
OSÔNIO ATMOSFÉRICO: UM FILTRO NATURAL

A. R. de Souza

Departamento de Física – UFSC

Florianópolis – SC

Introdução

Durante as últimas décadas um grande destaque tem sido dado aos problemas ecológicos que hoje não são mais tão questionados. A população vive diariamente ligada a problemas de poluição, de preservação da natureza e, também, a riscos de guerra atômica, que pode afetar profundamente a vida sobre a Terra.

Dentre esses riscos, aqueles relativos à estabilidade da atmosfera apresentam uma importância considerável. Uma ruptura de equilíbrios físico-químicos, causada pela atividade humana, poderá ocasionar efeitos imprevisíveis na atividade biológica terrestre, acarretando problemas de saúde, queda na produção de alimentos ou até mesmo a destruição da raça humana.

Numerosos trabalhos têm sido elaborados sobre os efeitos locais da poluição, mas os problemas ligados ao balanço global de certos componentes atmosféricos (componentes minoritários) são ainda incertos. Entre estes encontramos os óxidos de nitrogênio (N_2O e NO), objetos de numerosos estudos nestes últimos anos⁽¹⁻³⁾ devido à sua importância na camada de ozônio. O equilíbrio físico-químico dessa camada constitui uma das preocupações dos aeronautas, pelo fato de que representa um escudo protetor contra os raios ultravioletas mais nocivos à vida terrestre ($\lambda < 310$ nm). A destruição, ou mesmo uma diminuição sensível do ozônio atmosférico, poderá acarretar perturbações climáticas, fim da fotossíntese dos vegetais, aumento do número de ocorrências de câncer de pele, etc⁽⁴⁾.

Devido à importância e ao número de interpretações mais ou menos polêmicas desse tema, faremos uma análise dos principais riscos de equilíbrio da camada de ozônio englobando as causas de origem humana

(poluição industrial, adubação química, experiências atômicas, aviões à elevadas altitudes, etc) e as naturais (vulcões e magnetismo terrestre).

A atividade humana e a camada de ozônio

A atmosfera está sendo, a cada dia, mais modificada e os riscos de um desequilíbrio são cada vez maiores. Diariamente nela são injetadas milhares de toneladas de compostos poluentes, sendo que alguns são imensamente nocivos ao equilíbrio do ozônio. Antes de relatar os principais riscos devido à poluição, vale ressaltar como o ozônio é formado na atmosfera. Segundo Chapman (1930)⁽⁵⁾, o éter está em equilíbrio perfeito com o oxigênio entre sua formação e destruição. As várias reações químicas e processos de emissão de toda a cadeia poderiam ser representados simplesmente pelo esquema mostrado na Fig. 1.

