações de baixa energia, como ocorre com o infravermelho e a luz visível.

Figura 9 - Porcentagem de penetração da radiação ultravioleta na pele.



Fonte: OKUNO (2010).

Podemos observar que a maior porcentagem de penetração da radiação ultravioleta do tipo A é a que ocorre mais a superfície, na Epiderme, representando cerca de mais ou menos 69%, camadas mais profundas como o caso da Derme e da Hipoderme, representado pelo tecido subcutâneo a penetração acaba sendo, por sua vez, muito menor. Já com relação ao RUVB e RUVVC, a parte que ocorre maior porcentagem de penetração é na Epiderme. Além disso, um fator importante a ser ressaltado é que a capacidade de absorção da radiação UV acaba variando a partir do grau de melanização da pele além da respectiva espessura epidérmica.

É importante destacar que, os melanócitos são estimulados ao receber níveis de radiação UVA e UVB, nesse sentido, a produção de melanina ocorre naturalmente, como se fosse um protetor de pele natural, para que assim, seja possibilitado a neutralização dos efeitos adversos da radiação solar. Logo, a exposição à radiação solar, tanto pode ser benéfica quanto maléfica e um fator importante a ser levado em conta, é a relação do tempo de exposição com a intensidade da radiação ultravioleta.

Assim, para este trabalho, iremos direcionar o estudo para a exposição eritematosa e suas consequências.

5.5 Exposição Eritematosa e sua equação experimental

Antes de entrarmos de fato na exposição eritematosa é importante deixar claro que, um fator importante a se levar em consideração a esta equação experimental é que para este estudo considerou-se pessoas caucasianas, isto é, pessoas de pele clara, uma vez que elas estão mais expostas a este problema e também ao câncer de pele. Para pessoas de pele mais escura o efeito da exposição eritematosa é um pouco diferente, uma vez que a quantidade de melanina presente é maior, retardando assim os respectivos danos colaterais da alta exposição.

A queimadura solar é uma reação a qual ocorre uma inflamação na pele exposta excessivamente à RUV. Nesse sentido, consiste na dilatação dos vasos sanguíneos levando ao aumento do fluxo sanguíneo dos vasos mais superficiais, que desencadeiam processos onde a pele acaba por se tornar mais avermelhada. Nos casos mais intensos, a pele fica dolorida e ocorrem edemas, formação de bolhas e descamações da pele. Após a exposição à RUV, inicia-se um período de latência, de 2 a 4 horas antes do desenvolvimento do eritema. O principal agente desencadeante do eritema é a radiação UVB, uma vez que esse comprimento de onda eletromagnética possui propriedades que lesam as células epidérmicas e o DNA, promovendo a liberação de substâncias vasodilatadoras, porém o UVA também acarreta em danos as células epidérmicas por apresentarem, como visto na figura 9, maior penetrabilidade. Contudo pelo fato de o UVA apresentar um maior comprimento de onda e maior penetração, acaba que por muitas das vezes é ignorado o fato de seus riscos a alta exposição. Assim, pessoas caucasianas acabam sendo as que mais sofrem com a exposição excessiva a radiação ultravioleta, de qualquer natureza, uma vez que a barreira natural, melanina, não está tão presente, acarretando assim a processos inflamatórios severos. A equação experimental, foi obtida a partir de um produto de dados que possam afetar de forma direta com relação a exposição ao eritema. Assim, a exposição eritematosa é definida pela equação (5.8). (HERMAN, CELARIER, 1977).

