
Debatendo questões científicas e político-econômicas em torno da depleção do ozônio estratosférico

*Debating scientific and political-economic issues around stratospheric ozone depletion
Debate sobre cuestiones científicas y político-económicas en torno de la depleción del ozono estratosférico*

Ângelo Francklin Pitanga

Professor EBTT do IFBA, Campus Paulo Afonso. Professor Colaborador do Programa Multi-institucional em Difusão do Conhecimento – UFBA/IFBA/UEFS/UNEB/CIMATEC
afpitanga2@gmail.com

Resumo

A passagem dos trinta anos da assinatura do Protocolo de Montreal foi o ponto de partida para iniciarmos uma série de investigações sobre o ozônio, a depleção da camada estratosférica e o banimento do uso gases de refrigeração, conhecidos como CFCs (clorofluorcarbonetos). Publicação recente em outro periódico científico foi motivadora e incentivadora para a escrita deste artigo, que, por meio de pesquisa bibliográfica, tem por objetivo debater sobre a depleção do ozônio estratosférico, vista por muitos como uma questão científica definida. Porém, ainda são pouco conhecidos os debates que relacionam o envolvimento de possíveis interesses político-econômicos na discussão do tema.

Palavras-chave: Ozônio. Depleção Estratosférica. Questões Científicas. Protocolo de Montreal. Questões Político-Econômicas.

Abstract

The 30-year anniversary of the signing of the Montreal Protocol was the starting point for a series of investigations into ozone, depletion of the stratospheric layer and banning the use of refrigerants known as CFCs (chlorofluorocarbons). Recent publication in another scientific journal was motivating and encouraging for the writing of this article, which through a bibliographical research aims to discuss the depletion of stratospheric ozone, seen by many as a definite scientific issue, but is known by few the debates that relate the involvement of possible political-economic interests on the subject.

Keywords: Ozone. Stratospheric Depletion. Scientific Issues. Montreal Protocol. Political-economic Issues.

Resumen

El paso de los 30 años de la Firma del Protocolo de Montreal fue el punto de partida para iniciar una serie de investigaciones sobre el ozono, la depleción de la capa estratosférica y la prohibición del uso de gases de refrigeración conocidos como CFC (clorofluorocarbonos). La publicación reciente en otro periódico científico fue motivadora e incentivadora para la escritura de este artículo, que por medio de una investigación bibliográfica tiene por objetivo debatir sobre la depleción del ozono estratosférico, vista por muchos como una cuestión científica definida, sin embargo, es de conocimiento de pocos los debates que relacionan la implicación de posibles intereses político-económicos sobre el tema.

Palabras clave: Ozono. Depleción Estratosférica. Cuestiones Científicas. Protocolo de Montreal. Cuestiones Político-Económicas.

Introdução

A leitura do artigo abordando o efeito estufa, camada de ozônio e a interação radiação-matéria, publicado na seção Química e Sociedade, volume 40 da revista QNESCOLA, no ano de 2018, apresentou-se como fator motivador para a escrita deste texto. O título, que destacava a interação entre matéria-energia, foi por si só instigante, na medida em que investigações por nós realizadas ao longo do ano 2017, apontaram para as dificuldades que futuros professores possuíam a respeito dos entendimentos sobre a interação matéria-energia (SANTOS; SANTOS; PITANGA, 2018).

Essas investigações foram empreendidas devido ao nosso interesse em pesquisar temas relacionados com as questões sobre Ciências Ambientais. E assim, observamos que no ano de 2017, o Protocolo de Montreal comemorava 30 anos de sua assinatura, que ocorreu na Convenção de Viena (1987). Sendo considerado além de um exemplo para a conjuntura ambiental, é também o mais exitoso acordo internacional climático (PELEGRINI; ARAÚJO, 2018). A partir dele, os Clorofluorocarbontetos (CFCs - também conhecidos por Freons) tiveram suas produções, comercializações e usos inicialmente reduzidos, até serem definitivamente banidos.

O interesse em investigar questões de Ciências Ambientais, em especial as que envolvem as mudanças climáticas, deve-se prioritariamente às nossas preocupações direcionadas para a formação de professores de Química, em especial daqueles que irão atuar, ou que já atuam na Educação Básica. Preocupações essas que têm nos conduzido a produzir materiais instrucionais, como a elaboração de intervenção didática, por exemplo,

tal como a descrita por Santos, Santos e Pitanga (2018), com o intuito de oportunizar material didático e embasamento teórico fundamentados em referenciais atualizados.

