

Efeito Estufa e Camada de Ozônio sob a Perspectiva da Interação Radiação-Matéria e uma Abordagem dos Acordos Internacionais sobre o Clima

Marina Pelegrini e Wilson R. B. de Araújo

As discussões sobre Efeito Estufa e Camada de Ozônio conduzem este trabalho, tanto sob o aspecto da interação radiação-matéria, como do ponto de vista socio-ambiental. A abordagem destes temas inicia-se mostrando a Conferência Internacional COP-21, realizada em Paris em dezembro de 2015, o que possibilita o debate sobre Mudanças Climáticas e seus desdobramentos, e permite fazer correlação com outro Acordo Internacional, o Protocolo de Montreal, que tem alcançado bons resultados para conter a destruição da camada de ozônio. Do ponto de vista físico-químico, espera-se compreender como os diferentes comprimentos de onda interagem com as moléculas da atmosfera. A radiação ultravioleta quebra as ligações químicas das moléculas O_2 e O_3 na estratosfera, relacionada à Camada de Ozônio, enquanto que a radiação infravermelha e a sua interação com os gases leva ao Efeito Estufa. Porém, esta interação não tem energia suficiente para quebrar a ligação química, mas apenas alterar seus modos vibracionais.

► temas geradores, reações fotoquímicas, vibração molecular ◀

Recebido em 20/03/2017, aceito em 15/08/2017

72

Os temas *Mudanças Climáticas*, *Efeito Estufa e Destruição da Camada de Ozônio* são bastante contemplados e permeiam nossa sociedade e meios de comunicação. Este trabalho pretende explorar os dois temas: Efeito Estufa e Camada de Ozônio, unindo a relevância social e ambiental com os aspectos físico-químicos dos fenômenos.

Embora estes dois temas sejam bastante explorados, geralmente não se leva em consideração o fenômeno sob a perspectiva da interação radiação-matéria. E é a interação radiação-matéria que, essencialmente, protege a Terra dos raios altamente energéticos do Sol, e também é desta interação que surge o Efeito Estufa. Na presente abordagem, a espinha dorsal que permeia os dois fenômenos é, basicamente, como a luz do Sol interage com as moléculas presentes na atmosfera, e como esta interação afeta a vida na Terra.

Efeito Estufa e Camada de Ozônio podem ser tratados como dois temas geradores (Auler, 2007; Tozoni-Reis, 2006), pois estes dois tópicos podem ser explorados pelo professor de maneira bastante abrangente como, por exemplo,

na discussão sobre Efeito Estufa, em que podemos acompanhar o histórico até chegar ao *Protocolo de Quioto*, ou ainda, avançar o assunto até *novas alternativas de energia e matriz energética*, abrindo-se a discussão destes temas com os alunos.

Do ponto de vista físico-químico, esta abordagem explora as regiões do espectro eletromagnético, ultravioleta e infravermelho, e suas interações com os gases presentes na atmosfera. Os gases oxigênio e ozônio, que estão presentes na alta atmosfera, e suas interações com a radiação ultravioleta relacionam-se com o tema Camada de Ozônio. E, por outro lado, os gases de Efeito Estufa, como dióxido de carbono, metano, presentes na troposfera, e sua interação com a radiação infravermelha, relacionam-se ao tema Efeito Estufa e Mudanças Climáticas.

A partir dos temas geradores, exploramos a interdisciplinaridade sob a perspectiva da Física, Química e Meio Ambiente e Sociedade, relacionando-se o tratamento físico-químico dos fenômenos com as abordagens dos assuntos climáticos que se manifestam na sociedade e na mídia.

Outros artigos trazem a temática da Química atmosférica, focalizando tanto em Efeito Estufa (Tolentino e Rocha-Filho, 1998; Silva *et al.*, 2009) como também sobre os fenômenos

A seção "Química e sociedade" apresenta artigos que focalizam diferentes inter-relações entre Ciência e sociedade, procurando analisar o potencial e as limitações da Ciência na tentativa de compreender e solucionar problemas sociais.

relacionados com a Camada de Ozônio (Mozeto, 2001), com elevado nível de detalhamento dos efeitos da interação radiação-matéria.

A presente abordagem tem como expectativa traçar um paralelo entre os fenômenos físico-químicos do Efeito Estufa e da Camada de Ozônio, pois se trata de diferentes níveis de energia gerando fenômenos diferentes, e também abordar os temas do ponto de vista dos Acordos Internacionais, realizados em ações globais conjuntas, tanto para minimizar o Efeito Estufa e as consequentes mudanças climáticas, como também para a proteção à Camada de Ozônio.