Equação Experimental da exposição eritematosa:

$$\text{Exp} = \frac{1}{d^2} \int_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} S(\lambda)W(\lambda) d\lambda \int_{\text{tsr}}^{\text{tss}} dt C(\lambda, v(t), \tau)F(\lambda, v(t), \Omega) \quad \text{Eq. (5.8)}$$

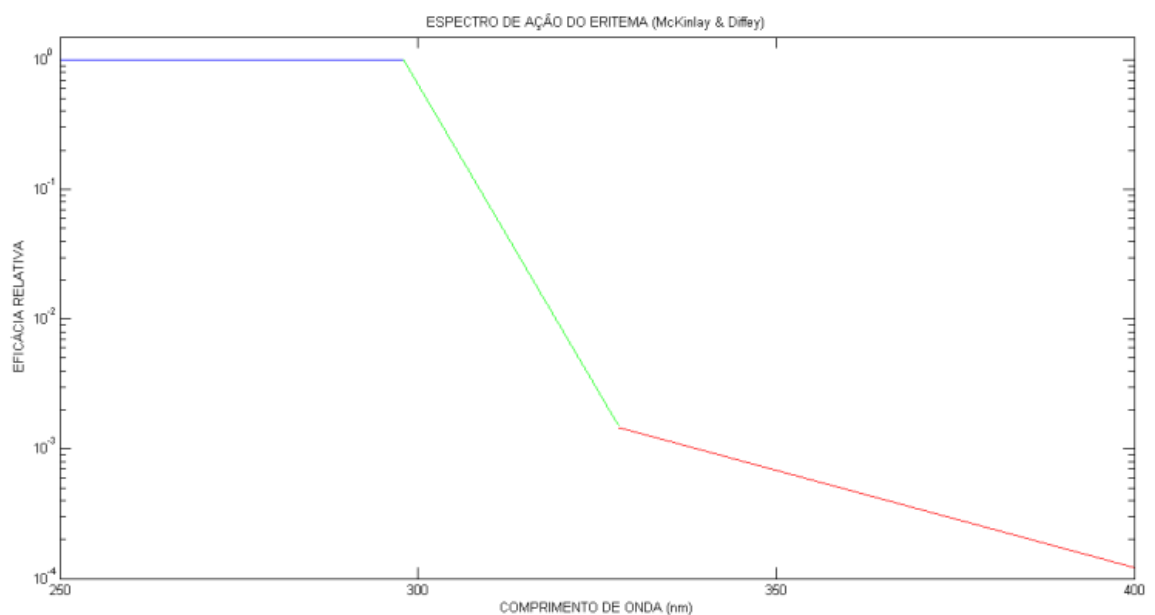
Onde, d é a distância entre a terra e o sol, S é a incidência da irradiação solar no topo da atmosfera, W é o espectro de ação biológica para danos eritematosos, λ é o comprimento de onda medido em nm, C é o fator de atenuação da nuvem, tsr é o tempo do nascer do sol e tss é o tempo do pôr do sol, τ é a espessura óptica da nuvem, v é o ângulo zenital solar, F é a irradiância espectral na superfície sob o céu

claro, normalizado para a unidade solar de irradiância espectral para o topo da atmosfera, e por fim, temos que Ω é a coluna total da camada de ozônio.

5.6 Espectro da ação eritematosa

Nota-se na figura 10, que a radiação na faixa do comprimento de onda de (315-400)nm é muito menos eritemicamente ativa do que a radiação UVB. Por outro lado, sabe-se também que essa apresenta uma penetrabilidade muito superior que a radiação UVB. Assim, em um dia típico de verão, a radiação UVA colabora com cerca de 15-20% de queimadura solar sobre a pele (DIFFEY,1991).

Figura 10 - Referências do Espectro da ação eritematosa adotados pela CIE e IEC.



Fonte adaptado por: ROSSMANN (2012).