Salienta-se também a importância dada pelos professores de Química da Educação Básica que tendem a atribuir às mudanças climáticas, quando frequentemente divulgadas pelos diversos tipos de mídias; pelo espaço e importância que ocupam nos materiais didáticos de várias disciplinas (Química, Física, Biologia, Geografia e outras); ou ainda, quando estes conhecimentos são exigidos dos estudantes durante a realização de exames.

Outro motivo está associado à divulgação de resultados de pesquisas que evidenciam o fato de os estudantes (da Educação Básica ou mesmo da Graduação), mantêm concepções ingênuas, além de entendimentos fragmentados sobre os modelos de mudanças climáticas. Desta feita, devido à complexidade dos princípios que envolvem as ciências ambientais, as concepções alternativas acabam surgindo como resultado de informações imprecisas, fornecidas muitas vezes pela mídia, em detrimento da não inserção dessas questões nas rotinas de atividades desenvolvidas na Educação Básica (VERSPRILLE; TOWNS, 2015; VERSPRILLE et al., 2017).

Segundo Oliveira, Vecchia e Carneiro (2015), o panorama geral comprova que a literatura da sociedade em torno do clima é extremamente baixa, e que sua melhora passa pela inserção desta temática, de modo interdisciplinar, nas abordagens da educação formal, permitindo:

Explorar a interdisciplinaridade sob a perspectiva da Física, da Química e Meio Ambiente e Sociedade, relacionando-se o tratamento físico-químico dos fenômenos com abordagem dos assuntos climáticos que se manifestam na sociedade e na mídia (PELEGRINI; ARAÚJO, 2018, p. 72).

Os aprofundamentos desta pesquisa bibliográfica permitiu chegar a três inferências: a) O quão são incipientes pesquisas e relatos de sala de aula que envolvem o tema em questão; 2) A predominância do tratamento do tema como se fosse uma questão científica definida; 3) A inexistência de atividades que abordem, em sala de aula, opiniões divergentes e tratem das dimensões econômicas e políticas em relação ao tema.

Assim, dada a relevância das Ciências Ambientais no cenário atual, as motivações e preocupações acima apresentadas, o presente artigo tem como objetivos: 1) Ampliar as discussões sobre a camada de ozônio, não observando sob o espectro de uma questão científica definida; 2) Debater tais questões envolvendo dimensões políticas e econômicas e vislumbrando oportunizar acesso ao material atualizado e ampliado que possa servir de referência para professores, quando buscarem abordar esse tema em sala de aula.

Debatendo as teorias sobre depleção do ozônio estratosférico

Os fenômenos climáticos são eventos de larga extensão e de grande magnitude, influenciados por fatores internos e externos, sendo que os internos são mais frequentes e, inquestionavelmente, mais predominantes. Neste âmbito, ressalta-se que os fatores internos são complexos e estão associados a sistemas climáticos caóticos e não-lineares, tornando-os inconsistentes, pois envolvem diversas variáveis, entre elas: atividade solar, composição físico-química da atmosfera, movimentos planetários, tectonismos e vulcanismo. Quanto aos externos, esses são de origem antropogênicas e ligados às atividades humanas, principalmente as que necessitam da geração de energia através da queima de combustíveis (SILVA; PAULA, 2009).

Assim, para entender e/ou compreender os fenômenos climáticos, é necessário levar em consideração e internalizar a sua complexidade, o envolvimento de sistemas caóticos e não-lineares, e o fato de que apesar do avanço das ciências climáticas, em especial dos modelos computacionais, ainda assim não se tem um entendimento pleno da influência de cada uma das variáveis e suas interações.

Teoria de entendimento majoritário sobre a depleção do ozônio

A teoria de entendimento majoritário sobre a depleção da camada de ozônio foi por nós assim designada, em função de representar as ideias aceitas por expressiva parcela da comunidade científica. Está presente nos livros didáticos de todos os níveis de ensino, em artigos científicos que tratam do assunto, e é entendida, quase como consensual, entre os cientistas atmosféricos.

Os fundamentos teóricos deste princípio defendem o esgotamento da camada de ozônio entre os meses de setembro e novembro, durante a primavera no Pólo Sul, devido à ação de substâncias xenobióticas, dentre elas os gases Freon. Os estudos foram iniciados a partir do trabalho da equipe de pesquisa do Dr. Joe Farman, que em 1957 começou a monitorar as concentrações de ozônio nessa região do planeta (SANTOS; SANTOS; PITANGA, 2018).

