

NOTAS E RECCENSÕES



UNIVERSIDADE DO PORTO

1989

## Notas e Recensões

### A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ATMOSFERA: CONTRIBUTO DA CLIMATOLOGIA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO

NOTA DE DIVULGAÇÃO

#### 1. A DESCOBERTA DO FOGO E A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL — DOIS MARCOS IMPORTANTES NA HISTÓRIA DOS IMPACTES AMBIENTAIS RESULTANTES DAS ACTIVIDADES HUMANAS

Até há, sensivelmente, meio milhão de anos, o homem inseria-se no meio ambiente de uma forma mais ou menos equilibrada (alimentando-se de produtos naturais e plantas): a energia transferida para os predadores e decompositores era idêntica à soma do valor energético dos produtos consumidos.

A descoberta do fogo é denominada por Boyden (1981) como o primeiro «marco tecnológico e ecológico». A sua utilização para aquecer e cozinhar os alimentos, proporcionou o desencadear dos primeiros impactos significativos no ecossistema e de graves incompatibilidades entre o homem e o meio ambiente que se perpetuaram e agudizaram até aos dias de hoje.

O fogo, além de libertar  $CO_2$  para atmosfera, (embora em quantidades negligenciáveis), implicou *inputs* de energia extra relativamente elevados no sistema, permitindo ao homem migrar e ocupar espaços no globo onde não sobreviveria sem calor artificial impedindo ao mesmo tempo a evolução e o equilíbrio das espécies pela selecção natural, já que era utilizado como instrumento suplementar de defesa e ataque.

Boyden (1981) afirma mesmo que é graças ao fogo que se torna possível a domesticação dos animais e plantas, definindo esta fase como o início do verdadeiro processo de manipulação dos processos bióticos. Esta «superioridade» dos homens sobre as outras espécies, adquirida pelo domínio do fogo, permitiu a fixação de alguns grupos humanos o que conduziu à destruição de vastas áreas de floresta no hemisfério norte e à transferência de uma série de espécies vegetais e animais do seu *habitat* natural para diversos pontos do globo. Com o início do sistema de monoculturas agrícolas de produtos alimentares, surgiu o

risco da fome e das carências alimentares devidas à restrição da dieta a um número reduzido de elementos.

A ocupação de áreas onde o homem não estava «naturalmente» integrado, obrigou-o a esforços consideráveis que lhe retiraram «bem-estar», seja porque passou a desempenhar tarefas mais monótonas ou porque foi obrigado a utilizar mais força de trabalho, ou ainda porque viu diminuídas as suas horas de lazer.

A revolução industrial desencadeada há cerca de 150 anos, marcou o início de uma segunda etapa de intervenção do homem no ecossistema, cuja magnitude e importância passou a ser substancialmente maior. O consumo de energia aumentou a um ritmo sem precedentes e deixou de confiar-se à combustão da madeira, para passar à utilização do carvão, dos derivados de petróleo, da água e recentemente das reacções termonucleares.

A especialização ocupacional motivada pela industrialização, obrigou a um constante aumento dos excedentes na agricultura, implicando o uso de fertilizantes e o recurso frequente a pesticidas, herbicidas, etc. A necessidade de aumentar a produção agrícola impediu o reconhecimento de que estes seres vivos destruidores de algumas plantas desempenham outras funções muito úteis na cadeia trófica. O uso destes produtos químicos letais tem vindo a afectar o equilíbrio do ecossistema, favorecendo umas espécies em detrimento de outras e alterando completamente o ciclo dos nutrientes.

A necessidade de maximizar rapidamente a rentabilidade de qualquer actividade desencadeou uma procura desenfreada da inovação tecnológica com aplicabilidade imediata. Surgem, assim, uma série de novos compostos químicos acerca dos quais pouco se sabe, mas que depois de utilizados nas inúmeras actividades humanas, são drenados para o solo, para a água e para a atmosfera.

A investigação na área da medicina e da farmácia, eliminou algumas das principais causas de morte, favorecendo o enorme aumento, nos últimos anos, da pressão populacional no globo. Este aumento de população e a necessidade de alimentos que acarreta têm servido de justificação a uma série de atropelos no ecossistema.