5.7 O Índice UV e sua importância

Define-se índice ultravioleta (IUV) como sendo uma escala de determinação da intensidade da radiação ultravioleta o qual atinge a superfície terrestre, sendo de relevante à sensibilidade biológica da pele humana, é descrita a partir de um espectro de ação eritemática. O IUV é calculado a partir do período de máxima elevação solar e sob condições o qual inexistem nuvens (VANICEK, 1999). Assim, podemos dizer que a ponderação da RUV é obtida a partir do espectro de ação eritemática o qual foi formulada por McKinlay e Diffey em 1987 e adotada pela CIE (Commission on Illumination), onde corresponde à resposta biológica da pele humana para a irradiância espectral que pode ser compreendida no intervalo 280 nm a 400 nm, ou seja, nas faixas representadas pelo UVB e UVA. É importante destacar que o IUV é uma grandeza adimensional e é classificado como baixo, moderado, alto, muito alto e extremo como ilustra a figura 10. E de acordo com OMS (Organização Mundial da Saúde), a orientação

para uma exposição segura ao sol requer, além do acompanhamento dos níveis da RUV diários, também a utilização de medidas de proteção como: roupas adequadas, chapéus, óculos escuros, protetores solares, sombrinhas e guarda-sóis. Por fim, é recomendado ainda, e de suma importância, evitar os horários de maior intensidade da radiação solar, ou seja, num período entre as 10 horas até por volta das 16 horas, e ainda permanecer em casa quando o IUV atingir valores extremos. Há uma equação experimental que ilustra bem o cálculo de IUV como será mostrado mais à frente, e para isso vale ressaltar que a determinação do intervalo de variação do IUV é definida a partir da constatação de que a energia acumulada em uma hora de exposição, quando exposta em centijoules por centímetro quadrado varia aproximadamente entre zero e quinze (KIRCHOFF,1995).

É importante destacar que o índice UV é uma escala independentemente do tipo de pele, ou seja, não depende da quantidade de melanina presente no organismo. Assim, não é interessante que o IUV esteja associado ao tempo de exposição solar, pois como bem vimos este depende do tipo de pele humana. Mas de fato, pode-se levar em conta quanto aos riscos danosos que a exposição excessiva pode causar a saúde humana.

Equação experimental do cálculo de IUV:

$$IUV = \frac{1}{\frac{25mW}{m^2}} \int_{280\text{ nm}}^{400\text{ nm}} I(\lambda)w(\lambda) d\lambda \quad \text{Eq. (5.9)}$$

Onde: $I(\lambda)$ é a irradiância dada em $mW/m^2/nm$ e $w(\lambda)$ é a função de ponderação o qual representa a resposta da pele a partir da interação com a radiação UV, sendo uma proposta ao incremento do modelo matemático dado por McKinlay & Diffey. E λ é o comprimento de onda dado em nm.

É importante salientar que o IUV é apresentado como um valor inteiro. E de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), esses valores são agrupados em categorias de intensidades, conforme a tabela 1 abaixo.

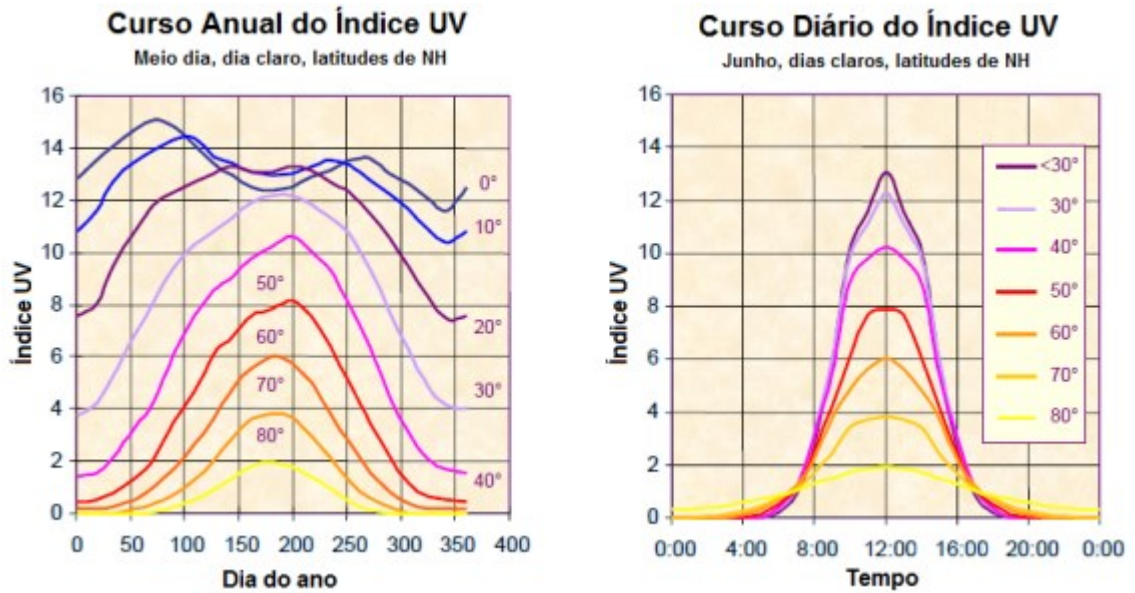
Tabela 1 - Classificação do IUV por cores onde apresenta-se categoria e o valor inteiro.