Após alguns anos desse achado, não foram esclarecidas quais eram as causas. Sejam estas relacionadas a algum fenômeno natural envolvendo forças meteorológicas, ou a algum mecanismo químico relacionado aos poluentes atmosféricos. Contudo, dados da estação de pesquisa de Halle Bay, na Antártida, mostram que o buraco vem aparecendo desde 1979, chegando a uma redução de 50% em 1985 (BAIRD, 2006). No ano 2000, o maior buraco já registrado foi detectado na Antártida, com uma extensão de mais de 25 milhões de km² (STRAHAN; DOUGLASS, 2018).

Com o propósito de entender o fenômeno, devemos destacar as investigações realizadas por Dr. F. Rowland e Dr. M. Molina, que propuseram uma teoria na qual os CFCs seriam decompostos pela radiação ultravioleta na estratosfera, liberando átomos de cloro. Eles realizaram cálculos detalhados mostrando a ação do cloro como um catalisador para as reações de destruição do ozônio²⁰. Por conta da relevância de seus estudos, os pesquisadores foram laureados em 1995 com o prêmio Nobel (ROCHA-FILHO, 1995).

Os gases de halogênios são emitidos na superfície da Terra por atividades humanas e por processos naturais. Acumulam-se e são distribuídos globalmente pela atmosfera, através dos ventos e de outros movimentos aéreos, sendo em seguida transportados pelos ventos estratosféricos, e convertidos por meio de reações envolvendo radiação ultravioleta do sol. As reações ocorrem nas nuvens polares estratosféricas a baixíssimas temperaturas (inferiores a -78 °C), causando, portanto, severa perda de ozônio nas regiões polares durando o final do inverno e início da primavera.

²⁰Com os avanços das pesquisas, já é de conhecimento que compostos da mesma classe química que possuem flúor, bromo e iodo, apresentam o mesmo comportamento químico que o cloro na catálise do ozônio estratosférico. Assim, de modo análogo, é interessante entender que estes compostos também reagem nessas condições (FAHEY; HEGGLIN, 2011).

Após este período, o ar contendo gases reativos de halogênio retorna à troposfera, onde são removidos pela umidade das nuvens e da chuva (FAHEY; HEGGLIN, 2011).

Espécies não ativas cataliticamente na forma de HCl e ClONO₂ são fotoconvertidas em radicais Cl• e ClO•, através de um mecanismo complexo que desloca o O₃. A conversão ocorre na superfície de partículas (frias) de água, ácido sulfúrico e nítrico, formados pela interação entre radicais hidroxila com radicais NO₂• e SO₂• gasosos (MOZETO, 2001).

O ciclo de destruição do ozônio (figura 1) envolve duas reações químicas separadas. A reação líquida ou global corresponde ao oxigênio atômico com ozônio, formando duas moléculas de oxigênio. Ao iniciar com ClO, a primeira reação é ClO com O para formar Cl. Na sequência, o Cl reage com o ozônio e reconverte o ClO, consumindo ozônio no processo. O ciclo então começa novamente com outra reação de ClO com O. O cloro é considerado um catalisador para a destruição do ozônio, pois as espécies radicalares de Cl• e ClO• são reconvertidas cada vez que o ciclo de reação é completado, e o ozônio é simplesmente removido. O oxigênio atômico (O) é formado quando a radiação solar ultravioleta (luz solar) reage com as moléculas de ozônio e oxigênio. O ciclo 1 possui maior importância na estratosfera quando ocorre em latitudes tropicais e médias, onde a radiação ultravioleta solar é mais intensa.

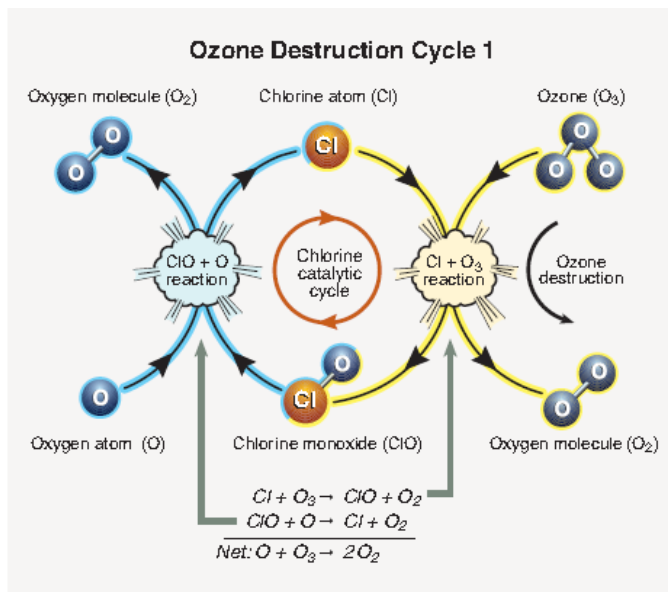


Figura 1 - Ciclo de Destruição do Ozônio (FAHEY; HEGGLIN, 2011, p. 30).