## 2. AS DÉCADAS DE 50 e 60 — DUAS PERSPECTIVAS FACE AO MEIO AMBIENTE

Até à década de 50, vingava a ideia de que os recursos naturais existiam para ser usados e de que a tecnologia resolveria todas as possíveis contradições, como por exemplo, a substituição das matérias-primas e fontes energéticas, à medida que se fossem esgotando. O pensamento religioso, nomeadamente, o Cristianismo, influenciou, certamente, esta forma simplista de observar o mundo, ao transmitir noções como a de que a Natureza existe para ser explorada e para «servir» o homem<sup>1</sup>.

Nos anos 60 porém, o desenvolvimento e a rápida difusão dos meios de informação, permitiram a tomada de consciência de problemas como a fome, as secas, as cheias e a poluição. O melhor conhecimento de diferentes pontos do globo permitiu perceber que não existiam muito mais áreas para descobrir, habitar e/ou explorar. Desabrocharam alguns grupos anti-desenvolvimento e foi nesta época que, pela primeira vez, se admitiu discutir e questionar o crescimento económico<sup>1</sup>. Aceitou-se finalmente, que «crescimento económico»<sup>2</sup> não tem que significar necessariamente «benefício».

A ideia de *desenvolvimento sustentado* surgiu um pouco mais tarde (meados da década de 80), como resposta às ideologias, mais pessimistas e talvez irrealistas, cimentadas no decurso dos anos setenta, de travar pura e simplesmente o crescimento. Anos setenta que viram adicionar-se ao número conjunto de incompatibilidades já existentes, a crise da principal fonte energética — o petróleo.

A noção de *desenvolvimento sustentado* torna-se internacionalmente reconhecida após a publicação de *Our Common Future* (1988)<sup>3</sup>. Este relatório sintetiza o pensamento de um vasto leque de personalidades ligadas à resolução das questões ambientais, desde investigadores a representantes do poder económico e político internacional.

A prática de uma política de *desenvolvimento sustentado* assume que a protecção e o ordenamento apropriado do meio ambiente, na fase de implementação de um projecto, é sempre mais vantajoso do que as medidas curativas tomadas posteriormente. Os processos de tomada de decisão, pelos quais as necessidades humanas são traduzidas em acções políticas, têm de ser reestruturados de forma a reflectirem melhor a interdependência entre o meio ambiente e a economia.

O desenvolvimento passa, portanto, pelo reconhecimento da importância do ciclo dos compostos químicos, da energia e da vida, para o bom funcionamento do ecossistema. Qualquer destes ciclos porém, ocorre numa gama variada de escalas espaciais e temporais.

<sup>1</sup> O'Riordan (1983) aponta duas das atitudes possíveis face aos problemas ambientais: uma dominada pela reverência, humildade e subjugação ao ecossistema, e outra que acredita na capacidade do homem para resolver os impactos ambientais existentes e minorar os futuros. Enquanto a primeira promove ideias como moralidade, limite e permanência, a segunda da favorece a racionalidade, objectividade e dinamismo.

<sup>2</sup> Smith, (1971) «...The desire for food is limited in every man by the narrow capacity of his stomach, but the desire for the conveniences and ornaments of building, dress, equipage, and household furniture, seems to have no limit or certain boundary...» cit. in O'Riordan, 1983, p. 49.

Mishan, (1973, p. 74) «...The rich corrupt themselves by practising greed, and corrupt the rest of the society by provoking envy...» cit. cit. in O'Riordan, 1983, p. 89.

<sup>3</sup> World Commission on Environment and Development, 1988 — *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford.

<sup>1</sup> White, (1967, p. 1205) «...Christianity is the most anthropocentric religion the world has seen, it has not only established a dualism of man and nature but has also insisted that it is God's will that man exploit nature for his proper ends...» cit in O'Riordan, 1983, p. 203.