Acordos Internacionais sobre o Clima

No final do ano de 2015, aconteceu em Paris a 21ª Conferência das Partes, COP-21, uma conferência internacional que reuniu 196 Estados-Partes, com o intuito de se obter um novo acordo climático internacional, em que cada Estado-Parte apresentou sua proposta de redução de emissão de gases de Efeito Estufa, o que se chamou de Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (INDC, em inglês) (Nações Unidas, 2015). Este acordo, o Acordo de Paris, tem como principal missão manter o aquecimento global bem abaixo de 2 °C até o final do século, em relação aos níveis pré-industriais. A COP-21 já pode ser considerada uma conferência histórica, pois no dia 05 de outubro de 2016 foi atingido o limite mínimo previsto para que o Acordo de Paris possa entrar em vigência. Essa meta corresponde à ratificação do Acordo por pelo menos 55 países e que sejam responsáveis por 55% das emissões de gases de Efeito Estufa (King, 2016). E os dois maiores emissores do mundo, EUA e China, ratificaram o Acordo, diferentemente do que ocorreu com o Protocolo de Quioto de 1997, em que estas duas potências não se comprometeram em cumprir as metas de redução de emissões. Entretanto, como os desafios ambientais são altamente influenciados pela Política, as eleições para a presidência dos EUA em novembro de 2016 podem comprometer este quadro de atores ambientais junto à Conferência de Paris, pois o posicionamento do atual governo não estaria em concordância com a ratificação do Acordo pelos EUA.

O Brasil é uma das Partes e apresentou sua INDC, com a meta de diminuir as emissões de gases de Efeito Estufa em 37% até 2025 e em 43% até 2030, tendo 2005 como ano-base. Para atingir tal objetivo, a INDC brasileira contém ações como o fim do desmatamento ilegal na Amazônia, a restauração e reflorestamento de 12 milhões de hectares, a recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e o alcance de 45% na participação de energias renováveis na composição da matriz energética. A INDC

A presente abordagem tem como expectativa traçar um paralelo entre os fenômenos físico-químicos do Efeito Estufa e da Camada de Ozônio, pois se trata de diferentes níveis de energia gerando fenômenos diferentes, e também abordar os temas do ponto de vista dos Acordos Internacionais, realizados em ações globais conjuntas, tanto para minimizar o Efeito Estufa e as consequentes mudanças climáticas, como também para a proteção à Camada de Ozônio.

brasileira está disponível para *download* na rede, e é um documento de leitura relativamente simples (Brasil, 2015).

O Protocolo de Montreal também é um acordo Internacional, ratificado em 1987, a partir da Convenção de Viena, que propôs a progressiva redução da produção e utilização das substâncias que destroem a Camada de Ozônio, até sua total eliminação, estas substâncias são conhecidas como CFCs (clorofluorcarbono). Este Acordo Internacional obteve êxito, na medida em que realmente entrou em prática, e os cientistas acreditam no real efeito positivo da recuperação da Camada de Ozônio (McGrath, 2016).

É interessante tratar os dois temas (Efeito Estufa e Camada de Ozônio) de maneira relacionada, especialmente por dois aspectos. O primeiro é tornar clara a diferença entre os dois fenômenos, e o segundo leva em consideração que o Protocolo de Montreal é um exemplo de Acordo Internacional que os países estão, de fato, colocando em prática, pois as substâncias CFCs foram banidas e já não são mais produzidas (Brasil, 2014). Portanto, a discussão sobre o Protocolo de Montreal enriquece a expectativa sobre os resultados positivos que o Acordo de Paris, sobre a emissão de gases de Efeito Estufa, poderia ter.

Entendendo o Fenômeno do Ponto de Vista Químico

A seguir apresenta-se a interação radiação-matéria entre os átomos e moléculas de oxigênio e a radiação ultravioleta, na estratosfera, relacionada com o tema Camada de Ozônio. E na sequência, a interação entre os gases presentes na troposfera e a radiação infravermelha, relacionada com o Efeito Estufa.

Para a compreensão destes fenômenos de interação radiação-matéria, é interessante a apresentação e discussão do espectro eletromagnético aos alunos, a fim de que entendam a natureza da radiação, e a relação entre energia e comprimento de onda, pois, a seguir, são usados os conceitos de radiação ultravioleta e radiação infravermelha.

Interação dos Gases Oxigênio e Ozônio com a Radiação UV na Estratosfera

No espectro da radiação eletromagnética, a radiação ultravioleta compreende a faixa de comprimentos de onda que vai de 50 a 400 nm, enquanto que a luz visível compreende a faixa da radiação entre 400 e 750 nm. Assim, quanto mais curto é o comprimento de onda da radiação maior será sua energia. A energia E de cada fóton de luz está relacionada com a frequência (ν) e o comprimento de onda (λ) da radiação pela equação $E = h\nu$, ou $E = hc / \lambda$, onde h é a constante de Planck ($h = 6,62 \times 10^{-34}$ J s), e c é a velocidade

da luz no ar, aproximadamente o mesmo valor c no vácuo ($c = 3,0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$) (Kotz *et al.*, 2013).