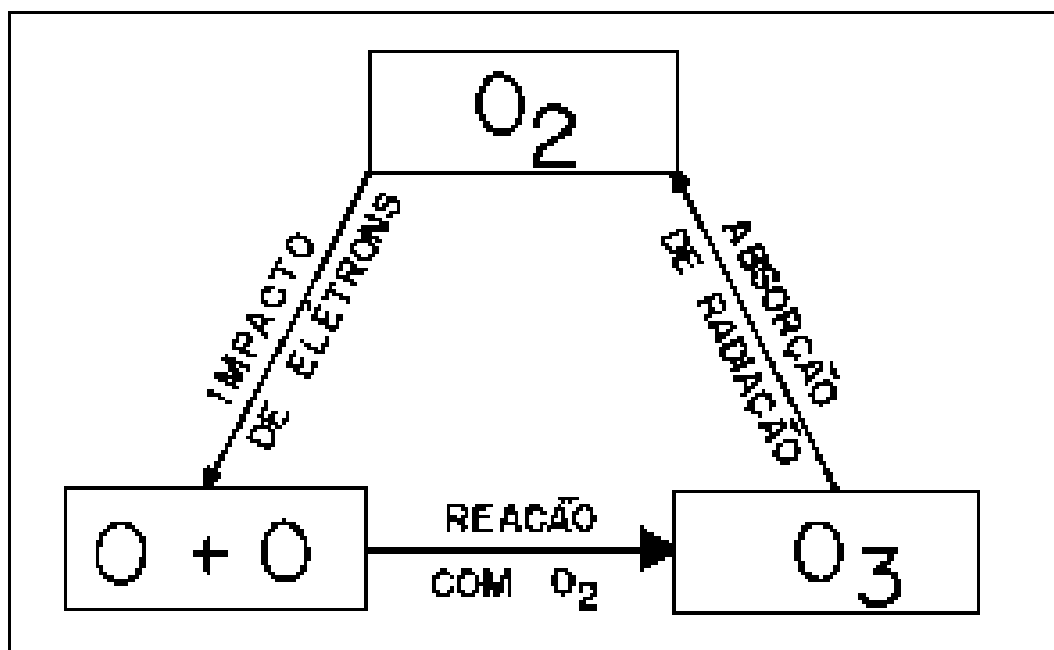


Fig.1

Entretanto, esse equilíbrio é afetado, como veremos adiante, pela poluição causada por vários compostos resultantes de processos industriais ou agrícolas, sendo os óxidos de nitrogênio e os produtos clorados os mais significativos.

1. Produtos clorados

Um dos maiores riscos de destruição da ozonoesfera está nos chamados “freons” (Clorofluorometanos-CFM) que reagem com o ozônio atmosférico através de uma cadeia de reações que termina no HCl, o qual é precipitado de volta à Terra pelas gotas de chuva. Estes compostos (CFCl_4 , CF_2Cl_2 , CH_3Cl_3 , ...) são comumente usados em bombas AEROSÓIS e em REFRIGERADORES. Os aerossóis têm seu uso diminuído nos países mais desenvolvidos devido ao boicote dos consumidores e ao controle relativo dos órgãos governamentais. Essas medidas resultaram numa significativa diminuição do consumo e da fabricação desses produtos, principalmente nos E.U.A. Na Europa, as fábricas estão ainda aguardando uma diminuição significativa do ozônio para então tomar alguma atitude. Vale ressaltar que medidas realizadas pela NASA, a partir de 1958 sobre o nível de O_3 na atmosfera, não têm mostrado variações significativas a não ser uma diminuição deste entre 1958-1962 (provavelmente, devida a explosões nucleares a céu aberto), tendo retornado ao nível de 1958 em 1970 (veja Fig. 2). Quanto à utilização desses produtos em refrigeradores, a situação é mais crítica a cada ano: cada aparelho que é transformado em sucata tem seu gás espelho para a atmosfera, contribuindo assim para uma diminuição do nível de ozônio. O problema consiste em saber até quando a atmosfera vai resistir.

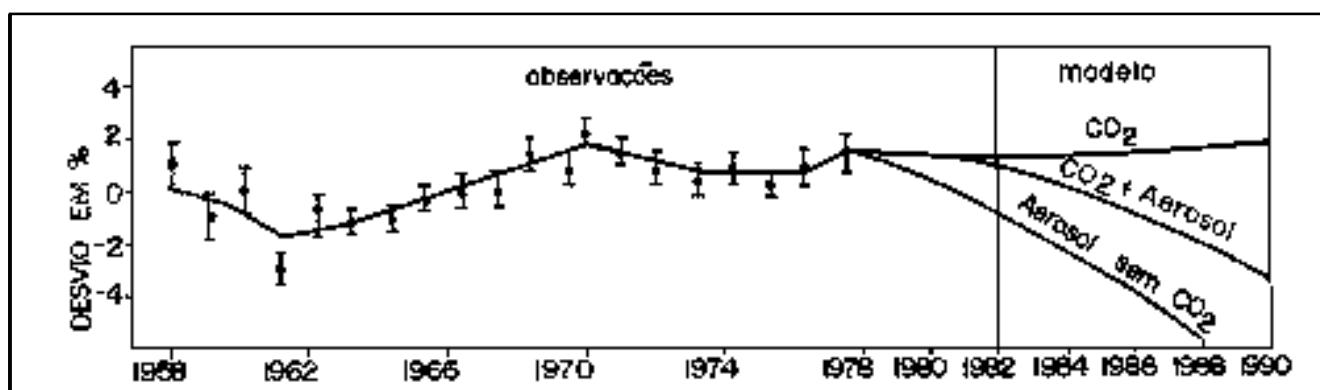
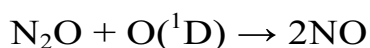


Fig. 2: Evolução do nível de ozônio atmosférico em função do tempo (NASA, 1979) - ref. 4, p. 1049.

