

AS CORES DO CÉU

THE COLORS OF THE SKY

Jornandes Jesús Correia

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB; jornandes.correia@uesb.edu.br

Uma fração da radiação emitida pelo Sol atinge a atmosfera terrestre e dá origem, de forma direta ou indireta, a vários fenômenos de natureza térmica, óptica, elétrica, magnética e acústica. O aquecimento da atmosfera, o arco-íris, as auroras, os halos e as coroas solar e lunar, o brilho e a variedade das cores do céu são apenas alguns dentre uma infinidade de meteoros que têm seus fundamentos teóricos embasados por espalhamento de radiação pelos sistemas que formam a atmosfera terrestre. Este artigo visa analisar parte dos efeitos de natureza óptica que ocorrem na atmosfera terrestre desde o nascer até o por do Sol. Um destes efeitos analisados é sobre a cor do céu. Se a cor da atmosfera estivesse condicionada ao espalhamento Rayleigh, o céu deveria ser violeta; se a percepção de uma cor dependesse apenas do máximo da curva de sensibilidade espectral relativa para a visão humana, o céu deveria ser verde; se a cor emitida pela atmosfera estivesse associada ao máximo do espectro de emissão do Sol avaliado base da atmosfera terrestre, o céu deveria ser anil. Logo, conclui-se que o azul do céu é consequente de uma superposição de efeitos não apenas físicos, mas também fisiológicos.

Palavras-chave: Cores do Céu. Espalhamento Rayleigh. Espalhamento Mie.

A fraction of the radiation emitted by the Sun reaches the Earth's atmosphere and gives rise, directly or indirectly, to various phenomena of thermal, optical, electrical, magnetic and acoustic nature. The warming of the atmosphere, the rainbow, the auroras, the halos and the solar and lunar coronas, the brightness and the variety of colors in the sky are just some of the infinity of meteors that have their theoretical foundations based on the scattering of radiation by the systems that make up the Earth's atmosphere. This article aims to analyze part of the optical effects that occur in the Earth's atmosphere from sunrise to sunset. One of these effects analyzed is on the color of the sky. If the color of the atmosphere were conditioned by Rayleigh scattering, the sky would be violet; if the perception of a color depended only on the maximum of the relative spectral sensitivity curve for human vision, the sky should be green; if the color emitted by the atmosphere was associated with the maximum of the emission spectrum of the Sun evaluated based on the Earth's atmosphere, the sky should be indigo. Therefore, it is concluded that the blue of the sky is the result of a superposition of not only physical, but also physiological effects.

Keywords: Colors of the Sky. Rayleigh Scattering. Mie Scattering.

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar, à medida que atravessa a atmosfera terrestre, vai sendo atenuada pela Absorção Seletiva e por processos de Espalhamentos. A Absorção pelas moléculas constituintes da atmosfera da radiação da parte visível do espectro solar é praticamente desprezível. O Espalhamento espectro visível da radiação é significativo e de natureza elástica. Isto é, a radiação não provoca alteração na estrutura interna das moléculas constituintes da atmosfera. Neste sentido, à medida que a radiação vai penetrando na atmosfera, a frequência da radiação incidente não sofre alteração.

Essa radiação, ao ser espalhada pela atmosfera terrestre, dá origem a uma série de fotometeoros de diferentes cores, cujas explicações se dão por meio de regimes distintos de espalhamentos. A luz do Sol espalha todas as cores do espectro visível na atmosfera terrestre, porém em quantidades distintas. A cor azul do céu não é a única cor presente na atmosfera mas é a cor predominante em relação às demais. O percentual do azul, segundo Bohren & Fraser (1985, p. 268), é em torno de 40% em relação ao total das cores visíveis pelo olho humano.

Ao fazer uma pesquisa superficial nas redes sociais sobre o que se tem publicado sobre “as cores do céu”, encontra-se poucos artigos de cunho didático-pedagógico sobre esta temática, além de identificar nas publicações uma gama de termos distintos considerados como sinônimos, a exemplo de dispersão, espalhamento, interferência, refração, difração... Essa suposta sinonímia pode dificultar a compreensão

dos conteúdos acerca dos diversos fotometeoros. Vale a pena observar que apenas os termos “Absorção” e “Espalhamento” seriam suficientes para embasar a discussão acerca desta temática.