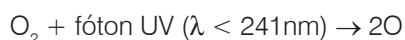
Cada molécula tem a tendência de absorver luz em determinados comprimentos de onda, dependendo da configuração eletrônica dos átomos e dos tipos de ligação, e da geometria da molécula. As energias dos fótons de luz nas regiões UV e visível são da mesma ordem de grandeza que as variações de entalpia (ΔH°) das reações químicas (Baird, 2002).

O espectro de absorção da molécula de oxigênio (O_2), com respeito à absorção de luz na região UV entre 70 e 250 nm (Baird, 2002, p.47) demonstra que a molécula absorve luz ultravioleta de maneira significativa, com absorção muito baixa e decrescente para esta molécula, acima de 250 nm. A energia da radiação ultravioleta nesta faixa (70-250 nm) é relativamente alta e quando absorvida pelas moléculas O_2 provoca a ruptura da ligação química, produzindo átomos de oxigênio.

Para consolidar esta compreensão, consideremos a reação de dissociação do oxigênio molecular: $\text{O}_2 \rightarrow \text{O} + \text{O}$, com $\Delta H^\circ = 495 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Ao aplicarmos este valor de energia (495 kJ mol^{-1}) na equação $E = hc / \lambda$, obter-se-á $\lambda = 241 \text{ nm}$, e podemos constatar que este valor se encontra na faixa da radiação ultravioleta.

Logo, conclui-se que se a molécula absorver a radiação nessa faixa de energia, a ligação química irá se romper produzindo átomos de oxigênio.



Esta reação é fundamental para proteger a Terra da radiação UV de alta energia, pois a presença de gás O_2 na região logo acima da estratosfera (~ 50 km de altura) permite que a radiação UV-C proveniente do Sol seja absorvida por essas moléculas, o que impossibilita que esta radiação chegue à superfície da Terra, protegendo as espécies de vida existentes (Baird, 2002). É importante salientar que a energia requerida para quebrar essa ligação química é relativamente alta, pois se trata de uma ligação dupla, podendo-se fazer um paralelo entre a alta energia requerida na quebra dessa ligação com a alta energia da radiação UV.

O espectro da radiação ultravioleta é dividido em sub faixas: UV-A, UV-B e UV-C. A região UV-C corresponde à faixa de 200 a 280 nm, a mais energética e que não chega à Terra, sendo barrada nas camadas superiores à estratosfera. Os seres vivos não são adaptados a ela. A região UV-B, correspondente à faixa de 280 a 320 nm, é uma faixa de alta energia e que também traz malefícios à saúde. Esta é

parcialmente retida na estratosfera. E a região UV-A, de 320 a 400 nm, que é a sub faixa menos energética e que chega à Terra (Baird, 2002).

Portanto, na estratosfera (a cerca de 40 km de altura), a presença do gás O_2 absorve a radiação UV de mais alta energia, a chamada radiação UV-C, impedindo que a luz ultravioleta com comprimentos de onda mais curtos, os mais energéticos, que 220 nm cheguem à superfície da Terra.

Além de absorver a alta energia da radiação UV-C, a outra grande importância dessa reação de dissociação do oxigênio é que os átomos de oxigênio produzidos serão precursores na formação da Camada de Ozônio (O_3) na estratosfera:



O espectro de absorção da molécula ozônio demonstra que seu pico de absorção ocorre na faixa de 220-320 nm (Baird, 2002,

p. 48), que coincide com as regiões UV-C e UV-B. Portanto, a formação da Camada de Ozônio na estratosfera permite que esta radiação seja absorvida, não chegando à superfície da Terra. O ozônio tem a capacidade de absorver a radiação ultravioleta e dissociar-se em O_2 e O , sendo que, se $\lambda > 310 \text{ nm}$, forma-se oxigênio atômico no estado fundamental. Se $\lambda < 310 \text{ nm}$, o oxigênio no estado excitado será o produto (Lenzi e Favero, 2009).

A Camada de Ozônio não é totalmente efetiva na blindagem, e ainda cerca de 10 a 30% da radiação UV-B chega à superfície da Terra (Baird, 2002). Em sua maior parte, a radiação UV-A atinge a superfície da Terra. Entretanto esta é a radiação ultravioleta de menor energia e a menos prejudicial para a vida na Terra.

As interações dos gases O_2 e O_3 são apenas alguns exemplos de interação da radiação com a matéria. Este assunto pode ser abordado conforme o nível de ensino, pois neste contexto podemos abordar também os estados eletrônicos excitados, no caso da dissociação do ozônio. Um aspecto fundamental a ser considerado é tratar das reações fotoquímicas como sumidouros destas radiações, pois as radiações UV mais energéticas, UV-B e UV-C, são filtradas na alta atmosfera pelas moléculas O_3 e O_2 , respectivamente, presentes na estratosfera e acima dela.