CATEGORIA	ÍNDICE ULTRAVIOLETA
BAIXO	< 2
MODERADO	3 a 5
ALTO	6 a 7
MUITO ALTO	8 a 10
EXTREMO	> 11

Fonte retirada de: <http://satellite.cptec.inpe.br/uv/> em 29/09/2022.

Nesse sentido, ainda é relevante destacar que o índice ultravioleta apresenta alterações durante os dias e também durante todo o ano com observação em relação as latitudes do planeta terra como ilustrado abaixo a partir da figura 11.

Figura 11 - Curso anual e diário do índice UV em termos de latitude.



Fonte: VANICEK (1999).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os males causados pelo excesso de exposição à luz solar, vem se tornando uma preocupação mundial, uma vez que a cada ano fica mais agravante os inúmeros casos de cânceres de pele ao redor do mundo.

No Brasil, de acordo com o Instituto Nacional de Câncer (INCA), estudo estatístico realizado no dia 06/02/2020, estima-se que para cada ano do triênio 2020, 2021 e 2022 sejam diagnosticados ao menos 176.930 novos casos, sendo 83.770 em homens e 93.160 em mulheres. Isso equivale dizer que estes valores correspondem a um risco estimado de 80,12 para cada 100 mil homens e 86,65 para cada 100 mil mulheres. (INCA,2019)

De fato, tais dados fornecidos pelo INCA é preocupante, mas há uma agravante nessa história que poucos contam, a exposição exagerada que leva a casos graves de eritemas, isto é, a inflamação por queimaduras solar. Tal inflamação é responsável pela resposta cutânea aguda mais conspícua e bem reconhecida a radiação UV. Uma vez que, a inflamação leva a sintomas como vermelhidão, calor local, dor e tumefação. Nesse sentido, é importante destacar que, as lesões cutâneas provenientes da radiação solar, dependem basicamente de três fatores diretos, sendo estes, a intensidade da radiação, o tipo de pele e a duração de exposição.

Quando se trata da intensidade da radiação, podemos destacar os três tipos principais de radiação ultravioleta, o UVA, UVB e UVC. O UVC pouco importa para nós, uma vez que a camada de ozônio terrestre consegue filtrá-lo por completo, o maior problema se baseia no UVA e UVB, contudo o UVA, apenas uma pequena porcentagem é de importância para causas de eritemas, nesse sentido, resta para nós a faixa do UVB, sendo a principal responsável para a causa de eritemas, uma vez que apresenta uma energia de acordo com (OKUNO, 2010), apresenta-se na faixa de 3,9 a 4,4 eV. Desse modo, a ação do ultravioleta ao interagir sobre as células epidérmicas ocorre diretamente sobre o DNA, sendo absorvida assim pelas pirimidinas, acarretando a quebra das cadeias do DNA.