Destaca-se as abordagens de algumas publicações nesta temática. Os “livros Multiple Light Scattering” (van de HULST, 1980, v. 1 e 2) apresentam a teoria geral sobre o espalhamento da radiação. O livro “Light Scattering by Small Particles” (van de HULST, 1981) é um tratado sobre o espalhamento da luz. O livro “Physics Atmospheric” (IRIBARNE & CHO, 1980) apresenta a teoria geral sobre as ciências atmosféricas. O livro “Absorption and Emission by Atmospheric Gases” (McCARTNEY, 1983) apresenta a teoria geral sobre a absorção e a emissão da radiação solar pelas moléculas da atmosfera. O livro “An Introduction to Solar Radiation” (IGBAL, 1983) discute sobre a quantidade da radiação solar incidente no globo terrestre. O livro “Radiative Processes in Meteorology and Climatology” (PALTRIDGE & PLATT, 1976) tem por objetivo apresentar a teoria geral sobre os processos que envolvem a radiação na atmosfera terrestre. O livro Atmosferas Planetárias (GOODY & WALKER, 1982) aborda os efeitos da radiação solar na atmosfera terrestre. O livro “Arco-Íris, Flocos de Neve e Quarks” (BAEYER, 1994) visa explicar uma gama de fenômenos atmosféricos consequentes da incidência da radiação solar sobre a Terra.

Sobre as cores do céu, Rocha et al (2010) explicam por meio do Espalhamento Rayleigh, o motivo pelo qual se faz uso de um tratamento clássico para justificar o azul do céu. Kerr & Xavier (2006) fazem uma abordagem sobre as propriedades ópticas dos aerossóis. O texto “Por que o céu é azul?” (SANTOS, Brasil Escola) embora não tenha uma proposta didático-acadêmica, afirma que o azul do céu é devido ao “Espalhamento de Rayleigh”. A matéria “Porque o céu é azul?” (CIÊNCIA E SAÚDE, g1) apresenta uma explanação muito interessante sobre o Efeito Tyndall aplicada às cores do céu. O material didático “Por que o céu é azul?” (TAKAHASHI et al, 2019), afirma que as cores do céu, do alvorecer ao ocaso, se devem ao espalhamento Rayleigh e também explica porque não enxergamos o céu na cor violeta. O artigo “Porque é o céu azul?” (FAVA, 1985) aborda sobre o azul do céu, associando-o a um efeito eletromagnético, por meio da ressonância entre o campo elétrico da radiação incidente e o campo elétrico das moléculas da atmosfera, e os efeitos decorrentes à remissão da radiação incidente, que o autor denomina por “espalhamento da radiação”.

Um leigo que fizer uma leitura desse conjunto de publicações adquirirá uma boa ideia sobre a teoria dos espalhamentos da radiação, de modo a facilitar a compreensão sobre a teoria dos regimes de espalhamento que ocorrem na atmosfera terrestre. No artigo Colors of the sky (BOHREN & FRASER, 1985), os autores consideraram uma audácia publicar um artigo sobre as cores do céu em pleno 1985, e ainda afirmaram que àquela época já havia sido publicado tudo sobre as cores do céu. Mas, mesmo assim, eles se propuseram a dar uma melhor explicação. Hoje ainda se percebe que essa temática ainda merece uma explicação mais didática. Neste artigo a proposta é apresentar uma explicação sobre o resultado de fenômenos físicos e fisiológicos que culminam na percepção do azul do céu, e o quantitativo do azul em relação às demais cores do espectro visível, e questiona se o céu não é, de fato, violeta?

O espalhamento da luz pelos elementos constituintes da atmosfera, na faixa do espectro visível, está estruturado pelas teorias de Rayleigh e de Mie. Cada um desses regimes, para um mesmo tipo de radiação incidente, ocorre em sistemas espalhantes distintos, cujas caracterizações se dão por meio de uma grandeza denominada “parâmetro de tamanho”.