### 3. O CONTRIBUTO DA GEOGRAFIA PARA A PRÁTICA DE UMA POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO — O EXEMPLO DA CLIMATOLOGIA

A contribuição do geógrafo, a par de outros investigadores, para o processo de decisão, advém do conhecimento generalizado, de que a tecnologia, as instituições político-administrativas e a investigação não são independentes entre si. A maioria dos impactos ambientais dependem das inovações tecnológicas e, das opções futuras dependerá o tipo de ruptura de equilíbrio com que o homem será confrontado. A magnitude dos futuros efeitos das actividades humanas no ecossistema, estará condicionada pela capacidade de intervenção dos governos e organizações transnacionais. Nem instituições, nem inovadores tecnológicos poderão, contudo, entender verdadeiramente as repercussões das suas acções ou descobertas, se os investigadores ligados à compreensão dos processos físicos e químicos do globo não forem capazes de as traduzir de uma forma simples e simultaneamente convincente.

A geografia possui uma flexibilidade teórico-metodológica que lhe permite desenvolver trabalhos em campos e com graus de aplicação diversos.

A climatologia, como disciplina da geografia, pode ser entendida e aplicada de modos diferentes, consoante o «problema» a resolver. Numa visão ortodoxa da geografia, a climatologia surge, explicitamente num dos ramos da geografia sistemática-área física. Optando por uma perspectiva integrada, ela será implicitamente incluída na análise espacial, ecológica e regional, mas também quando se abordam questões como o desenvolvimento dos recursos naturais, as estruturas ambientais, o ecossistema e mesmo na elaboração de políticas de planeamento e ordenamento territorial.

A noção de «clima» como expressão das condições atmosféricas, varia portanto, com as necessidades do investigador. Actualmente, impõe-se com insistência a necessidade de compreender o clima, mais do que artuná-lo em grandes grupos homogeneizados por características muito genéricas, porque se compreendeu que ligeiras variações climáticas podem acarretar reajustamentos económicos e sociais, cujos cenários são inimagináveis.

A aplicabilidade da climatologia na implementação de uma política de desenvolvimento sustentado, implica a adopção de uma perspectiva de «clima» como um sistema aberto, activo e complexo, cuja vitalidade está na dependência directa da capacidade de trocar energia e matéria com o exterior sem enveredar por uma aceleração dos processos de entropia. Encarado como um sistema aberto é passível de uma multiplicidade de estados de equilíbrio, alguns dos quais colocariam em risco a presença de vida à superfície da terra.

Notícias de um passado próximo, sublinham-nos o instável equilíbrio do «sistema climático» e alertam para a necessidade de compreender a complexidade desta estrutura organizada capaz de memorizar acontecimentos e conferir-lhe consequências no tempo.

Pensando o «clima» como o nível de resolução geral do Sistema Climático e acreditando que este sistema global é constituído por uma série de subsistemas integrados, adivinha-se a co-participação do Homem e da Natureza na elaboração do resultado final (Monteiro, 1976). O sistema climático é, portanto, uma estrutura global, organizada e hierarquizada horizontalmente (na estrutura) e verticalmente (na função). Arthur Koestler, citado em C. Monteiro (1976) simboliza esta ideia recorrendo à analogia com uma árvore e com uma caixa chinesa (Fig. 1).

Na figura 1 vemos como se processa o desenvolvimento do tronco inicial, horizontal e verticalmente. Adivinham-se vários níveis de organização ligados por núcleos polarizadores em diversos estratos, que filtram as entradas de energia

dos níveis superiores e controlam a passagem dos fluxos produzidos nos níveis inferiores. Segundo Koestler, cada uma destas estruturas organizadas possui regras fixas de funcionamento. Os elementos a conduzir no processo são, no entanto, variados, proporcionando uma infinidade de resultados finais possíveis.

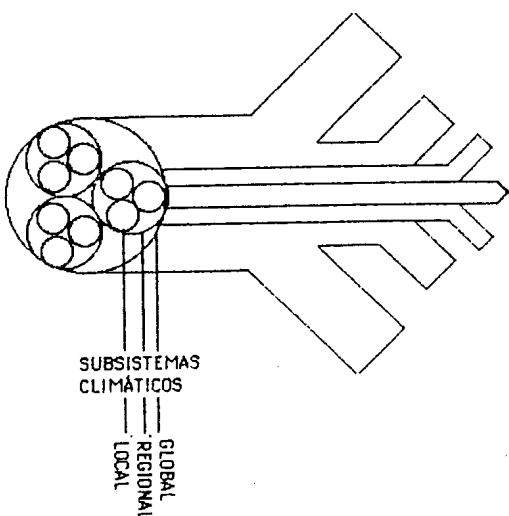


Fig. 1 — Perspectiva sistémica da climatologia (Monteiro, 1976).