Interação dos Gases de Efeito Estufa com a Radiação IV na Troposfera

O denominado Efeito Estufa é um processo vital para manter a temperatura do planeta e possibilitar a existência da vida assim como a conhecemos, se ele não existisse, a Terra seria muito mais fria. Alguns gases presentes na atmosfera

As interações dos gases O_2 e O_3 são apenas alguns exemplos de interação da radiação com a matéria. Este assunto pode ser abordado conforme o nível de ensino, pois neste contexto podemos abordar também os estados eletrônicos excitados, no caso da dissociação do ozônio. Um aspecto fundamental a ser considerado é tratar das reações fotoquímicas como sumidouros destas radiações, pois as radiações UV mais energéticas, UV-B e UV-C, são filtradas na alta atmosfera pelas moléculas O_3 e O_2 , respectivamente, presentes na estratosfera e acima dela.

têm o poder de absorver a radiação infravermelha que é responsável por aquecer sua superfície.

Da luz do Sol incidente total que atinge a Terra, cerca de 50% é absorvida pela superfície, 20% é absorvida por gases, poeira e nuvens; os restantes 30% são refletidos de volta ao espaço sem sofrer absorção (Baird, 2002), em que 6% é retrodifundida para o espaço pelo próprio ar, 20% é refletida pelas nuvens e 4% é refletida pela superfície da Terra. Estes processos, coletivamente, constituem o que se denomina albedo. (Sensoriamento, 200_?)

A Terra recebe energia solar, e por ser um corpo aquecido, também emite energia, e a energia emitida se situa na região do infravermelho. Alguns gases presentes na atmosfera têm o poder de absorver a radiação infravermelha, não a deixando escapar diretamente para o espaço: os gases do Efeito Estufa (GEE). O Efeito Estufa diz respeito ao aquecimento provocado pela absorção desta radiação por estes gases.

O aumento progressivo na concentração desses gases de Efeito Estufa acarreta consequências como o aquecimento global médio e alterações nos padrões climáticos existentes, o que se denomina como mudanças climáticas.

As abordagens sobre Efeito Estufa mostram o conceito do fenômeno, mas em geral, não explicam o porquê de alguns gases absorverem a radiação e outros não, pois não se aborda a natureza da interação entre esses gases e a radiação.

A radiação infravermelha corresponde à faixa com comprimentos de onda entre 4.000 e 100.000 nm. Portanto, de relativa baixa energia, também conhecida como a radiação eletromagnética capaz de emitir calor. Este calor é proveniente de uma agitação molecular, mais particularmente, da vibração das moléculas, que também é uma propriedade quantizada, ou seja, a molécula vibra em determinados modos vibracionais, os quais têm suas energias características.

Desta maneira, a interação entre os gases e a radiação IV ocorre porque a diferença de energia entre os modos de vibração das moléculas é da mesma magnitude que a energia da radiação infravermelha. Portanto, são as vibrações moleculares que retêm a radiação infravermelha na troposfera.

A energia da radiação infravermelho ($1,2$ a 60 kJ mol^{-1}) (100 a 5000 cm^{-1}) é suficiente para excitar vibrações das moléculas que a absorvem (Harris e Bertolucci, 1989). É importante ter em mente que as energias de ligação geralmente têm valores acima de 150 kJ mol^{-1} (Kotz *et al.*, 2013). Relacionando os dois temas, podemos fazer uma análise comparativa entre as energias relativas das duas radiações em questão, UV e IV, e o efeito físico-químico que elas promovem. Radiação UV levando à quebra de ligações químicas, e radiação IV provocando excitações nas vibrações moleculares apenas.

As moléculas que absorvem radiação infravermelha são aquelas que apresentam vibrações com variação do momento dipolar (Harris e Bertolucci, 1989). Por isso as moléculas diatômicas homonucleares (N_2 , O_2), por exemplo, não absorvem a radiação infravermelha, pois não há variação no momento dipolar em suas vibrações moleculares.

Consideremos uma ligação heteronuclear vibrando em

uma dada frequência. O momento dipolar desta ligação também oscila conforme os dois átomos se movem para frente e para trás. Este dipolo oscilante pode absorver energia de um campo elétrico oscilante, a radiação, somente se o campo oscilar na mesma frequência. A absorção da radiação infravermelha se dá pelo dipolo permanente oscilante das moléculas (Harris e Bertolucci, 1989).

Moléculas lineares, como CO, NO, HCl, sofrem alteração no momento de dipolo pelas vibrações moleculares, mas estes não são considerados gases de Efeito Estufa, já que sua absorção do infravermelho é baixa e sua concentração na atmosfera também (Spiro e Stigliani, 2009). Em contraposição, as moléculas poliatômicas possuem inúmeras vibrações e a absorção do infravermelho é muito mais intensa. Os principais gases de Efeito Estufa são CO_2 , H_2O , CH_4 , CFCs, HFCs, N_2O .