2. REGIMES DE ESPALHAMENTO

Visando identificar o regime de espalhamento, devido à interação da radiação luminosa com os elementos constituintes da atmosfera terrestre, definiu-se a seguinte relação matemática para o parâmetro de tamanho x (van de HULST, 1981, v. 2, p. 311):

$$x = 2\pi r / \lambda = 2\pi r / \lambda$$

Em que:

r é o raio do sistema (partícula ou molécula) que espalha a radiação luminosa;

λ é o comprimento de onda da radiação luminosa incidente;

x é o parâmetro de tamanho.

Quando o valor do parâmetro for da ordem de grandeza de uma unidade, a dispersão da radiação será governada pela Teoria do Espalhamento Rayleigh. ou ainda, quando uma radiação incidente fornecer valores de parâmetros de tamanhos de mesma ordem, tanto para as moléculas quanto para as partículas do meio, esses parâmetros poderão ser modelados pela mesma teoria do tipo Rayleigh. Caso o parâmetro de tamanho das partículas de um meio for muito superior aos das moléculas desse mesmo meio, o modelo do espalhamento Rayleigh se torna inadequado e ineficiente. A literatura científica recomenda que Teoria Rayleigh não deva ser aplicada quando “ x ” for de uma ordem de grandeza maior que 1. O material didático da USP (Apostila da disciplina Meteorologia Física II, p. 16) recomenda que o modelo do Espalhamento Rayleigh seja aplicado quando o raio do sistema espalhante for da ordem de 1/10 do tamanho do comprimento de onda da radiação incidente. Quando o raio da partícula for maior que 1/10 do tamanho do comprimento de onda da radiação incidente, nesse caso, deve-se utilizar da Teoria do Espalhamento Mie. Com isso, para o espalhamento da luz visível, a teoria Rayleigh se aplica para moléculas da atmosfera, enquanto que a teoria Mie se aplica para os aerossóis presentes nessa mesma atmosfera.

A gama de cores do espectro visível, tanto na alvorada quanto no alvorecer, que se manifestam proeminentemente em virtude dos aerossóis presentes na atmosfera, é explicada pela Teoria do Espalhamento Mie, após a luz ter sido espalhada pelas moléculas, após percorrer um caminho óptico mais extenso em relação ao zênite.

3. AS CORES DO CÉU

Um esplendor de cores pode ser observado no céu, mesmo em dias normais. Próximo ao meio-dia o céu é mais azul enquanto que as nuvens, em sua maioria, são brancas. Para um observador atento, outras tonalidades de cores podem ser notadas nas nuvens, mesmo em dias claros. Destaca-se que o branco é mais proeminente no topo das nuvens, enquanto que na sua base verifica-se a manifestação de cores escuras. Pode-se observar também que as nuvens no céu noturno de cidades bem iluminadas ficam com a tonalidade das luzes que iluminam essas cidades.

O céu, por sua vez, apresenta um espectro de cores cujas tonalidades e intensidades se modificam desde a alvorada até o alvorecer. A tonalidade da cor do céu depende do horário da observação. As cores de maior frequência, a exemplo do azul, têm maior predominância em horários próximos ao meio-dia. Ao passo que as cores de menor frequência, do amarelo ao vermelho, são mais evidentes no nascer e no pôr-do-sol.

Outros efeitos luminosos, como o Fogo de Santelmo, as Auroras Polares e as Bioluminescências têm outros princípios básicos de explicação, que não são objeto de abordagem neste artigo.

3.1. O Azul do Céu

Quando o céu é de brigadeiro (sem nuvens) e sem apreciável quantidade de aerossóis, as partículas que compõem a atmosfera são essencialmente as moléculas do ar atmosférico. Além das partículas de vapor d'água, encontra-se na atmosfera o gás nitrogênio, o oxigênio, o gás carbônico, o ozônio e outros gases em menor proporção. Para tais moléculas gasosas, na faixa do espectro visível, os valores do parâmetro $x x$ são menores que $\frac{1}{2}$. Logo, pela discussão feita na seção anterior, o espalhamento da radiação eletromagnética do espectro visível nas moléculas da atmosfera obedece basicamente a uma lei do tipo Rayleigh, em que a intensidade da radiação espalhada varia inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda da radiação, ou ainda, o espalhamento varia diretamente proporcional à quarta potência da frequência da onda incidente. Neste sentido, a componente da radiação luminosa, do espectro visível, que mais espalha é a violeta. Consequentemente, a luz visível que menos espalha na atmosfera é a vermelha.