Mesmo artigos recentemente publicados que apontam para evidências observacionais inequívocas sobre a redução da depleção do ozônio estratosférico, explicitam em suas abordagens algumas incertezas associadas aos resultados dos estudos de regressão multivariada do ozônio total da Antártica. Com isso, as incertezas nas medições e nas análises estatísticas utilizadas impedem a conclusão definitiva de que o ozônio estratosférico antártico está aumentando devido à diminuição da substância destruidora de ozônio (STRAHAN; DOUGLASS, 2018).

Teoria de entendimento minoritário sobre a depleção do ozônio

Chamada de teoria de entendimento minoritário por representar as ideias aceitas por uma pequena parte da comunidade científica, não encontradas nos livros didáticos e com pouca circulação nos artigos científicos publicados sobre o assunto. Estas ideias formam um grupo restrito, conhecido como céticos. Estes pesquisadores apontam para a dificuldade de encontrar espaços para seus estudos em veículos de comunicação científica, especialmente nos periódicos especializados, dificultando a circulação de suas hipóteses, que refutam a ação dos Freons como responsáveis pelo esgotamento da camada de ozônio.

O argumento dos céticos baseia-se no seguinte questionamento: nas condições peculiares propostas pela chamada "química dimérica", as reações químicas seriam capazes de ocorrer sob as condições naturais da estratosfera polar?. A teoria exige temperatura muito baixa, inferior a $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$, que ocorre na estratosfera antártica apenas algumas semanas do ano, entre setembro e início de outubro, no período compreendido entre o fim do inverno e o início da primavera. Requer cristais de gelo a partir da formação de nuvens estratosféricas, compostas essencialmente de ácido nítrico e de água. Necessita também da luz solar, que só está presente após o nascer do sol na Antártida, geralmente depois de 20 de setembro. Possibilitadas estas condições, uma seqüência de reações químicas iria quebrar as moléculas de CFCs e começar a depleção da camada de ozônio, segundo Molina e Molina (1987); Boyes e Stanisstreet (1994); C&EN (1994):

1. $\text{ClONO}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{NO}_3$, (Na presença de gelo estratosférico e meio ácido).
2. $\text{Cl}_2 + h\nu \rightarrow 2\text{Cl}\cdot$ ($h\nu$ = radiação ultravioleta).

3. $\text{Cl}\cdot + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO}\cdot + \text{O}_2$
4. $\text{ClO}\cdot + \text{ClO}\cdot + \text{M} \rightarrow \text{Cl}_2\text{O}_2 + \text{M}$ (Na presença elemento, M, Acompanhante)
5. $\text{Cl}_2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{Cl}\cdot + \text{ClOO}\cdot$
6. $\text{ClOO}\cdot + \text{M} \rightarrow \text{Cl}\cdot + \text{O}_2 + \text{M}$

A equação 5 é vista como crucial para o processo de destruição catalítica do O_3 . Sua possibilidade de ocorrência em condições naturais, devido a sua complexidade, é questionada em função da dificuldade de verificação mesmo em condições laboratoriais ideais. Estudos indicam que as condições termodinâmicas mais favoráveis levam à fotodissociação do peróxido de cloro, formando dois radicais $\text{ClO}\cdot$ (FERREYRA, 2006), ou ainda, uma segunda possibilidade seria a formação de $\text{Cl}_2\text{O}\cdot$ e $\text{O}\cdot$, conforme proposto por Eberstein (1990) e abaixo representado:

7. $\text{Cl}_2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{ClO}\cdot + \text{ClO}\cdot$, ou
8. $\text{Cl}_2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{Cl}_2\text{O}\cdot + \text{O}\cdot$

Quanto às questões que envolvem as transformações químicas da equação 5, foi publicado em 2007, na conceituada revista *Nature*, artigo sob o título: “Chemists poke holes in ozone theory” (SCHIERMEIER, 2007, p. 382) (numa tradução livre: Químicos encontram furos na teoria do ozônio). Neste artigo, pesquisadores da NASA, ao revisarem as taxas de fotólise do Cl_2O_2 , observaram que estas são uma ordem de magnitude menor do que as até então aceitas, e afirmaram que se as medições estiverem corretas, não se pode afirmar que estão devidamente compreendidos os fenômenos que levaram aos buracos da camada de ozônio.