Com relação ao tipo de pele, pessoas de peles brancas apresentam facilidades para se queimar, mesmo com baixa dose de radiação, nesse sentido, sempre se queimam facilmente, são muito sensíveis a luz solar e praticamente quase não se bronzeiam. Por outro lado, pessoas com tendência a ter peles mais escuras, costumam se queimar pouco ou quase nunca, conseguem apresentar um bronzeado e são minimamente sensíveis a luz solar. Nesse sentido, é evidente que a população branca tende a sofrer mais com a inflamação da pele.

Por fim, a duração da exposição é um fator contribuinte, uma vez que se pode afirmar que a produção de eritemas é diretamente proporcional a duração de exposição, assim, significa que, quanto maior a exposição solar, maior será a intensidade de dose da radiação ultravioleta absorvida pelo indivíduo, implicando numa maior inflamação cutânea. Assim sendo, a exposição eritematosa pode ser discutida com base na equação (5.8), cada termo nela presente, influência diretamente com o quão o eritema irá ser maléfico, as diversas variáveis levadas em conta correspondem a medidas experimentais e influenciam diretamente no cálculo da exposição.

A partir da equação de exposição eritematosa dada pela equação (5.8), temos que a distância (d), entre a terra e o sol, os horários de nascer do sol e pôr do sol, além da dependência da

energia solar com o ângulo zenital no tempo, dependem da latitude e da época do ano, como discutido no tópico 5.1.2.1 ligado aos fatores atenuantes em relação a radiação ultravioleta.

Para a **variável $W(\lambda)$** : Esta, está relacionada ao modelo proposto por McKinley e Diffey, em 1987, a função de ponderação utilizada para aproximar a sensibilidade é diretamente dependente do comprimento de onda da pele caucasiana à RUVB, responsável está pela produção de eritemas sobre as células epiteliais. Sendo importante destacar que a irradiação solar extraterrestre o qual incide sobre o topo da atmosfera, $S(\lambda)$, considera-se que está a uma distância de 1 U.A (Unidade Astronômica) do Sol, e foi medido ao longo do intervalo de comprimento de (298 – 328) nm. Tal modelo foi adotado como padrão pela CIE. Abaixo podemos observar a dependência do $W(\lambda)$ com o comprimento de onda em nm, assim:

$$W(\lambda) = \begin{cases} 1, & \text{se } \lambda < 298 \\ 10^{-0.094(\lambda-298)}, & \text{se } 298 \leq \lambda < 328 \\ 10^{-0.015(\lambda-139)}, & \text{se } 328 \leq \lambda \end{cases} \quad \text{Eq. (6.0)}$$

A **função $F(\lambda, \mathbf{v}(\mathbf{t}), \Omega)$** : Esta é a irradiância espectral na superfície sob o céu claro, normalizado para a unidade solar de irradiância espectral para o topo da atmosfera. Tal valor é calculado com base numa tabela de soluções o qual estão baseadas em soluções de equações de transferência radiativa, usadas para a recuperação de ozônio. Por fim temos que o produto entre F e S nos garante a irradiância espectral global incidente real sob os céus que não apresentam nuvens.

E por último, para o **fator $C(\lambda, \mathbf{v}(\mathbf{t}), \tau)$** temos que é obtido em duas etapas:

Primeira etapa: Com 380 nm dados estes tirados do satélite meteorológico Nimbus-7 ou 360 nm dos satélites Adeos e EarthProbe, além de ângulos solares e de visão, altura do terreno e albedos da superfície climatológica como ensina Herman e Celarier. Além disso, são usados para derivar um modelo de espessura óptica de nuvem a partir de tabelas de soluções da equação de transferência radiativa nestes comprimentos de onda.

Segunda etapa: Na segunda etapa, calcula-se a espessura óptica a partir da atenuação da irradiância global devido a um modelo de nuvem uniforme.

Em ambas as etapas, a nuvem é modelada como uma camada homogênea a partir da teoria de dispersão de mie, onde as partículas são esféricas e homogêneas apresentando um raio próximo ao comprimento de onda estudado, e localizada entre (500-350) mbar. E a função de fase de espalhamento, o qual permite estimar a fração da radiância incidente que foi espalhada para uma determinada orientação é dada pelo modelo C-1 de Deirmendjian (Deirmendjian, 1969).