O Efeito Estufa, resultado da interação radiação-matéria, mais particularmente da radiação IV com as vibrações moleculares, também possibilita a vida na Terra como a conhecemos. Estima-se que a temperatura média da superfície da Terra seria de -15°C , ao invés de 15°C , se não houvesse o aquecimento proveniente dessa interação (Baird, 2002).

Os Temas sob a Ótica do Meio Ambiente e Sociedade, com Sugestão de Links Relacionados

75

A proposta deste trabalho é que esta temática seja acompanhada de uma abordagem sobre o quadro ambiental atual que nossa sociedade se insere.

Cada vez vem se tornando mais evidente para a comunidade científica, e até mesmo para os cidadãos comuns, que as mudanças climáticas são uma realidade, e que a ação do homem, através da utilização de combustíveis fósseis, do desmatamento, da mudança de uso e ocupação da terra, da indústria, entre outros, tem contribuído de maneira efetiva para uma grande emissão de gases de Efeito Estufa, que provocam mudanças no comportamento climático do planeta (Nobre *et al.*, 2012).

Em dezembro de 2015 ocorreu a 21ª Conferência das Partes, COP-21, em Paris, encontro que reuniu os países (196 estados-partes) que buscam soluções para mitigar os efeitos da emissão de gases de Efeito Estufa globalmente.

Esta Conferência pode ser amplamente tratada pelo professor, pois na COP-21 se busca um acordo internacional para substituir o protocolo de Quioto, um acordo de 1997. O Protocolo de Quioto é um assunto muito rico e pode também ser abordado pelo professor, a depender do tempo disponível, da audiência e da intenção do professor.

Na COP-21, cada país apresentou suas metas de redução, e esse é um momento que leva a outras questões que podem ser abordadas, como a diversificação da matriz energética, e uso de fontes renováveis de energia, que é um assunto muito explorado, em especial nos currículos oficiais (PCN+, 2002).

No contexto atual, estamos abordando a COP-21, mas em qualquer outra época, o professor pode acompanhar a realização destas conferências internacionais, e inclusive

acompanhar o andamento e cumprimento das metas negociadas neste Acordo de 2015.

A seguir, alguns questionamentos e temas que podem ser levantados pelo professor e discutidos em sala de aula: – Quais são as metas apresentadas pelo Brasil nesta Conferência, COP-21? – O que o país pode ou pretende fazer para atingir suas metas? – Existem exemplos de outros países que conseguiram reduzir suas emissões? Como? – Como você, a escola, sua comunidade, sua cidade, poderiam contribuir para a redução desses gases? – A diversificação da matriz energética. – Tecnologias de Descarbonização. – Protocolo de Quioto.

Esta é uma discussão que inclui também o ponto de vista político, pois embora o Brasil tenha apresentado sua INDC, em que uma das propostas é o fim do desmatamento ilegal na Amazônia, a Amazônia perdeu 972 quilômetros quadrados de florestas em junho de 2016, segundo estudo da Imazon (2016), demonstrando uma clara discordância entre o que se pretende e aquilo que de fato ocorre no país.

Uma ferramenta interessante que pode ser utilizada neste contexto é o SIRENE (2018), um sistema computacional desenvolvido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, cujo objetivo principal é disponibilizar os resultados do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa. No site do SIRENE, estão disponibilizados infográficos e informações atualizadas sobre as emissões de GEE para cada setor da sociedade brasileira, e ainda por regiões geográficas do Brasil.

Dados de 2010 indicam que os setores que mais participaram com a emissão de gases foram a agropecuária, seguido pelo setor de energia, e uso e ocupação da terra e florestas, cada setor sendo responsável por aproximadamente 30% do total de emissões. O usuário pode consultar mapas interativos e pesquisar quanto é emitido nos diferentes estados do Brasil, e até mesmo relacionar essas emissões com os tipos de atividades produtivas que são mais comuns nas regiões.

Uma animação bem ilustrativa, disponível na web, demonstra como a temperatura global variou de 1850 até 2016 (Breene, 2016). Esta animação compilou os dados de temperatura mensal e demonstra claramente que nos últimos anos o aumento da temperatura tem acelerado rapidamente. Os dados foram obtidos da UK's Met Office, de Londres, e foram compilados pelo cientista do clima Ed Hawkins.

O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) através da Rede Clima (2018), que é a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais, disponibiliza alguns vídeos e cartilhas sobre temas relacionados com as mudanças climáticas.

A seguir estão relacionadas mais algumas sugestões de

links sobre Mudanças Climáticas, Emissão de gases de Efeito Estufa, e COP-21, que podem ser explorados na discussão do tema.

O *link* a seguir apresenta a COP-21, Conferência ocorrida em Paris, de uma maneira resumida e simples para responder as principais dúvidas: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/12/acordo-de-paris-sobre-o-clima-veja-perguntas-e-respostas.html>, acessado em Abril 2018.