No caso do sistema climático, acreditamos existirem uma série de regras de funcionamento, mas o clima global vai reflectir as várias soluções adoptadas pelos níveis estruturais inferiores (subsistemas climáticos regionais, locais, etc.) para filtrar, seleccionar e conduzir a energia e a matéria.

#### 4. A CO-PARTICIPAÇÃO DO HOMEM NO NÍVEL DE RESOLUÇÃO GERAL DO SISTEMA CLIMÁTICO

A utilização de combustíveis fósseis, as actuais práticas agrícolas e a crescente exploração dos cursos de água, traduzem-se por incrementos substanciais de elementos químicos nos ciclos biogeoquímicos. A modificação da composição química, nomeadamente, da camada gasosa que separa a superfície da terra da principal fonte energética do ecossistema, afectará, indubitavelmente, o clima do globo, ao alterar de uma forma sistemática os resultados finais em níveis de resolução inferiores.

##### 4.1. O exemplo da poluição atmosférica

A poluição é, normalmente, avaliada pelo impacto nos valores sociais e paisagísticos, significando que apenas os seus efeitos imediatos lhe conferem importância e significado. A maior ou menor importância de um episódio de poluição, está associada à aceitabilidade dos riscos envolvidos. Os riscos normal-

mente considerados, como a morte, as doenças crónicas e a alteração no crescimento e/ou no comportamento, não traduzem de facto a gravidade dos efeitos de algumas emissões poluentes cujas consequências, apesar de não menos graves, são demoradas no tempo. Se pensarmos que o contexto social e económico dos grupos humanos envolvidos, altera a noção e aceitabilidade de um determinado risco, torna-se evidente a dificuldade de diagnosticar, prever e minorar a poluição.

A maioria dos compostos químicos a que associamos a ideia de poluição, como os de carbono, de azoto, de enxofre ou de chumbo existem na natureza de forma não tóxica nem poluente. A toxicidade surge, com o aumento das concentrações e/ou com algumas possíveis combinações entre eles. Incluem-se no primeiro caso, o cobre, o zinco, o ferro e o enxofre, necessários para as plantas, mas que em quantidades excessivas esterilizam os solos. Exemplo de combinações que se tornam tóxicas são os casos do carbono com o azoto e as combinações orgânicas do mercúrio, entre outras.

As substâncias poluidoras podem ser naturais, se sempre existiram no ecossistema e continuam a existir em maiores ou menores quantidades, ou sintéticas, se são elementos absolutamente novos, criados pelo homem, como os pesticidas, o DDT, os plásticos, os detergentes, etc. Os efeitos no ecossistema de qualquer um dos dois tipos podem ser igualmente graves, mas as repercussões dos segundos são indubitavelmente mais difíceis de conhecer.

O critério de classificação dos poluentes adiantado por Holdgate (1980) e que aqui apresentamos (Fig. 2), sublinha a complexidade do problema e o envolvimento de inúmeras áreas de investigação para a sua compreensão.

Sob o ponto de vista climatológico, importa fundamentalmente diagnosticar o grau de dispersão dos poluentes e a sua aptidão para participar em reacções químicas, sobretudo em contacto com a luz.

Cruzen (1987) define alguns de percursos-tipo para os gases emitidos, tendo por base as suas propriedades:

— O gás não reage facilmente com outros elementos presentes na atmosfera, tem tendência a espalhar-se na troposfera e/ou ser transportado para a estratosfera e alta atmosfera. Durante a sua estadia na atmosfera pode interferir na absorção da radiação solar e, eventualmente, alterar a camada de ozono.

— O gás é solúvel na água, pode incorporar-se nas gotas de água da chuva e depositar-se posteriormente, intrometendo-se em qualquer ponto do ciclo hidrológico.

