



Ozônio: herói e vilão

Poucos assuntos – com exceção, talvez, da AIDS e dos supercondutores – ocuparam tanto espaço nas revistas científicas quanto a questão do colapso do ozônio nas altas camadas atmosféricas em consequência das ações antrópicas. A conceituada revista *Science*, por exemplo, no período de novembro de 1986 a junho de 1988, referiu-se a essa questão pelo menos em dez de seus números semanais. O ozônio ocupa uma posição, ao mesmo tempo, de vilão e de herói no nosso espaço ambiental. Vilão porque, além de representar um indicador importante das reações fotoquímicas realizadas a partir de emissões industriais e veiculares – sendo, conseqüentemente, um indicador de poluição atmosférica –, constitui, por si mesmo, um composto danoso à saúde humana. Pesquisas recentes (revista *Science* de 24 de junho de 1988) vêm confirmando cada vez mais a ocorrência de alterações funcionais e bioquímicas nos pulmões de seres humanos e animais de laboratório, a partir da exposição a curto prazo ao ozônio. Nesse sentido, os cientistas norte-americanos se movimentam com o objetivo de conseguir da EPA – Environmental Protection Agency e de outros órgãos controladores do meio ambiente que sejam reduzidos os valores permissíveis para esse tóxico no ar que respiramos. Por outro lado, a presença do ozônio natural nas altas camadas atmosféricas – ao contrário do que ocorre nas camadas inferiores – constitui um fator indispensável e providencial como elemento bloqueador da passagem de radiações ultravioletas, sabidamente nocivas à vida. Sendo assim, ele constitui um dramático exemplo de poluição segundo a sua definição clássica como “matéria e/ou energia colocadas no lugar errado”.

Buraco

Algumas questões, entretanto, permanecem inexplicadas ou controversas a respeito do “buraco” na camada de ozônio. Um artigo publicado na edição de 21 de novembro de 1986 da *Science* dizia que, entre os anos 1985 e 2029, espera-se um acréscimo de 8,3 milhões de casos de câncer da pele – com 167 mil mortes – e 30 milhões entre 2030 e 2074, além de efeitos deletérios dos raios ultravioletas sobre a flora e a fauna; mas não havia comprovação de que o “buraco” sobre a Antártida se devesse aos fréons (CFC – clorofluorcarbonetos). Também os vulcões podem ser responsáveis por ele.

A mesma revista, em 3 de julho de 1987, detalhava a fotodissociação de O_2 formando O_3 e a destruição catalítica deste último (ozônio) pelos óxidos de hidrogênio, de nitrogênio e outros, entre os quais o cloro do CFC e o metano produzido pelos ruminantes, pelas plantações de arroz, pelos pântanos e cupins. Em 10 de julho de 1987, em um outro artigo, insiste-se na influência que as erupções vulcânicas exercem, ao exalarem cloro, na redução da camada de ozônio, observando-se que a primeira grande depressão ocorreu em 1982 coincidindo com a erupção do *El Chidrón* no México. Adianta esse artigo que provavelmente se trata de variações transitórias em virtude da influência do fenômeno meteorológico conhecido como *El Niño*, que atuou fortemente entre 1982 e 1983. Em sua edição de 9 de outubro de 1987, mais uma vez a revista anuncia o grande esforço realizado pela Nasa – National Aero Spatial Agency, deslocando 150 cientistas, dois aviões e o concurso de satélites para esclarecer a questão. Verificou-se que a quantidade de monóxido de cloro presente na região “buraco” é 100 a 500 vezes maior que a permissível, ou que a observada em latitudes médias do globo. A presença

de bromo, apontada como causa alternativa, não justifica as concentrações muito baixas.

A edição de 27 de novembro de 1987 traz interessantes novidades sobre o mecanismo da formação de ozônio a partir de O_2 na superfície de partículas de gelo a cerca de $200^\circ K$ na estratosfera, onde as nuvens são formadas de partículas de gelo contendo ácido nítrico. Nessas condições, o ácido clorídrico e o nitrato de cloro, em fase gasosa, geram o gás cloro que pode rapidamente fotolizar compostos, transformando-os em radicais livres. Durante a reação, algumas espécies de nitrogênio são suprimidas e, assim, todas as condições concorrem para a criação de um ambiente favorável à destruição catalítica do ozônio pelos radicais halogenados livres.

A 11 de dezembro de 1987, a revista noticia que a EPA exige corte na produção norte-americana de CFC visando reduzi-la de 50% na próxima década, pois uma reunião provocada pela UNEP em setembro produziu manifestação de 23 países endossando essas medidas preliminares.

Redução global

Já a edição de 1º de janeiro de 1988 revela os novos resultados de pesquisa, informando que a redução do ozônio não ocorreu somente sobre a Antártida, mas em dimensão global (Satélite Nimbus 7). Só entre 1979 e 1986, globalmente ele havia diminuído 5% ao ano, apresentando, porém, grandes variações em relação à latitude. Ou seja, nos trópicos a redução é mínima – 0,5% a 1% anualmente – sendo máxima nos pólos e maior no hemisfério sul que no hemisfério norte, em consequência de diferenças na circulação atmosférica. Em sua edição de 8 de janeiro, a revista informa, entre outras coisas, que no Rio de Janeiro, desde 1979, houve um decréscimo de apenas 3% a 5% do

ozônio, enquanto que na Antártida a queda foi de 50%. Em 25 de março são publicados dados ainda mais positivos: a redução média de 50% ocorreu dentro do "buraco", mas em certas regiões, na camada de maior impacto, ou seja, na baixa estratosfera, ela chegou a 95%!