A reportagem a seguir diz respeito a um método de contenção de CO₂, pois muitos cientistas do clima apoiam a tese de que não é necessário apenas zerar as emissões de GEE, é preciso descarbonizar o meio ambiente, e a ciência tem um papel fundamental em pesquisar novos métodos e tecnologias de apreensão de CO₂ da atmosfera: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2016/06/cientistas-desenvolvem-metodo-para-conter-gases-do-efeito-estufa-transformando-co2-em-pedra.html>, acessado em Abril 2018.

Abaixo, seguem os *links* de 2 vídeos como sugestão de trabalho em sala de aula.

Documentário “Seremos História?": https://www.youtube.com/watch?v=0KtouDx_smQ, acessado em Abril 2018.

Documentário “Construindo o futuro – a solução é energia renovável”: <https://www.youtube.com/watch?v=fdqqUDLCKE4>, acessado em Abril 2018.

É interessante tratar os dois temas (Efeito Estufa e Camada de Ozônio) de maneira relacionada, especialmente por dois aspectos: - Tornar clara a diferença entre os dois fenômenos; - O Protocolo de Montreal, que reduziu a emissão de gases CFC, os quais destroem a Camada de Ozônio, é um exemplo de Acordo Internacional que realmente entrou em vigor. Assim, a

discussão sobre este Acordo enriquece a expectativa sobre os resultados positivos que a sociedade pode alcançar na busca pela redução nas emissões de gases de Efeito Estufa.

O Protocolo de Montreal foi um tratado bem-sucedido, pois atualmente o CFC não é mais produzido em nenhum país do mundo. No Brasil, seu consumo foi totalmente eliminado em 2010. O *link* a seguir traz uma entrevista com Ana Paula Leal, responsável pelo programa brasileiro junto ao Protocolo de Montreal, em que ela esclarece as próximas etapas do Protocolo, o emprego destes gases na indústria, e o mecanismo para a inovação tecnológica das empresas: <http://www.protocolodemontreal.org.br/eficiente/sites/protocolodemontreal.org.br/pt-br/site.php?secao=noticias&pub=376>, acessado em Abril 2018.

Complementando a entrevista acima, a cartilha “Ações brasileiras para a proteção da camada de ozônio” (Brasil, 2014) detalha, através de ilustrações, a história do Protocolo de Montreal, indicando as próximas etapas de eliminação dos HCFCs, gases substitutos dos CFCs. Os HCFCs reduzem

Esta é uma discussão que inclui também o ponto de vista político, pois embora o Brasil tenha apresentado sua INDC, em que uma das propostas é o fim do desmatamento ilegal na Amazônia, a Amazônia perdeu 972 quilômetros quadrados de florestas em junho de 2016, segundo estudo da Imazon (2016), demonstrando uma clara discordância entre o que se pretende e aquilo que de fato ocorre no país.

a ameaça à camada de ozônio, mas possuem um potencial de aquecimento global muito alto, e com o crescimento do seu uso acredita-se necessário tomar ações globais para sua substituição, assim como foi feito para recuperar a camada de ozônio.

A seguir, os *links* de duas matérias sobre os resultados positivos na proteção à camada de ozônio: <http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,camada-de-ozonio-estara-recuperada-ate-2050-diz-a-onu,1557931>, acessado em Abril 2018, e <http://www.bbc.com/portuguese/geral-36678205>, acessado em Abril 2018.

O documentário “O buraco de ozônio na Antártida: da descoberta à recuperação” (United Nations Environment Programme, 2013) é um vídeo na língua portuguesa falada em Portugal, o que dificulta um pouco seu entendimento, entretanto, é um vídeo bem interessante para os que pretendem aprender mais sobre o assunto, pois traz entrevistas com cientistas de diferentes instituições que falam sobre a Camada de Ozônio.

Estes *links* são apenas algumas sugestões de artigos relacionados aos temas, pois o professor pode propor diversos outros artigos ou documentários. A leitura dos artigos também pode ser conduzida de diferentes maneiras, dependendo da audiência.

Para que o aluno não fique passivo diante das exposições, pode ser interessante explorar o debate acerca dos artigos/vídeos apresentados, propondo-se a formação de círculos de discussão, como também, por exemplo, a apresentação de seminários, em que cada grupo de alunos pesquise um artigo/notícia relacionado ao tema e apresente para a turma.

Posteriormente a estas discussões sobre meio ambiente e sociedade, poderíamos iniciar a apresentação dos fenômenos físico-químicos de interação radiação-matéria. A seguir, é apresentada a sequência didática sugerida.

Sequencia Didática e Considerações Finais

No caso da experiência didática, as primeiras aulas sobre o tema começaram com as discussões sob a ótica de Meio Ambiente e Sociedade, antes de iniciar a abordagem da interação radiação-matéria. Portanto os artigos, documentários e discussão sobre as mudanças climáticas e a COP-21 iniciariam a sequência didática.