2. Óxidos de nitrogênio

O monóxido de nitrogênio é uma molécula fundamental para a interpretação dos fenômenos que destroem o ozônio atmosférico.

Através da reação $O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$ ela é responsável pela principal cadeia de destruição. Ressaltamos, porém, que naturalmente existe um equilíbrio entre essas cadeias de reações, de modo que, sem intervenção exterior, há um equilíbrio entre formação e extinção do ozônio pelos óxidos de nitrogênio. Contudo, o risco ocorre devido ao fato de que o monóxido de nitrogênio é abundantemente formado pela reação



sendo o oxigênio metaestável $O(^1D)$ formado na atmosfera por vários processos de excitação (impacto direto de elétrons, impacto de elétrons seguido de cascata radiativa, reações químicas etc.) e o N_2O tem como origem principal as fontes terrestres, que relataremos a seguir. A formação dessa molécula na atmosfera foi sugerida por Zipf (1980)⁽¹⁾, através da reação do oxigênio molecular com o nitrogênio no seu estado metaestável $N_2(A)$. Porém, medidas recentes realizadas⁽³⁾ mostram que a sua produção através de tal reação, é desprezível. Na superfície terrestre o N_2O é produzido por processos complicados de nitrificação e desnitrificação do solo. Ora, a adubação química de forma exagerada pode constituir-se numa superprodução de N_2O e conseqüentemente num desequilíbrio da camada de ozônio.

A produção de NO diretamente, principalmente pelos aviões supersônicos voando a altas altitudes, foi ventilada durante muitos anos como um risco real. Porém, análises recentes têm mostrado que a quantidade de óxido nítrico produzida pela frota existente é desprezível frente às outras formas. De fato seriam necessários da ordem de 500 vôos diários de aviões tipo Concorde para que a quantidade de NO formada fosse comparável àquela que é produzida naturalmente na atmosfera⁽⁴⁾.

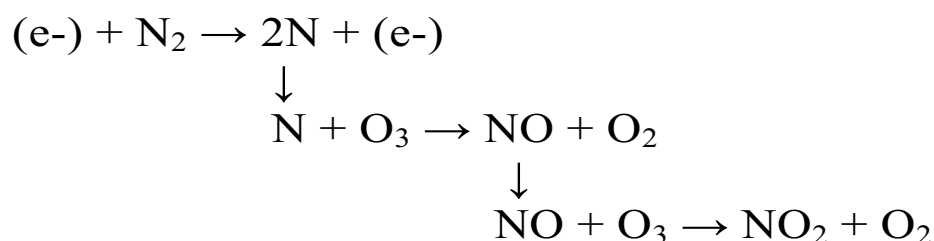
Os riscos oriundos dos óxidos de nitrogênio nos parecem menores que os dos produtos clorados pelo fato de existir um equilíbrio entre os óxidos (NO, N_2O , NO), além da formação do ácido nítrico (HNO_3) que elimina parte dos óxidos de nitrogênio terminando a cadeia. Isso não ocorre com os produtos clorados.

Ameaças naturais

Além das atividades humanas, outros tipos de mecanismos, que poderão ter alguma influência sobre a camada de ozônio, são o que poderíamos chamar de ameaças naturais de desequilíbrio. Dentre elas poderíamos citar a produção de óxidos de nitrogênio pelos vulcões, cuja in-

fluência nos parece pouco significativa, e a “diminuição do magnetismo terrestre”. Nos restringiremos a falar sobre essa “diminuição” e de como ela influenciaria a camada de ozônio.