Assim, da equação de exposição, temos que a unidade de medida de S/d^2 é dado por $nW.m^{-2}.nm^{-1}$, as variáveis $F(\lambda, \mathbf{v}(\mathbf{t}), \Omega)$ e $C(\lambda, \mathbf{v}(\mathbf{t}), \tau)$, são adimensionais.

Já para $W(\lambda)$ é comum observar em literaturas e artigos como sendo adimensional, contudo, para este trabalho, como estamos interessado na resposta biológica à radiação

então iremos expressar $W(\lambda)$ como sendo dimensional e assim as unidades relacionam o dano biológico à energia incidente assim, dando as unidades de exposição como sendo BDm^{-2} , onde tal unidade é representado pelos danos biológicos por unidade de área.

Além disso, a normalização do espectro de ação dada por McKinley e Diffey (CIE) para o eritema é escolhido para que no fim a unidade seja equivalente a 298 nm. Visto que a normalização de $W(\lambda)$ é arbitrário, assim as unidades de exposição também o serão. Tais valores calculados encontram-se em geral na faixa de alcance entre $0-10^4$ embora que para valores acima de 8000 ocorrem em altitudes altas, nos trópicos e subtropicais. A mediana do valor de exposição na latitude subsolar geralmente fica entre 6000-8000.

Assim como é importante discutir a equação da exposição eritematosa, é válido destacar a respeito do índice ultravioleta e seu respectivo cálculo, uma vez que é a partir dele que conseguimos estimar doses diárias de radiação UV a partir do tempo de exposição como será mostrado.

O índice ultravioleta é considerado uma importante padronização da irradiância eritemica, uma vez que é uma medida da intensidade da radiação UV o qual é relevante aos efeitos nas células epidérmicas. O índice é definido por uma escala numérica, como ilustrado pela Tabela 1., nesse sentido, os valores presentes nessa escala podem ser obtidos a partir da equação 5.7, o qual o fator $w(\lambda)$ é equivalente a variável $W(\lambda)$ discutido acerca da exposição eritematosa, o qual consiste no modelo proposto por McKinlay e Diffey. Além disso, podemos observar que 1 IUV equivale a 25 mW/m^2 . Fato este acarreta na adimensionalidade do índice ultravioleta. Contudo, assim como na equação experimental da exposição eritematosa, há certas variáveis que dependem das condições geográficas e atmosféricas, com o índice ultravioleta não é diferente, uma vez que a concentração de ozônio, a posição geográfica, a respectiva altitude da superfície, a hora do dia, a estação do ano, assim como níveis de nuvens e aerossóis, influencia diretamente no valor do IUV.

Por fim, sugiro uma adaptação na equação da exposição eritematosa, incluindo o termo IUV, com as respectivas variáveis, seja geográfica ou atmosférica. Abaixo faço uma rápida demonstração.

1. A exposição eritematosa é dada por:

$$\text{Exp} = \frac{1}{d^2} \int_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} S(\lambda)W(\lambda) d\lambda \int_{t_{sr}}^{t_{ss}} dt C(\lambda, v(t), \tau)F(\lambda, v(t), \Omega) \quad \text{Eq (6.1)}$$

2. O IUV é dado por:

$$\text{IUV} = \frac{1}{\frac{25 \text{ mW}}{\text{m}^2}} \int_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} I(\lambda)w(\lambda) d\lambda \quad \text{Eq. (6.2)}$$

3. Considerando que $I(\lambda)w(\lambda) = S(\lambda)W(\lambda)$, então substituindo 2. em 1., temos:

$$Exp = \frac{25.IUV}{d^2} \cdot \int_{tsr}^{tss} C(\lambda, v(t), \tau) F(\lambda, v(t), \Omega) dt \quad \text{Eq. (6.3)}$$

Tornando-se assim fácil a visualização do que seria a exposição eritematosa em termos de IUV.