Foram colocadas as inserções na ordem que segue:

- Introdução do tema Efeito Estufa sob a ótica do aquecimento do planeta, mas ainda sem entrar no detalhamento das vibrações moleculares, e apresentação do documentário “Seremos História?”;
- A conferência COP-21 e Acordo de Paris, e as metas do Brasil junto à COP-21;

- O cenário de emissões de GEE no Brasil, por setor e por estado;
- Discussão sobre a diversificação da matriz energética e a apresentação do documentário sobre energias renováveis pode ser explorada;
- Relação entre o Protocolo de Montreal, um acordo internacional que propôs a eliminação dos gases que destroem a camada de ozônio, com o Acordo de Paris;
- Apresentação de documentário sobre a Camada de Ozônio, e leitura dos artigos sugeridos para o tema;
- Abordagem da interação radiação-matéria iniciando com a física da camada de ozônio, como proposto na seção “*Interação dos gases oxigênio e ozônio com a radiação UV na estratosfera*”; e
- Explicação do aquecimento no Efeito Estufa, sob o ponto de vista da interação radiação-matéria, a partir do espectro eletromagnético, assim como a comparação dos diferentes comprimentos de onda com as respectivas interações dos gases e suas vibrações, como proposto na seção “*Interação dos gases de efeito estufa com a radiação IV na troposfera*”.

A temática Meio Ambiente está sempre presente em nosso cotidiano, especialmente porque já começamos a

sentir os efeitos de mudanças climáticas, ou seja, períodos mais longos de seca, chuvas intensas, tempestades, temperaturas mais altas, elevação da temperatura dos oceanos, redução de gelo no Ártico e elevação do nível do mar. Cientistas observam que a frequência dos eventos climáticos extremos tem aumentado significativamente nos últimos anos (Nobre *et al.*, 2012). Tratar desta temática

é muito importante para a sociedade, especialmente quando se deseja modificar os padrões de consumo e estilo de vida, e a escola é um espaço de formação em que estas questões podem ser levantadas e discutidas.

É enriquecedor tratar o assunto também sob o ponto de vista dos fenômenos físico-químicos que os originam, sob a perspectiva do conhecimento científico a respeito da problemática ambiental, na qual apresentamos uma visão baseada em conceitos importantes relacionados à radiação eletromagnética, ligações químicas, reações fotoquímicas, vibração molecular e níveis quantizados de energia nas moléculas.

Marina Pelegrini (marinapelegrini101@gmail.com) é bacharel em Química (FFCLRP, 2000), mestre e doutora em Ciências (ITA, 2003 e 2007) e professora adjunta de Química e Responsabilidade Social e Ambiental na Academia da Força Aérea, AFA, em Pirassununga, SP, desde 2009. Pirassununga, SP – BR. **Wilson Roberto Barbosa de Araújo** (araujowb@yahoo.com.br) é bacharel em Física (IF/USP, 1991), licenciado em Física (IF/USP, 1999), mestre e doutor em Ciências (IF/USP, 1996 e 2001) e professor da Escola Estadual Profa. Rita Bicudo Pereira em São Paulo, SP. São Paulo, SP – BR.

Referências

AULER, D. Enfoque ciência-tecnologia-sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. *Ciência & Ensino*, v. 1, p. 1-20, 2007.

BAIRD, C. *Química ambiental*. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. *Ações brasileiras para a proteção da camada de ozônio*. Brasília: MMA, 2014. Disponível em <http://simat.mma.gov.br/acomweb/Media/Documentos/6cafe5f8-0b94-4bd7-b.pdf>, acessado em Abril 2017.

_____, Ministério das Relações Exteriores. *INDC: pretendida contribuição nacionalmente determinada*, 2015. Disponível em http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-INDC-portugues.pdf, acessado em Abril 2018.

BRENE, K. This animation shows how the Earth has warmed up since 1850. *World Economic Forum*, 13 May 2016. Disponível em <https://www.weforum.org/agenda/2016/05/this-animation-shows-how-the-earth-has-warmed-up-since-1850/>, acessado em Abril 2018.

HARRIS, D. C e BERTOLUCCI, M. D. *Symmetry and spectroscopy: an introduction to vibrational and electronic spectroscopy*. New York: Dover Publications, 1989.

IMAZON detecta aumento de quase 100% no desmatamento da Amazônia em junho. *Amazônia Notícia e Informação*, 23 de Julho de 2016. Disponível em <http://amazonia.org.br/2016/07/imazon-detecta-aumento-de-quase-100-no-desmatamento-da-amazonia-em-junho/>, acessado em Abril 2018.