Considerando que a luz violeta é a que mais se espalha, então, porque o céu, ao longo do dia, não se apresenta naturalmente violáceo? Ou então, considerando que a luz vermelha é a que menos se espalha, porque o céu do meio-dia não é naturalmente avermelhado?

Para elucidar tal questão é necessário considerar, simultaneamente, três fatores: (01) o Tipo de Espalhamento da luz do Sol pelos elementos constituintes da atmosfera; (02) a Curva de Densidade de Energia da Radiação Solar incidente na atmosfera; (03) a Resposta Espectral do Olho Humano.

A teoria do primeiro fator afirma que a cor visível que mais espalha é a violeta. Com isso, o primeiro fator sozinho não dá conta de explicar o azul do céu como o vemos, pois a predominância do azul não é justificada nem pela maior nem pela menor quantidade da luz espalhada.

A modelagem do segundo fator trata do quantitativo da radiação incidente na atmosfera terrestre é representada pelo espectro de emissão do Sol que se assemelha ao espectro de emissão de um corpo negro à temperatura de 5750 K (MORAES, 2002, p. 13). Com base na figura, observa-se uma maior quantidade de luz anil em relação às demais e que o pico também está localizado anil, próximo ao violeta, justo no limiar da luz visível.

A diferença da curva de emissão medida no topo da atmosfera e a medida ao nível do mar se deve Absorção Seletiva da radiação pelas moléculas da atmosfera. Logo, sendo a luz solar de cor branca, porque a atmosfera da terra não é branca? Ou ainda, se espalha mais radiação violeta, então por que o céu não é violeta? Ou ainda, se o pico da radiação do Sol está no anil, porque o céu não é anil? Neste caso, deve-se levar em conta também o percentual de cada cor sobre o total de cores da luz solar que incide na atmosfera terrestre. De acordo com dados experimentais, verifica-se que a quantidade de radiação azul e anil do espectro solar é maior que a quantidade da radiação violeta.

Conclui-se que essas informações isoladas também não são suficientes para justificar o azul do céu na tonalidade como o vemos.

O terceiro fator é a Curva de Sensibilidade Espectral do olho humano, que se assemelha a uma Curva Normal de Gauss da Teoria da Probabilidade, cujo máximo, em média para os humanos, está no

comprimento de onda de 5550 angström, que corresponde à cor verde (PEDROSA, 1998, p. 68). Segundo Eisberg & Resnick (1982, p. 20), os olhos dos seres humanos se adaptaram de forma a ficarem mais sensíveis aos comprimentos de onda que o Sol irradia mais intensamente. Essa curva de sensibilidade cai praticamente a zero tanto para além da cor violeta (4000 angström), quanto para aquém da cor vermelha (7000 angström).

Por essa Curva de Sensibilidade Espectral, observa-se que o olho humano tem mais sensibilidade para a cor azul que para a cor violeta. Embora a luz violeta espalhe em maior quantidade, o céu limpo apresenta-se azulado, em vez violeta. Essa predominância de cor azul presente na base da atmosfera, por mais estranho que possa parecer, é decorrente da maior quantidade do espalhamento da luz de maior frequência nas camadas anteriores à camada na base da atmosfera. Ou seja, quanto maior for o espalhamento da luz numa camada, menor será o quantitativo dessa radiação numa camada posterior ao do sentido da propagação da radiação. Logo, quanto mais longo for o caminho óptico, ou ainda, quanto maior for a espessura da camada da atmosfera à medida que a radiação avança, maior será a redução da quantidade da radiação que mais se espalha. Dessa maneira, a quantidade da radiação visível de maior frequência, de cor violeta, vai sendo atenuada e ficando cada vez mais escassa à medida que a radiação avança pelo caminho óptico.