— O gás reage facilmente com outros elementos da atmosfera oxidando-se num conjunto de novos produtos. A oxidação significa, normalmente, maior solubilidade e menor pressão de vapor, o que facilita as mudanças de estado físico. Se o gás ao reagir, gera um novo produto químico com características hidrofílicas, pode funcionar como núcleo de novas partículas. Este processo impede normalmente estes elementos de se difundirem para altas altitudes.

— O gás é susceptível de deposição seca, pode acumular-se nos solos e nas infraestruturas participando posteriormente em reacções que o poderão levar de volta para a atmosfera.

Da totalidade de elementos químicos emitidos para a atmosfera por processos naturais ou pelas actividades humanas, interessam-nos, sob o ponto de vista climatológico aqueles que modificam a qualidade e a quantidade de trocas energéticas entre a Terra e a Atmosfera.

Modificações na temperatura e nos processos físico-químicos ao nível da estratosfera, alterações na quantidade relativa de gases absorventes de algumas

faixas do espectro solar, ou o aumento da quantidade de partículas no estado sólido, com dimensões semelhantes ao comprimento de onda do espectro visível, resultantes da mistura entre alguns compostos e posterior oxidação fotoquímica, impõe alterações no sistema climático, expressas por mudanças da temperatura do globo, degradação da visibilidade ou acidificação da precipitação.

#### CLASSIFICAÇÃO DE POLUENTES

- 1 — Natureza
  - a) composição química: inorgânicos e orgânicos
  - b) estado físico: gasosos, líquidos e sólidos
- 2 — Propriedades
  - a) solubilidade
  - b) dispersão e diluição
  - c) biodegradabilidade
  - d) persistência
  - e) predisposição para entrar em reacções químicas
- 3 — Sectores do meio ambiente afectados
  - a) atmosfera
  - b) água
  - c) solo
- 4 — Fonte
  - a) combustão: domésticos, industriais, agrícolas
  - b) actividade industrial
  - c) actividade agrícola
  - d) origem humana, doméstica e industrial
  - e) actividade militar
  - f) actividade microbiológica
- 5 — Padrões de uso
  - a) industriais: matéria-prima, materiais de construção, solventes, refrigerantes, lubrificantes, detergentes, pesticidas
  - b) domésticos
  - c) agrícolas

Fig. 2 — Lista de classificação de poluentes segundo Holdgate, (Holdgate, 1980, modificado).

A importância dos processos envolvendo sobretudo o ozono, os compostos de carbono, azoto, cloro e/ou enxofre, justificam recordar algumas das suas características como elementos químicos passíveis de intervir numa multiplicidade de reacções.

TABELA 1 — Fontes e processos de remoção de alguns gases  
(Crutzen e Graedel, 1986).

Gas	Fonte Direta g/ano	Fonte Indireta g/ano	Removido por	Tempo de estadia na atmosfera	Distância do transporte E-W/S-N/vertical Taxa de mistura na troposfera *
CO	Combustão de biomassa (4-16x10 <sup>14</sup> ) Indústria (6,4x10 <sup>14</sup> ) Vegetação (0,2-2x10 <sup>14</sup> )	Oxidação do CH <sub>4</sub> (3,7-9,3x10 <sup>14</sup> ) Oxidação do C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> , H <sub>18</sub> (4-13x10 <sup>14</sup> )	OH (30x10 <sup>14</sup> ) Removido p/solo (4,5x10 <sup>14</sup> )	2 meses	4000, 5000, 10 50-200 p.p.b.v.
CH <sub>4</sub>	Cultura de arroz (0,3-0,6x10 <sup>14</sup> ) Terras pantanosas (0,3-2,2x10 <sup>14</sup> ) Ruminantes (0,6x10 <sup>14</sup> ) Termitas (<1,5x10 <sup>14</sup> ) Combustão de biomassa (0,3-1,1x10 <sup>14</sup> ) Fugas de gás		OH (4x10 <sup>14</sup> )	7 anos	Global 1,5-2,0 p.p.m.v.
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	Árvores (8,3x10 <sup>14</sup> )		OH (1,0-1,5x10 <sup>14</sup> )	10 horas	400, 200, 1 0-10 p.p.b.v.
NOx NO + NO <sub>2</sub>	Indústria (12-20x10 <sup>12</sup> ) Combustão de biomassa (10-40x10 <sup>12</sup> ) Iluminação (1-10x10 <sup>12</sup> ) Solos (1-15x10 <sup>12</sup> ) Oceanos (0,15x10 <sup>12</sup> ) Aviões a jacto (0,25x10 <sup>12</sup> )	Oxidação do NO <sub>2</sub> (1,0-1,5x10 <sup>12</sup> )	Deposição de OH nos solos e oceanos (25-85x10 <sup>12</sup> )	1 dia e meio	1500, 400, 1,0 1-100 p.p.t.v.
HNO <sub>3</sub>		NO <sub>2</sub> + OH (15,85x10 <sup>12</sup> )	Precipitação	3 dias	3000, 600, 1,5 10-300 p.p.t.v.