KING, E. Acordo entra em vigor dia 4/11, diz ONU. *Observatório do Clima*, 5 de Outubro de 2016. Disponível em <http://www.observatoriodoclima.eco.br/acordo-de-paris-entra-em-vigor-no-dia-04-de-novembro/>, acessado em Abril 2018.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M e WEAVER, G. C. *Química geral e reações químicas*. Trad. Téc. F. M. Vichi; Trad. S. A. Visconte. 6ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. v. 1.

LENZI, E. e FAVERO, L. O. B. *Introdução à química da atmosfera: ciência, vida e sobrevivência*. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

McGRATH, M. Camada de ozônio está se recompondo na Antártida, dizem cientistas. *BBC Brasil*, 1 de Julho de 2016. Disponível em <http://www.bbc.com/portuguese/geral-36678205>, acessado em Abril 2018.

MOZETO, A. A. Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, edição especial, p.41-49, 2001.

NAÇÕES UNIDAS. *Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas*. Site oficial da ONU sobre COP21 (2015). Disponível em <https://nacoesunidas.org/cop21/>, acessado em Abril 2018.

NOBRE, C. A.; REID, J. e VEIGA, A. P. S. *Fundamentos científicos das mudanças climáticas.*, São José dos Campos: Rede Clima/INPE, 2012. Transcrição de palestra proferida por

Carlos A. Nobre em novembro de 2010, Brasília, DF. Disponível em http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/fundamentos_cientificos_mc_web.pdf, acessado em Abril 2018.

PCN+. *Ensino médio, orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais – física*. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

REDE CLIMA. Disponível em <http://redeclima.ccst.inpe.br/>, acessado em Abril 2018.

SENSORIAMENTO remoto e radiação atmosférica. Material didático *on line* elaborado pelo Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, 200_?. Disponível em <http://www.iag.usp.br/siae98/meteorologia/radiacao.htm>, acessado em Abril 2018.

SILVA, C. N.; LOBATO, A. C.; LAGO, R. M.; CARDEAL, Z. L. e QUADROS, A. L. Ensinando a química do efeito estufa no ensino médio: possibilidades e limites. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 4, p. 268-274, 2009.

SIRENE. Disponível em <http://sirene.mcti.gov.br/>, acessado em Abril 2018.

SPIRO, T. G. e STIGLIANI, W. M. *Química Ambiental*. Trad. S. M. Yamamoto. Ver. Téc. R. C. Bazito e R. S. Freire. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

TOLENTINO, M. e ROCHA-FILHO, R. C. A química no efeito estufa. *Química Nova na Escola*, n. 8, p. 10-14, 1998.

TOZONI-REIS, M. F. C. Temas ambientais como “temas geradores”: contribuições para uma metodologia educativa, ambiental, crítica, transformadora e emancipatória. *Educar em Revista*, n. 27, p. 93-110, 2006.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *O buraco de ozônio na Antártida: da descoberta à recuperação*. OzonAction, United Nations Environment Programme, 24 de Janeiro de 2013. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=oQHwiV1Vem8>, acessado em Abril 2018.

Para saber mais

<http://videoseducacionais.cptec.inpe.br>, acessado em Abril 2018. Site do INPE contendo vários vídeos educativos sobre mudanças climáticas e assuntos relacionados.

<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28947-o-que-e-o-protocolo-de-quioto/>, acessado em Abril 2018. Artigo conciso sobre o Protocolo de Quioto.

<https://www.youtube.com/watch?v=2jn7UPkVg2E>, acessado em Abril 2018. Vídeo explica como funciona o Comércio de Créditos de Carbono.

<https://www.youtube.com/watch?v=CmyUupa8Ypo>, acessado em Abril 2018. Vídeo legendado *The story of stuff* (“A história das coisas”), curta de educação ambiental evidenciando os padrões de consumo da sociedade capitalista.

“A Última Hora” (*The 11th Hour*, 2007), Warner Bros. Pictures, documentário norte-americano produzido por Leonardo DiCaprio, com entrevistas a cientistas, pensadores e líderes sobre mudanças climáticas.

Abstract: *Greenhouse Effect and Ozone Layer from the Perspective of Radiation-Matter Interaction and an Approach to International Agreements on Climate.* The discussions on Greenhouse Effect and Ozone Layer lead this work, both in the aspect of radiation-matter interaction and from the socio-environmental point of view. The approach to these themes covers the COP-21 International Conference held in Paris in December 2015, which enables the debate on Climate Change and its developments and allows doing a correlation with another International Agreement, the Montreal Protocol, which achieved good results toward restraining the depletion of the ozone layer. From a physical-chemistry point of view, one expects the students can understand how different wavelengths interact with the molecules of the atmosphere. The ultraviolet radiation breaking chemical bonds on O₂ and O₃ molecules in the stratosphere, related to the Ozone Layer, whereas the infrared radiation and its interaction with the gases leading to the Greenhouse Effect. However, in this case, the interaction radiation-matter does not have enough energy to break the chemical bond but only to reach its vibrational modes.

Keywords: generating subjects, photochemical reactions, molecular vibration