Diante das referidas observações, os pesquisadores afirmam que a rápida fotólise é uma reação chave no modelo químico que foi desenvolvido para explicar a depleção do ozônio. “E, se a taxa é substancialmente menor do que anteriormente se pensou, então não seria possível criar radicais de cloro agressivos suficientes para explicar as perdas observadas de ozônio em altas latitudes” (SCHIERMEIER, 2007, p. 382).

Uma das hipóteses defendidas pelos céticos é que a variabilidade da concentração de O_3 na estratosfera é um processo natural, e não provocado pela ação dos CFCs. Sua explicação estaria na própria dinâmica da atmosfera antártica. O O_3 é formado principalmente em regiões tropicais devido ao

fluxo UV anual, sendo transportado para latitudes polares por ventos estratosféricos. Contudo, durante o inverno é formado o vórtice circumpolar, que é um anel de ventos fortes ao redor do continente (400 Km/h), que isola a Antártida, impedindo a entrada de ozônio na região. Com isso, eles apontam que a principal fonte de halogênios tem sua origem a partir das atividades vulcânicas. Assim, o vórtice isola o continente, impedindo a entrada de O₃ proveniente das regiões tropicais e a saída de halogênios naturalmente produzidos (FERREYRA, 2006).

Um ponto controverso nesta teoria envolve o transporte dessas substâncias, pois, segundo os céticos, são os fenômenos naturais os responsáveis pela liberação de substâncias destruidoras de ozônio. A depleção observada deve-se então ao fato de que durante o inverno o vórtice circumpolar seria fator responsável por evitar a troca de gases, ocorrendo ainda a redução da incidência da radiação de raios solares (FERREYRA, 2006; FELÍCIO; ONÇA, 2012).

Contudo, os que defendem a ação dos xenobióticos contestam essa ideia com os seguintes argumentos: 1) Somente o vulcão Erebus está ativo na região Antártica, suas crateras estão a 4,0 Km de altura e não se tem registro de erupções nos últimos 30 anos, sendo que elas seriam responsáveis pelo lançamento de quantidades consideráveis de HCl, que pode reagir e originar ClO•. 2) Ainda que vulcões estivessem em atividade, quando expelidas as lavas, elas também conteriam vapor d'água, que formam água da chuva e gelo, e assim as substâncias são lixiviadas ainda na troposfera, sem alcançar a estratosfera (FAHEY; HEGGLIN, 2011).

De acordo com Tomasoni (2011), os dados do Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (IPCC) apontam que em 1991 a produção de CFCs chegou a 1,1 milhões/toneladas/ano. Estima-se que desse total cerca de 7,5 mil toneladas de cloro conseguem alcançar a baixa troposfera, fração considerada irrisória quando comparada com os 600 milhões/toneladas/ano produzidos pelos oceanos, e os 36 milhões de toneladas/anos liberados sob a forma de HCl pelos vulcões difusivos (aqueles que estão continuamente fumegando, porém sem grandes explosões). Segundo estimativas, só o vulcão do Monte Erebus ejeta cerca de 450 mil toneladas/ano de cloro, que é algo cerca de 60 vezes maior do que o liberado pelo uso dos CFCs (TOMASONI, 2011).

Com relação à incidência solar no inverno, este é um problema geométrico também questionado. Mesmo com a incidência oblíqua de raios, estes ainda não são suficientes para fornecer radiação UV-C para a formação de O₃, devido à interceptação pela atmosfera em baixas latitudes, que apenas permite a passagem de infravermelho, aquece o inverno antártico mas não promove fotodissociação (FELÍCIO; ONÇA, 2012).

Há ainda questionamentos que envolvem uma discussão física relacionada ao deslocamento e transporte dos gases Freons para a região Antártica. Pois, de acordo com Felício e Onça (2012), os CFCs são aproximadamente 4,0 vezes mais densos que o ar atmosférico, e assim, por serem demasiadamente pesados, uma quantidade mínima de CFCs de origem antropogênica conseguiria atingir a estratosfera, sendo o restante depositado principalmente nos oceanos.

Debatendo as questões político-econômicas e o Protocolo de Montreal.

Além da elevada complexidade dos conceitos envolvidos, há também diferentes visões e pontos de vistas controversos que fazem parte do campo das Ciências Climáticas. Esta, por sua vez, apresenta opiniões divergentes, além da persistência de inúmeras incertezas científicas atreladas ao fato de haver forte disputa de interesses econômicos e políticos (OLIVEIRA; VECCHIA; CARNEIRO, 2015).