\* p.p.m.v. = 10<sup>-6</sup>; p.p.b.v. = 10<sup>-9</sup>; p.p.t.v. = 10<sup>-12</sup>

TABELA 1 — (Continuação)

Gas	Fonte Direta g/ano	Fonte Indireta g/ano	Removido por	Tempo de estadia na atmosfera	Distância do transporte E-W/S-N/vertical Taxa de mistura na troposfera *
N <sub>2</sub> O	Combustão de combustíveis fósseis (1,8x10 <sup>12</sup> ) Combustão de biomassa (1-2x10 <sup>12</sup> ) Oceanos (1-2x10 <sup>12</sup> ) e estuários (1-2x10 <sup>12</sup> ) Cultivo de solos naturais (1-3x10 <sup>12</sup> ) Fertilizantes (<3x10 <sup>12</sup> )		Fotólise estratosférica (6-11x10 <sup>12</sup> )	100 a 200 anos	Global 300 p.p.b.v.
NH <sub>3</sub>	Animais domésticos (10-20x10 <sup>12</sup> ) Animais selvagens (2-6x10 <sup>12</sup> ) Fertilizantes (<3x10 <sup>12</sup> ) Campos agrícolas (<30x10 <sup>12</sup> ) Combustão do carvão (4-12x10 <sup>12</sup> ) Combustão de biomassa (<60x10 <sup>12</sup> )		Precipitação	<9 dias	<9000, 1000 0-3 p.p.b.v.
SO <sub>2</sub>	Combustão do carvão (64x10 <sup>12</sup> ) Combustão do petróleo (26x10 <sup>12</sup> ) Vulcanismo (10-30x10 <sup>12</sup> )	Oxidação do H <sub>2</sub> S e (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S (40-100x10 <sup>12</sup> )	OH Precipitação	5 dias	5000, 700, 2,5 10-200 p.p.t.v.
H <sub>2</sub> S (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S CH <sub>3</sub> SH	Campos agrícolas (<4x10 <sup>12</sup> ) Oceanos (31-42x10 <sup>12</sup> ) Águas costeiras (10x10 <sup>12</sup> ) Floresta tropical (16x10 <sup>12</sup> ) Pântanos (24x10 <sup>12</sup> )		OH	2 dias	2000, 500, 1,5 0-100 p.p.t.v.

\* p.p.m.v. = 10<sup>-6</sup>; p.p.b.v. = 10<sup>-9</sup>; p.p.t.v. = 10<sup>-12</sup>

O ozono ( $O_3$ ) resulta da combinação de um átomo de oxigênio (O) com uma molécula de oxigênio ( $O_2$ ). O processo de formação de ozono pressupõe a existência de oxigênio atômico, formado na alta atmosfera por fotodissociação do oxigênio molecular ( $O_2$ ), e, envolve o consumo de radiação solar de grande potencial energético (Tabela 1 e Fig. 3). Depois de formado, o ozono é um bom