Observe também que o pico do espectro de emissão do Sol, ao nível do mar, é menos intenso em relação ao pico do espectro de emissão do Sol no topo da atmosfera (MORAES, 2002, p. 13). Com isso, o quantitativo da radiação da luz visível, na base da atmosfera em relação ao avaliado no topo, também apresentam quantidades distintas, inclusive para uma mesma cor.

Destaca-se que os regimes de espalhamento dos constituintes da atmosfera terrestre e o espectro de emissão do Sol, decorrentes do primeiro e do segundo fator, são fenômenos de natureza física, enquanto que o terceiro fator é de natureza fisiológica. Em suma, o azul do céu é o resultado de uma análise simultânea dos três fatores apresentados, donde se conclui que cada um desses fatores, isoladamente, não aponta para a cor azul. Logo, porque o céu é azul?

3.2. O Céu é Azul?

Mesmo considerando o céu como azul, todas as outras cores são encontradas na atmosfera terrestre. A pureza do azul, segundo Bohlen & Fraser (1985), em dias claros, é em torno de 42%. Nesse sentido, quando o céu exibir um azul aparentemente puro, ainda assim, conterá 58% das outras cores do espectro visível. Nessas condições, à medida que o ângulo zenital se desloca para o horizonte, o céu vai tornando mais esbranquiçado e menos azulado. Nesse caso, tal esbranquiçado é decorrente do espalhamento múltiplo da luz pelas partículas constituintes da atmosfera (van de Hulst, 1981).

Pode ser verificado por meio um experimento simples que a luz do céu não é exatamente azul como se pensa que é. Ao apontar para o alto um pequeno filtro azulado e translúcido, de modo a permitir a visualização simultânea do céu tanto através do filtro quanto pelo entorno do filtro, o observador poderá constatar facilmente que o céu observado no entorno do filtro aparentará levemente avermelhado, em relação à luz do céu vista através do filtro azul. Sendo assim, pergunta-se: como base no que foi exposto até então, o céu é realmente azul?

4. AS CORES DAS NUVENS

Sabe-se que a luz branca é consequente do somatório de todas as cores visíveis do espectro de luz. Entretanto, cada componente da luz branca espalha nas moléculas da atmosfera de forma distinta, espalhando mais intensamente a componente de maior frequência. Esta é uma característica do Espalhamento Rayleigh. Por outro lado, cada componente da luz branca é espalhada de forma indistinta pelas gotículas que formam a nuvem. Ou ainda, se uma luz branca incidir sobre uma nuvem, essa nuvem espalhará luz de cor branca. Esta é uma característica do Espalhamento Mie.

Embora a coloração do céu no pôr-do-sol tenha sua explicação e consequências devido ao espalhamento do tipo Rayleigh, a tonalidade apresentada pelas nuvens, inclusive o branco, o alaranjado e o avermelho, tem sua base teórica embasada pelo espalhamento do tipo Mie.

4.1. O Branco das Nuvens

A justificativa da coloração branca das nuvens deve-se ao Espalhamento Mie, apesar da predominância da cor azul do céu. Esse branco se deve ao parâmetro de tamanho x das gotículas que formam as nuvens ser muito maior que o parâmetro de tamanho para as moléculas da atmosfera. Sendo assim, o branco das nuvens se dá pela não predominância do espalhamento de determinada cor que compõe a luz (branca) que incide sobre as nuvens.

Utilizando-se de valores típicos para os raios das partículas que formam as nuvens, são obtidos fatores de eficiência para o processo de espalhamento da radiação visível que são praticamente constantes, qualquer que seja o valor do comprimento de onda da luz incidente. Dessa forma, não há predominância de espalhamento para um dado valor de comprimento de onda, quando o espalhamento for do tipo Mie, em oposição ao que ocorre para o espalhamento do tipo Rayleigh, a exemplo do que acontece com o espalhamento da luz visível pelas moléculas da atmosfera para um mesmo tipo de radiação incidente. Neste sentido, as nuvens espalham uma radiação luminosa na cor da luz que incidiu sobre elas.