O Protocolo de Montreal, tratado internacional assinado por 191 signatários durante a convenção de Viena, no ano de 1987, é considerado o maior e mais exitoso acordo ambiental ratificado até a presente data. Este feito se dá não só pelo número de Estado-Nações envolvidos, mas também pela ação exitosa ao banir a produção, restringir a comercialização e a utilização dos clorofluorcarbonetos (CFCs), ou gases Freons.

Este acordo internacional é considerado bem-sucedido à medida que suas determinações foram realmente validadas na prática, ratificando a crença dos cientistas sobre o real efeito positivo da recuperação da Camada de Ozônio (PELEGRINI; ARAÚJO, 2018), conforme corroborado pelas afirmações abaixo:

A maior incerteza na magnitude de tal esgotamento futuro provavelmente está nas outras mudanças atmosféricas ocorrendo simultaneamente. Por exemplo, o resfriamento da estratosfera mais baixa em resposta ao aumento das concentrações de dióxido de carbono e o conseqüente efeito na formação de nuvens estratosféricas polares poderiam influenciar significativamente a eficácia da depleção de ozônio pelo cloro residual. Nosso olhar para o futuro, há duas décadas, limitou a química do cloro na atmosfera. [...] A existência do protocolo de Montreal e o acordo entre cientistas industriais, governamentais e universitários sobre sua sabedoria oferece uma promessa considerável para o tratamento de futuros problemas ambientais globais (C&EN, 1994, p. 13).

As novas medições levantam "questões intrigantes", mas não comprometem o Protocolo de Montreal. Estamos começando a ver os benefícios do protocolo. [...] Nada atualmente sugere que o papel dos CFCs deva ser questionado. Evidências esmagadoras ainda sugerem que as emissões antropogênicas de CFCs são a razão para a perda de ozônio. Mas estaríamos em terreno muito mais firme se pudéssemos anotar as reações químicas corretas (SCHIERMEIER, 2007).

Evidências observacionais inequívocas de uma diminuição na destruição da camada de ozônio da Antártida são atribuídas às ações do Protocolo de Montreal, e aos esforços que permanecem indefinidos mesmo passados mais de 20 anos após serem banidas as emissões de substâncias destruidoras da camada de ozônio (STRAHAN; DOUGLASS, 2018).

Os excertos acima explicitam as posições majoritariamente adotadas, baseadas no entendimento de que as ações antropogênicas, devido aos usos dos gases freons, são responsáveis pela depleção do ozônio estratosférico mesmo com a manutenção de algumas incertezas. Do ponto de vista político, expressam a importância da assinatura e do cumprimento dos compromissos firmados como aspectos do sucesso advindo do Protocolo de Montreal. Quanto às questões econômicas, estas são completamente desconsideradas.

Em contrapartida, os céticos apontam para inferências devido ao envolvimento de questões político-econômicas ligadas a uma possível obsolescência destrutiva de gases de refrigeração e suas patentes. Estando diante de um processo de substituição programada, que foi captaneado por grandes multinacionais da indústria química, os autores citam: Du PONT, ICI, ATOCHEM, ALLIED CHEMICALS, HOECHEST; devido ao fim das patentes dos CFCs e as destinações de Royalties (FERREYRA, 2006; FELÍCIO, 2013).

Segundo Felício (2013; 2014), houve na década de 1980 a expansão, nos então países de terceiro mundo, de indústrias envolvidas com o comércio de refrigeração, seja de produção de equipamentos ou de manufatura de produtos químicos. É também deste mesmo período o fato de as patentes desses gases terem se tornado de domínio público, e os preços caíram chegando por volta de US\$ 1,38/Kg.

Com o advento do protocolo de Montreal, os CFCs foram substituídos por HFCs (Hidrofluorcarbonetos) e PFCs (Perfluorcarbonetos), que são cerca de 15 vezes mais caros. Associa-se a esta ação o fato de que as mesmas empresas que perderiam a lucratividade com o comércio dos CFCs, foram as responsáveis pelo desenvolvimento de projetos que produziram as substâncias químicas substituídas aos CFCs. Nessa esteira, centenas de milhões de refrigeradores tiveram que ser substituídos, como também milhares de equipamentos de plantas industriais, para que pudessem se adequar às novas condições que haviam sido impostas com o advento do protocolo (FERREYRA, 2006; FELÍCIO, 2013). Essa época foi marcante devido às diversas propagandas de produtos refrigeradores que estampavam o slogan: “Não Agrida a Camada de Ozônio”, e que em certa medida impulsionaram a economia.