Com relação a dose mencionada anteriormente, podemos dizer que ela é estimada a partir do tempo de duração a exposição à radiação ultravioleta, e que nesse caso, uma observação a ser destacada é que a Exposição Eritematosa nada mais seria que a dose atribuída por esta exposição num determinado intervalo de tempo.

Contudo, é importante mencionar que com altos índices de ultravioleta atingindo a superfície da terra, faz-se necessário pensar em proteção radiológica, uma vez que são evidentes os danos causados a curto e longo prazo.

Proteção para a pele: Através de fotoprotetores.

Os fotoprotetores faz com que os seres vivos recuperem os danos moleculares causados pela radiação ultravioleta proveniente do sol. Assim sendo, faz-se com que ocorra a prevenção de danos diretos ao DNA e minimizando por fim os danos indiretos ao DNA os quais são causados por estresse oxidativo, como ensina Kullavanijaya e Henry.

Proteção para os olhos: Através de Óculos de Sol e Bonés.

Principalmente para os óculos de sol, este podem variar de acordo com o nível de luminosidade solar como ilustra a tabela 2. E os respectivos graus de proteção devem estar expostos pelos fabricantes, podendo variar de 0 a 4, dependendo da classificação.

Tabela 2 - Grau de proteção para lentes oculares.

Grau	Utilização
0	Conforto, estética
1	Luminosidade solar fraca
2	Luminosidade solar média
3	Luminosidade solar forte
4	Luminosidade solar excepcional (não recomendada para conduzir)

Fonte retirada de: <http://satelite.cptec.inpe.br/uv/> em 29/09/2022).

7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse sentido, é possível concluir que, a partir de todo o estudo com base em artigos científicos e livros de diversas autorias, listados nas referências chegou-se a conclusão de que se faz necessário levar este conhecimento ao público, uma vez que eritemas são fáceis de serem produzidos, principalmente em pessoas que apresentam tecidos epiteliais com baixa produção de melanina. Nesse sentido, considero, a partir das análises presentes neste trabalho de conclusão de curso, que eritemas são prejudiciais à saúde, visto que a incidência de surgimento de cânceres de pele ao longo prazo, além dos fatores genéticos determinantes para este malefício, a alta exposição eritematosa, faz com que o indivíduo receba altas doses de radiação ultravioleta, principalmente a do tipo B, facilitando assim, problemas agudos e conseqüentemente a longo prazo, crônicos. Por isso, é importante que se faça utilização de meios midiáticos, bem como folhetos informativos, para apresentar o quão maléfico uma grande exposição ao sol pode se tornar.

É importante ainda destacar, que hoje, na era da informação, o uso de redes sociais pode ser muito benéfico para manter a população informada dos riscos que uma simples exposição ao sol pode ocasionar. Além é claro de incentivar o público de forma geral a utilização de fotoprotetores, ou seja, o bom e velho conhecido, protetor solar, ele é um dos principais responsáveis para bloquear a radiação ultravioleta de todos os tipos evitando a vermelhidão e conseqüentemente a queimadura da pele, ou seja, as reações agudas clássicas, além de diminuir a probabilidade de que a longo prazo o indivíduo venha a desenvolver problemas graves como o câncer de pele. Além de outras medidas, podemos ainda destacar o boné e o óculos de sol, ambos responsáveis principalmente para proteger os olhos e evitar com que a alta exposição a luz solar cause prejuízos a longo prazo como o caso da catarata.

Conclui-se que neste trabalho obtivemos sucesso ao trazer ao público e ao meio científico um breve histórico da radiação ultravioleta, além de informativos sobre a alta exposição eritematosa e suas conseqüências, bem como o índice ultravioleta e sua importância e ainda a importância de discutir os meios de prevenção da radiação proveniente da estrela mais próxima a Terra.

REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSUNÇÃO, Hildeu Ferreira Da . **MODELO PARAMÉTRICO PARA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA**. Orientador: João Francisco Escobedo. 2003. 168 p. Dissertação (Doutorado) - Unesp, Botucatu, São Paulo, 2003.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9. ed. Abingdon: Bookman, 2012. 528 p. ISBN 978-8565837101.

DEIRMENDJIAN, D. **Electromagnetic Scattering On Spherical Polydispersions**. New York, NY: Elsevier Scientific Publishing, 1969. v. 290.

DIFFEY, B. L. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. **Solar ultraviolet radiation effects on biological systems**, IOP Publishing Ltd, v. 36, ed. 3, 1991.

DSA UV - O que é índice ultravioleta? Instituto Nacional de pesquisas espaciais - INPE, 2010. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/uv/>. Acesso em: 26 dez. 2022.

ECHER, E; SOUZA, M. P.; SCHUCH, N. J. A Lei de Beer Aplicada na Atmosfera Terrestre. **A Lei de Beer Aplicada na Atmosfera Terrestre**, Revista Brasileira de Ensino de Física, ano 2001, v. 23, ed. 3, 2001.

ERYTHEMAL Exposure Data Product. 2005? Disponível em: <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/media/docs/erynotes.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2022.
HECHT, Eugene. **Optics**. 5. ed. Harlow, England: Pearson, 2016. 728 p. ISBN 1292096934.

HERMAN, J. R. Herman; CELARIER, E. A. Earth surface reflectivity climatology at 340–380 nm from TOMS data. **Earth surface reflectivity climatology at 340–380 nm from TOMS data**, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, v. 102, p. 28003 - 28011, 1997.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Estimativa 2020 : Incidência de câncer no Brasil** / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. – Rio de Janeiro : INCA, 2019.

KIRCHOFF, V. W. J. H. – 1995 - **Ozônio e Radiação UV-B**, 1. ed. São José dos Campos:Transtec Editorial, 1995. 149p.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. Abingdon, England: Routledge, 1988. 464 p. ISBN 9780415043199.

OKUNO, Emico; VILELA, Maria Aparecida Constantino. **Radiação Ultravioleta: Características e Efeitos**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005. 78 p. ISBN 978-85-8832-531-9.

OKUNO, Emico; YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. **Física das Radiações**. 9. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 528 p. ISBN 978-85-7975-005-2.

RALPH, A.; TIPLER, Paul A. **Física Moderna**. 6. ed. Nova York: LTC, 2014. 500 p. ISBN 978-85-216-2688-6.

RIVITTI, Evandro A. **Manual de Dermatologia Clínica de Sampaio e Rivitti**. 1. ed. Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 2014. 748 p. ISBN 978-85-3670-235-3.

ROSSMANN, Alexandre Alberto Cardoso. **Desenvolvimento de um Protótipo para Medição do Índice Ultravioleta na Superfície Terrestre**. Orientador: Liliane Ventura. 2012. 92 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2012.

SANTOS, João Correia Dos. **RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA: ESTUDO DOS ÍNDICES DE RADIAÇÃO, CONHECIMENTO E PRÁTICA DE PREVENÇÃO A EXPOSIÇÃO NA REGIÃO ILHÉUS/ITABUNA-BAHIA**. Orientador: Fermin Garcia Velasco. 2010. 174 p. Dissertação (Mestrado) - UESC, Ilhéus, Bahia, 2010.

VANICEK, K et al., **UV-INDEX for the public**. Brussels: COST -713, 1999. 26p.

WENDELL, H.; LONGLEY, R. **Meteorology: Theoretical And Applied**. 2. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 1944. 492 p. ISBN 1406736872.

WHO, **“Ultraviolet Radiation, Environmental Health Criteria 160”**, World Health Organization, Geneva, 1994, 352 p.

YNOUE, Rita Yuri; REBOITA, Michelle S.; AMBRIZZI, Tércio; SILVA, Gyrlene A. M. da. **Meteorologia: noções básicas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 184 p. ISBN 978-85-7975-263-6.