5. O ALARANJADO E O AVERMELHADO DO ENTARDECER

A atmosfera limpa (sem nuvens) espalha radiação visível de acordo com a lei de Rayleigh. Ou seja, o espalhamento torna mais eficiente para a radiação violeta e menos eficiente para a radiação vermelha. Espalhar com mais eficiência significa atenuar em maior quantidade do montante da energia incidente. Com isso, à medida que a luz é espalhada e vai penetrando na atmosfera, o quantitativo da radiação luminosa da maior frequência vai ficando cada vez menor, em relação à redução do quantitativo da radiação luminosa de menor frequência. Pode-se entender que esse caminho óptico seja fracionado por trechos determinados por “camadas”. À medida que a radiação que vem do Sol entra numa camada, essa radiação sairá dessa camada com uma quantidade menor em relação à quantidade que entrou. Esse processo se repetirá na camada seguinte, de modo a reduzir o seu quantitativo na camada subsequente. Finalmente, a radiação que espalhar com menor eficiência sofrerá menor redução em relação ao seu quantitativo quando foi iniciado o processo de espalhamento.

Durante a madrugada ou durante o entardecer, o caminho percorrido pela luz solar, desde a primeira camada da atmosfera superior até um observador localizado na superfície da Terra, chega a ser 35 vezes mais longo que o caminho óptico de um raio de luz solar que incide pelo zênite. Desse modo, no alvorecer, ou no entardecer, as componentes da radiação solar de maior frequência espalham-se mais

eficientemente à medida que a radiação vai penetrando na atmosfera. Sendo assim, numa camada atmosférica subsequente, a radiação de menor frequência terá menor perda do seu quantitativo inicial. Nesse sentido, o vermelho-alaranjado das nuvens no ocaso é decorrente da predominância da cor vermelho-alaranjada na luz solar que incide sobre as nuvens. Logo, se uma luz branca, com alto teor de cor laranja, incidir sobre uma nuvem, essa nuvem espalhará uma luz de tom alaranjado. Segundo Bohren (1985), a pureza do alaranjado, em ângulos zenitais próximos de 90°, atinge uma taxa de 95% em relação às outras cores. Por outro lado, se uma luz de cor branca, com alto teor de cor vermelha, incidir sobre uma nuvem, essa nuvem espalhará uma luz de tom avermelhado. Já a cor acinzentada que aparece na base das nuvens densas é em decorrência da escassez de radiação de luz solar na base das nuvens e da incidência da luz proveniente da superfície terrestre, que no caso não é branca.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O brilho do céu, diferentemente dos espalhamentos Rayleigh e Mie, é decorrente da absorção ressonante na faixa da luz visível. O esbranquiçado do céu no horizonte, para ângulos zenitais próximos de 90°, pode ser justificado pelo Espalhamento Múltiplo da Radiação. Porém, as explicações desses dois fenômenos não fizeram parte dos objetivos deste artigo.

Como o azul do céu não pôde ser explicado isoladamente por nenhum dos regimes (Rayleigh e Mie) de espalhamento nem isoladamente por nenhum dos três fatores (o Tipo de Espalhamento da luz do Sol pelos elementos constituintes da atmosfera, a Curva de Densidade de Energia da Radiação Solar incidente na atmosfera e a Resposta Espectral do Olho Humano), as cores do céu, vistas pelo olho humano, não se resume apenas em leis físicas, mas também a partir de efeitos fisiológicos. Sendo assim, é provável que o céu seja classificado por cores diferentes para cada observador e até ser classificado por um tom bem diferente daquele catalogado como referência. Em suma, a visão do azul no céu é uma consequência da fisiologia do olho humano, de modo que a cor física (real) do céu está deslocada para um comprimento de onda menor que o azul identificado pelo “ponto de vista” dos humanos. Conclui-se também que a composição física das cores do céu não aponta para um azul puro.

Por outro lado, se a espessura óptica da atmosfera terrestre fosse maior, a atmosfera seria menos azulada e mais esbranquiçada. Ou ainda, se a espessura da atmosfera terrestre fosse menor, o céu poderia até ser violeta. Observe que as fotografias da Terra a partir do espaço apresenta um azul diferente desse azul que se observa na base da atmosfera. Sendo assim, com base no espalhamento Rayleigh, a cor que mais espalha na primeira camada da atmosfera é o violeta. Logo, a Terra vista do espaço tem um tom mais violáceo, apesar da pouca sensibilidade do olho humano para a luz visível na faixa do violeta.