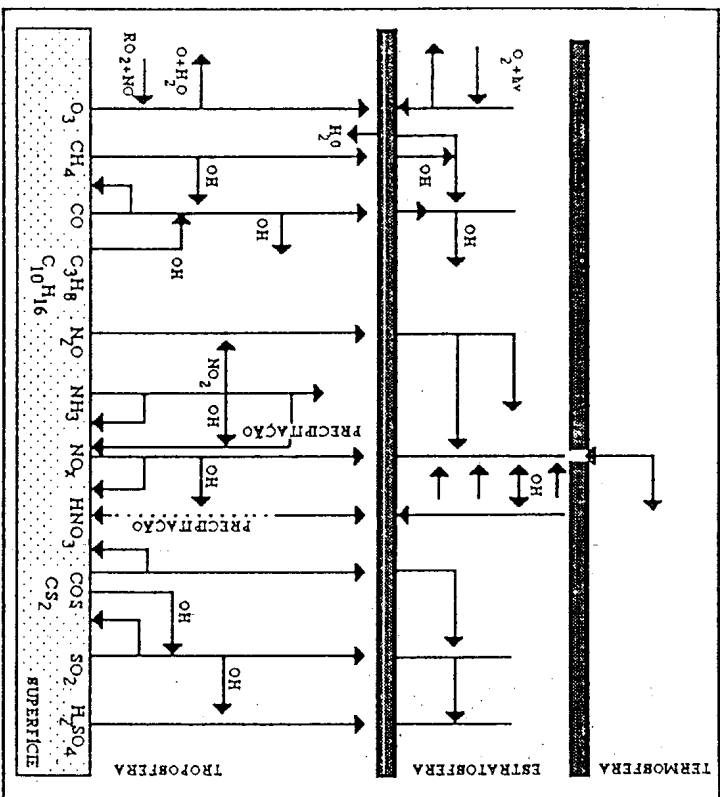


Fig. 3 — Percurso de alguns gases na atmosfera (Crutzen e Graedel, 1986).

absorvente da radiação solar entre 0,23 m e 0,32 m, que o dissocia novamente em  $O_2 + O +$  energia. Esta faixa do espectro eletromagnético solar absorvida pelo ozono, seria letal para os seres vivos, tal como existem à superfície da terra. Os átomos de oxigênio, excitados, libertados quando da dissociação do ozono, reagem com o vapor de água dando origem ao radical OH. Este radical activa uma série de gases normalmente inertes.

#### 4.1.2. Os compostos de carbono

Os compostos de carbono resultam quer da utilização de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural, etc.) quer de emissões naturais (Tabela 1). A tecnologia permite extrair, por exemplo, do petróleo, além do combustível, uma série de produtos intermédios utilizados como matérias-primas para a produção de corantes, plásticos, detergentes, fibras sintéticas e insecticidas.

A aptidão dos átomos de carbono para se associarem entre si e com outros átomos, principalmente de oxigênio, enxofre e azoto, justifica os cerca de dois milhões de compostos conhecidos, resultantes de combinações naturais e laboratoriais.

Dentro da enorme variedade de compostos de carbono, distinguem-se várias famílias, semelhantes na estrutura e nas propriedades. A título de exemplo e dada a sua importância para o sistema climático, salientaremos a família dos hidrocarbonetos (compostos de carbono e hidrogênio).

Os hidrocarbonetos podem ser simples — saturados — ou conter ligações duplas e triplas-insaturados.

Os hidrocarbonetos simples ou saturados, quando adicionados a outros átomos não permitem a obtenção de compostos estáveis. É o caso da família dos alcanos, cuja fórmula molecular geral é  $C_n H_{2n+2}$  e de que são exemplo o metano ( $CH_4$ ), o etano ( $C_2 H_6$ ), o propano ( $C_3 H_8$ ), o butano ( $C_4 H_{10}$ ), o pentano ( $C_5 H_{12}$ ), o hexano ( $C_6 H_{14}$ ), o heptano ( $C_7 H_{16}$ ) e o octano ( $C_8 H_{18}$ ).

Os hidrocarbonetos com ligações duplas e triplas entre os átomos de carbono constituem a família dos alcenos e alcinos respectivamente. Estes hidrocarbonetos, quando adicionados a outros átomos, produzem compostos estáveis. Os alcenos, como o polietileno, são usados frequentemente no fabrico de polímeros para a indústria de plásticos. Os alcinos, como o acetileno, utilizam-se na soldadura e na preparação de outros compostos para a indústria de plásticos e borrachas.