Os clorofluorcarbonetos ocupam, sem dúvida, o primeiro lugar na lista dos vilões. Critica-se, porém, o dado segundo o qual se afirma que a cada 2,5% de decréscimo de ozônio – nas latitudes médias do hemisfério norte – corresponde 10% de aumento da incidência de câncer de pele, pois os seres vivos, inclusive o homem, tendem a reduzir sua exposição ao sol nos períodos em que ocorre maior redução de ozônio, o que não é necessariamente verdadeiro no hemisfério sul. Finalmente, em artigo publicado na edição de 20 de maio, são comunicados novos importantes resultados da pesquisa sobre os detalhes do processo de formação e decomposição do ozônio na estratosfera, principalmente no que diz respeito à forma de participação dos compostos de nitrogênio. As reações de N_2O_5 na superfície do gelo, a $185^\circ K$, com H_2 e HCL , levam à formação de HNO_3 condensado, causando a reação e rarefação das formas ativas de nitrogênio (NO_x) durante o inverno polar, condição importante para a depleção do ozônio no pólo. A reação com HCL produz nitril cloreto gasoso ($CL NO_2$), além do HNO_3 condensado. O $CL NO_2$, que não reage ou condensa em gelo a $185^\circ K$, será intensamente fotolizado na primavera antártica, formando cloro atômico que entra nos ciclos de destruição catalítica de ozônio. O outro produto da fotólise, o NO_2 gasoso, pode ser importante na repartição do NO_x entre fases gasosas e condensadas no inverno da Antártida.

Morte das florestas por destruição de micorrizas

As micorrizas vêm constituindo o objeto de atenções e pesquisas cada vez mais concentradas quanto a sua importância como elemento intermediário entre as árvores e o meio físico – especialmente os solos – nas florestas de todo o mundo. Esses delgados filamentos de fungos em associação com as raízes de algumas árvores, se antes eram considerados

quase como uma curiosidade, não só são muito mais amplamente utilizados pela natureza – é o que se sabe hoje –, constituindo uma constante em quase todas as espécies de árvores conhecidas, como também desempenham um papel decisivo no seu desenvolvimento. Desenvolvendo-se em torno das terminações radiculares mais finas, muitas vezes penetrando as próprias células das raízes, esses fungos constituem uma verdadeira ponte metabólica entre a árvore e o solo, e conduzem, deste para aquela – freqüentemente transformando-os quimicamente – muitos dos componentes químicos que, de outra forma, não poderiam ser assimilados pelas árvores. Esta função das micorrizas constitui uma das razões pelas quais a eliminação da camada superficial dos solos freqüentemente leva à esterilidade, mesmo que se apliquem adubos para a sua fertilização. É isso porque a camada de solo orgânico não só contém os esporos microscópicos a partir dos quais se desenvolveriam os micélios de fungos, como também pelo fato de estes serem específicos para cada espécie de árvore da mata. Um artigo publicado no boletim *Protection de l'Environnement en Suisse*, em fevereiro de 1987, com o título "A morte das florestas: qual o papel desempenhado pelos adubos?", focaliza, entre outros aspectos, os efeitos negativos, no solo das florestas, que as transformações químicas ocorridas a partir da utilização sem controle científico, de adubos – mesmo orgânicos –, no solo de florestas, podem provocar no desenvolvimento normal de micorrizas.

Como se sabe, elas são muito mais importantes para o crescimento e a saúde dos vegetais das florestas que para os dos campos de cultura agrícola. Esta é a razão pela qual a legislação suíça, desde 1986, introduziu regulamentos rigorosos em relação ao uso de adubos e praguicidas em ambientes florestais, interditando totalmente a utilização de herbicidas e exigindo autorização especial, sempre em caráter precário, para o emprego de produtos fitossanitários e adubos não só nas florestas como em suas proximidades.

Biotechnologia: feliz consórcio biologia/engenharia

A revista francesa *La Recherche* editou, em maio de 1987, um número especial totalmente dedicado ao "futuro das biotecnologias". Um capítulo interessante desse número, de autoria de R.M. Willemot e G. Durand, ambos de Toulouse, refere-se aos reatores biológicos, cuja finalidade é a utilização prática da extraordinária capacidade das enzimas e das células que as contêm, em escala industrial e de maneira econômica, objetivando, como subproduto, a produção em massa das próprias células que as fabricam. De um lado, nesse consórcio, o biólogo isola organismos vivos, selecionando as formas que apresentam melhor desempenho em escala de laboratório, procurando acentuar ou inibir algumas de suas características. De outro lado, o engenheiro constrói um conjunto de cubas, tubos, registros e bombas, que, reunidos, constituem a *unidade de produção*. Trata-se, na verdade, de colocar a cultura microbiológica, ou a enzima, em condições que lhes permitam exprimir o máximo de sua potencialidade, tendo em vista um objetivo específico.

Tal interesse deriva não apenas do fato de serem as enzimas entidades macromoleculares, dotadas de uma extraordinária capacidade de reconhecimento seletivo de estruturas no espaço, como também por elas terem o poder de acelerar as reações químicas segundo fatores da ordem de 10^9 a 10^{15} vezes, em condições favoráveis de temperatura, pressão, pH etc. Há cerca de 20 anos vêm sendo realizadas experiências no sentido de se obter a imobilização de enzimas em suportes sólidos, com o objetivo de utilizá-las por períodos prolongados em reatores contínuos. Esse procedimento não se justifica, porém, nos grandes processos industriais convencionais, em que o custo do tratamento enzimático é freqüentemente inferior a 1% do custo da matéria-prima a ser transformada, o que explica o fato de a imobilização não ter desfrutado de maior entusiasmo nos últimos dez anos. A aplicação das biotecnologias à transformação de substratos residuais, tais como lixo e esgotos, em subprodutos úteis como combustíveis, adubos e alimentos, constitui um dos mais fascinantes campos de investigação.