A Terra possui dois “escudos” naturais de proteção da atividade biológica. Um deles é a camada de ozônio, como já mencionamos, e o outro é o campo magnético terrestre que se constitui numa perfeita armadilha às partículas carregadas oriundas do vento solar. Ora, um efeito que pode causar uma certa preocupação para as gerações futuras é a aparente diminuição linear deste campo nos últimos 150 anos, em torno de 0,5% a cada década⁽⁶⁾. Se essa diminuição é realmente linear*, as partículas carregadas chegarão cada vez mais perto da Terra até atingirem aproximadamente 20 km de altitude (camada de ozônio). Nessa região, o impacto eletrônico sobre o nitrogênio seria fatal ao ozônio atmosférico através de uma cadeia de reações do tipo:



que poderia produzir a escassez deste de uma forma significativa, ou mesmo a sua destruição total. Porém, o tempo de medida dessa redução nos parece muito pequeno para que possamos ser conclusivos. Somente nos próximos 500 anos outras gerações poderão fazer uma análise mais precisa desse fenômeno. Deste modo pensamos que os riscos de destruição da camada de ozônio, por causas naturais, nos parecem insignificantes diante da poluição.

Conclusão

Após o breve relato resta-nos perguntar se existe realmente um risco a médio prazo. Modelos matemáticos levando em conta todos esses fenômenos seriam muito complexos. Dados da NASA (1981) levaram

* Vale salientar que o período de 150 anos é muito curto para se ter uma idéia exata sobre esse assunto, pois pode ser que a variação seja cíclica e que após algumas centenas de anos o campo retorne ao seu valor original.

a modificar os modelos anteriormente realizados, devido à produção de O_3 pelo CO_2 , também abundantemente produzido pela poluição. O problema apresenta uma complicação adicional devido à dificuldade de medidas precisas sobre a densidade de ozônio na atmosfera, o que impossibilita a construção de um modelo mais realista. Além do mais, é possível que o ozônio seja influenciado por outros mecanismos que desconhecemos, como reações iônicas, formação de agregados, química do enxofre etc.

Parece-nos claro o risco da poluição industrial. Se de um lado ela pode produzir ozônio a partir do CO_2 , viria a pergunta lógica: o que acontecerá com o aumento contínuo de CO_2 na atmosfera? A resposta é bem conhecida. O excesso de CO_2 poderá causar um superaquecimento desta, resultando no chamado “efeito estufa” que poderá ter sérias consequências sobre as calotas polares e conseqüentemente provocar o aumento do nível dos oceanos. A superpopulação do planeta exige um aumento da produção de alimentos. Isto implica em mais adubação dos solos e conseqüentemente numa produção adicional de N_2O . Adiciona-se a estes os riscos de guerra química ou nuclear que nos preocupam cada vez mais.

De todos esses aspectos estamos diante de dúvidas não solucionadas: de um lado as injeções de CFM atacam o ozônio com todas as possibilidades de consequências graves; de outro, as medidas indicam que este não tem diminuído como consequência desses produtos. Este argumento não contradiz o primeiro uma vez que o dióxido de carbono produz ozônio na atmosfera. O problema é bastante complexo, devido ao fato de que a substituição dos CFM por hidrocarbonetos nos aerossóis, a recuperação dos sistemas de refrigeração etc., dependeriam de um tratado internacional sobre a proteção da camada de ozônio. Mas infelizmente nada de concreto nesse sentido tem sido feito e provavelmente não será; a menos que haja uma variação significativa do nível desse gás. Até lá nos resta a luta, mais pelo aspecto moral do que científico, pela proteção desse filtro natural que nos possibilita viver.

Referências Bibliográficas

1. ZIPF, E.C. Production of nitrous oxide by $N_2(A) + O_2$ reaction. *Nature*, 287, p. 525-6, 1980.
2. ZIPF, E.C. & PRASAD, S.S. A mesospheric source of nitrous oxide. *Nature*, 295(5845), p. 133-5, 1982.

3. SOUZA, A.R. Transferts d'énergie entre les molécules métastables d'azote $N_2(A^3\Sigma)$ et les atomes et molécules d'oxygène. Tese de Doctorado. Université Paris – sud, Orsay-França, 1985.
4. MULLER, C. L'ozone de l'atmosphère. La recherche, 130(13): p. 180-9, 1982.
5. CHAPMAN, S. In: BRASSEUR, G. Physique et chimie de l'atmosphère moyenne. Paris, Masson, p. 153-61, 1982.
6. BREKKE, A. & EGELAND, A. The northern light. Berlin, Springer-Verlag, 1983.