Os países subdesenvolvidos (então conhecidos de 3º Mundo) sofreram pressões por parte do Fundo Monetário Internacional (FMI), que se apropriou do discurso ambiental de salvar o planeta. Entretanto, segundo Felício (2013), a não assinatura do acordo tinha claras implicações para as economias desses países, conforme defende ao apontar no artigo 4 do protocolo de Montreal: *Controle de Comércio com não-partes*. Em linhas gerais, tal documento obriga a manter um estado de guerra econômica, com uma série de restrições por parte das nações que não participassem (FELÍCIO, 2013).

No contexto contemporâneo, podemos observar algumas implicações que são reflexo da substituição dos CFCs. Como exemplo, os seus substituintes, os HCFCs (Hidrogenoclorofluorcarbonetos) e HFCs, custam em torno de US\$ 128,00/kg, e com isso os desodorantes aerossóis e outros produtos sprays passaram a utilizar o gás butano como propolente, que custa menos de US\$ 1,00/kg. Em certa medida trata-se de uma estratégia industrial para a redução de custos de produção, porém, os substitutos são

atualmente considerados pelo IPCC como danosos para a camada de ozônio e causadores de aquecimento global.

Nesse contexto, os céticos questionam: Será que os HFCs e HCFCs, devido ao término de suas patentes, não estariam envolvidos em mais uma manobra como a anteriormente vista? De acordo com Felício (2013), estima-se que só o Brasil precisaria de cifras de aproximadamente US\$ 2,0 bilhões de dólares para promover uma nova substituição, o que implicaria na busca por empréstimos com fundos internacionais, comprometendo ainda mais as contas públicas brasileiras.

Considerações finais

O tema em debate, depleção do ozônio estratosférico, é tido como um dos relevantes problemas ambientais globais. Atualmente não tem muito espaço nas mídias, pois é visto de modo majoritário como uma questão científica definida e com ações exitosas em andamento. Assim, atribuímos à predominância dessa visão, a incipiência na realização de atividades, nos diversos níveis de ensino, que abordem o tema, visto que quando o fazem, tratam-no como uma questão científica de problemática definida.

Objetivando debater o tema fundamentado em perspectiva mais complexa, pudemos observar duas linhas de pensamento. A majoritária, que trata como uma questão científica definida, considerando um problema de natureza antropogênica causado pelo uso dos CFCs. E, mesmo diante de algumas incertezas que são postas em discussão, como: 1) As limitações e incertezas dos modelos computacionais; 2) As imprecisões em medidas e na repetibilidade das condições reacionais; 3) E o entendimento químico quanto ao rendimento quântico, sobre a formação do cloro que desencadeia a reação de degradação do ozônio; esta linha de pensamento figura como predominante, pois os cientistas que a fundamentam acreditam ter estabelecido uma Química bem consolidada.

Com relação à linha minoritária, também conhecida por céticos, ela busca ampliar o debate sobre o fenômeno e, entre questionamentos e ponderações, afirma: 1) Ser um fenômeno de causa natural; 2) Serem as atividades marítimas e vulcânicas as principais responsáveis por fornecer cloro para

desencadear a reação; 3) A ênfase na importância de se colocar que ocorre uma variabilidade sazonal, entre o fim do inverno e início de primavera Antártica (explicitamos que não é que a corrente majoritária desconsidera estas questões, contudo, não dá ênfase, e assim, transparece a ideia de que o fenômeno ocorre constantemente); 4) Questionamentos veementes sobre as reações químicas que são utilizadas para explicar o fenômeno, de modo especial, sobre a reação que descreve a formação do cloro catalítico da reação.

Quanto às questões políticas, a linha majoritária comemora o sucesso das restrições comerciais e de utilização dos CFCs, obtidas com a assinatura do Protocolo de Montreal. De acordo com ela, a camada de ozônio dá sinais de recuperação devido ao êxito da assinatura do acordo climático. Contudo, os céticos alegam que o referido protocolo representa um instrumento regulatório que obrigou diversos países em desenvolvimento a pactuarem, devido às restrições comerciais que poderiam sofrer, de modo a beneficiar multinacionais da indústria com sede em países desenvolvidos e, conseqüentemente, favorecer as economias desses países.