7. REFERÊNCIAS

- Anomalous diffraction theory. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Anomalous_diffraction_theory. Acesso em: 04 ago. 2022.
- Apostila da disciplina Meteorologia Física II. Disponível em: http://www.dca.iag.usp.br/material/akemi/fisicaII/apostila_cap_05.pdf. Acesso em: 13 set. 2022.

- A terra é azul? **Ciência e Cultura**. V. 67, nº 32015. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252015000300010. Acesso em: 09 ago. 2022.
- BAEYER, H. C. **Arco-íris, Flocos de Neves, Quarks – A física e o mundo que nos rodeia** (Baeyer, 1994).
- BOHREN, C.; FRASER, A. B. Colors of the sky. **The Physics Teacher**. 267-272; 1985. Disponível em: file:///D:/Users/usu%C3%A1rio/Downloads/Colors_of_the_sky.pdf. Acesso em: 17 ago. 2022.
- EISBERG, R. M.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1982. 928 pp.
- FAVA, F. M. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, 2(1): 3-5, abr. 1985. Por que é o céu azul? Disponível em: <file:///D:/Users/usu%C3%A1rio/Downloads/Dialnet-PorQueOCeuEAzul-5165525.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2022.
- GOODY, R. M.; WALKER, J. C. G. **Atmosferas Planetárias**. Editora Edgard Blücher. São Paulo, 1982.
- IRIBARNE, J. V; CHO, H. -R. **Atmospheric Physics**. Dordrecht. Holland, 1980.
- KERR, A. S.; XAVIER, M. E. R. Espalhamento da Luz na Atmosfera. Para o Curso de Física da Poluição do Ar FAP346, 2006. Disponível em: http://www.fap.if.usp.br/~akerr/texto_luz.pdf. Acesso em: 03 ago. 2022.
- McCARTNEY, E. J. **Absorption and Emission by Atmospheric Gases – The Physical Processes**. John Wiley & Sons. New York, 1983.
- MORAES, E. C. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. INPE-8984-pud/62, 2002. Disponível em: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf. Acesso em 13 set. 2022.
- PALTRIDGE, G. W.; PLATT, C. M. R. **Radiative Processes in Meteorology and Climatology**. Elsevier Scientific Publishing Company, 1976.
- PEDROSA, I.; **Da cor à cor inexistente**, 3ª ed., Ed. Léo Christiano, Co-editora Univ. Brasília: Rio de Janeiro, 1989.
- Por que o céu é azul? Como John Tyndall descobriu a resposta com instrumentos tão simples? **CIÊNCIA E SAÚDE**. Disponível em: <https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2019/10/02/por-que-o-ceu-e-azul-como-o-cientista-john-tyndall-descobriu-a-resposta-com-instrumentos-simples.ghtml>. Acesso em: 03 ago. 2022.
- ROCHA, M. N.; FUJIMOTO, T. G.; AZEVEDO, R. S.; MURAMATSU, M. O azul do céu e o vermelho do pôr-do-sol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 32, nº 3, 3501, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rkskRJdTpN97wD5KHMRqf5P/?lang=pt>. Acesso em 17 ago. 2022.
- SANTOS, M. A. S. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/por-que-ceu-azul.htm>. Acesso em: 03 ago. 2022.
- TAKAHASHI, L. S.; ALMEIDA, R. F.; ALLER, G.; BONANÇA, M, Porque o céu é azul? 2019. Disponível em: <https://sites.ifi.unicamp.br/mbonanca/files/2019/11/tema3L.pdf> Acesso em 03 ago. 2022.
- van de HULST, H. C. **Light Scattering by Small Particles**. Dover Publication Inc. New York, 1981.
- van de HULST, H. C. **Multiple Light Scattering** (Tables, Formulas and Applications). Vol. 1 e 2. Academic Pres. London, 1980.