Quanto às questões econômicas, não há quaisquer discussões por parte da linha majoritária nesta dimensão, haja vista defenderem a posição de que um grave problema ambiental está sendo solucionado. Já os céticos apontam para a ocorrência de uma articulação política por parte dos países desenvolvidos, que tem por interesse beneficiar as próprias economias, visto que, segundo suas afirmações, estamos diante de um programa de substituição programada que envolve cifras bilionárias para sua execução, e a instituição do Protocolo de Montreal representa um mecanismo que beneficia as grandes indústrias químicas mundiais.

Referências

BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2ª Ed. Bookman: São Paulo, 2006.

BOYES, E.; STANISSTREET, M. The ideas of secondary school children concerning ozone layer damage. *Global Environment Change*, v. 4, n. 4, p. 311-324, 1994.

C&EN, Ozone Depletion: 20 years after the alarm. *Chemical & Engineering (C&EN)*, News Archive, v. 72, n. 33, p. 8-13, 1994.

EBERSTEIN, I.J. Photodissociation of Cl_2O_2 in the spring Antarctic lower stratosphere. *Geophysical Research Letters*, v. 17, n. 6, p. 721-724, 1990.

FAHEY, D.W.; HEGGLIN, M.I. Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer: 2010 Update, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. Geneva, Switzerland: *World Meteorological Organization*, 2011.

FELÍCIO, R.A.; ONÇA, D.S. Os mitos sobre o ozônio: um resgate das origens da discussão – I. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 8, n. 8, p. 01-26, 2012.

FELÍCIO, R.A. Os mitos sobre o ozônio: um resgate das origens da discussão – II. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 9, n. 8, p. 71-99, 2013.

_____. “Climate Change” and “Global Warning” – Formatting and New Paradigm for contemporary thought? *Ciência e Natura*, n. 36, p. 257-266, 2014.

FERREYRA, E. El fraude del ozonio. In: _____. *Ecologia: mitos y fraudes*, FAEC, México, Cap. 2, 2006.

MOLINA, L.T.; MOLINA, M.J. Production of Cl_2O_2 from self-reaction of the ClO radical. *Journal of Physical Chemistry*, v. 91, n. 2, p. 433-436, 1987.

MOZETO, A. A. Química Atmosférica: A Química sobre nossas cabeças. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, v. 13, p. 41-49, 2001.

OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C. D.R. A Educação no contexto do aquecimento global: Da ignorância e analfabetismo científico ao raciocínio crítico e literacia climática. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 11, n. 4, p. 287-310, 2015.

PELEGRINI, M.; ARAÚJO, W.R.B. Efeito Estufa e Camada de Ozônio sob a perspectiva da interação Radiação-matéria e uma Abordagem dos Acordos Internacionais sobre o clima. *Química Nova na Escola*, v. 40, n. 2, p. 72-78, 2018.

ROCHA-FILHO, R.C. Camada de Ozônio dá Nobel. *Química Nova na Escola*, n. 2, p. 10-11, 1995.

SANTOS, K.M.; SANTOS, L.D.; PITANGA, A.F. Assessing the Knowledge of Undergraduate Students in Chemistry on the Possible Depletion of the

Ozone Layer. *International Journal of Chemistry Education*, v. 3, n. 1, p. 036-043, jul. 2018.

SCHIERMEIER, Q. Chemists poke holes in ozone theory. *Nature*, v. 449, p. 382-383, 2007.

SILVA, R.W.C.; PAULA, B.L. Causa do Aquecimento Global: Antropogênica versus Natural. *Terrea Didatica*, v. 5, n. 1, p. 42-49, 2009.

STRAHAN, S.E.; DOUGLASS, A.R. Decline in Antarctic ozone depletion and lower stratospheric chlorine determined from Aura microwave Limb Sounder Observations., *Geophysical Research Letters*, v. 45, n.1, p.382-390, 2018.

TOMASONI, M.A. Mudanças Globais: A problemática do ozônio e algumas de suas implicações. *GeoTextos*, vol. 7, n. 2, dez. p. 141-178, 2011.

VERSPRILLE, A.N.; TOWNS, M.H. General Chemistry students' understanding of climate change and the chemistry related to climate change. *Journal of Chemical Education*, v. 92, n. 4, p. 603-609, 2015.

VERSPRILLE, A.N.; ZABIN, A.; HOLME, T.A.; MCKENZIE, L.; MAHAFFY, P.; MARTIN, B.; TOWNS, M.H. Assessing Student Knowledge of chemistry and climate science concepts associated with climate change: Resources to Inform teaching and Learning. *Journal of Chemical Education*, v. 94, n. 4, p. 407-417, 2017.