Dos hidrocarbonetos derivam uma série de compostos orgânicos, pela substituição de um ou mais átomos por outros átomos ou grupos de átomos. É o caso dos derivados halogenados, os alcoóis e fenóis, os éteres, os aldeídos, as cetonas e ácidos carboxílicos, as amidas e aminas e os ésteres<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Os derivados halogenados resultam da substituição de um ou mais átomos de hidrogênio por cloro, bromo, todo ou fluor. É o caso do triclorometano ou clorofórmio ( $CCl_3$ ), o cloroetileno ou cloro de vinilo ( $CH_2 CHCl$ ), o triclorofluorometano ( $CCl_3 F$ ) ou Freon-11. O Freon-11 é utilizado como agente de refrigeração, o cloro de vinilo é importante no fabrico de plásticos e fibras sintéticas. Os insecticidas, como o DDT e herbicidas são derivados clorados de hidrocarbonetos.

Os alcoóis resultam da substituição de um átomo de hidrogênio por um grupo hidroxilo (OH). É o caso do metanol e etanol. O primeiro deriva do grupo metilo ( $CH_3$ ) e o segundo do grupo etílico ( $CH_3 CH_2$ ). O etanol é componente de muitas bebidas e utiliza-se como solvente nas indústrias de tintas, vernizes e perfumes.

Os éteres possuem um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono. Fazem parte deste grupo o éter dietílico ( $CH_3 CH_2 O CH_2 CH_3$ ) e o éter etilmetílico ( $CH_3 O CH_2 CH_3$ ) utilizados vulgarmente como anestésicos e solventes.

Os aldeídos, as cetonas e os ácidos carboxílicos, são hidrocarbonetos com o grupo carbonilo (CO). O metanal (HCHO), o etanal ( $CH_3 CHO$ ) e a propanona ( $CH_3 COCH_3$ ) exemplificam estes derivados dos hidrocarbonetos.

As aminas derivam da substituição de átomos de hidrogênio por amoníaco ( $NH_3$ ), como é o caso das anilinas ( $C_6 H_5 NH_2$ ).

As amidas são derivados dos ácidos carboxílicos em que o grupo OH é substituído pelo grupo  $NH_2$ .

Os ésteres derivam também dos ácidos carboxílicos mas a substituição do grupo OH é feita pelo grupo OR (grupo alquilto).

Os hidrocarbonetos são insolúveis na água, mas os seus derivados oxidados têm normalmente grande solubilidade, incorporando-se facilmente nas gotas de água e nos aerossóis, como é o caso do formaldeído ou metanal que aparece frequentemente nas gotas de água das nuvens. O processo de oxidação inicia-se na presença do radical OH ou do  $O_3$ , mas a continuidade do processo é complexa e ainda desconhecida.

Da combustão dos hidrocarbonetos resultam para além do  $CO_2$ , uma série de produtos sólidos, cujo tamanho é suficiente para absorver uma parte da radiação solar e reduzir a visibilidade.

O  $CO_2$  não é reactivo na baixa atmosfera ficando portanto sujeito a transporte e difusão no seio da atmosfera.

#### 4.1.3. Os compostos de azoto

As principais fontes antropológicas de azoto são as actividades que envolvem combustões a elevadas temperaturas. Na tabela 1 constata-se que as emissões antropológicas destes compostos são tão ou mais elevadas que as emissões naturais. Recordando a sua eficiência como redutores dos radicais OH e OR (essenciais para o prosseguimento de inúmeras reacções na atmosfera), aliada a tempos de residência de um a dois dias na atmosfera, percebe-se a sua importância para a produção do  $O_3$  nas latitudes médias.

A remoção do NO e  $NO_2$  da atmosfera pode ser conseguida pela formação de ácido nítrico ( $HNO_3$ ), solúvel na água. A solubilidade do ácido nítrico na água, por exemplo da chuva, contribui para a acidificação. A acidificação da precipitação traduz-se por uma série de efeitos prejudiciais, aumentando o poder corrosivo em grande número de materiais, actuando como agente laciante ou surtindo efeitos mutagenéticos.

#### 4.1.4. Os compostos de enxofre

Na Tabela 1 observa-se que a maior parte do enxofre presente na atmosfera é emitido por processos que envolvem directa ou indirectamente actividades humanas, das quais se salienta a combustão de carvão e petróleo.

A oxidação do enxofre produz dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) e uma série de outros compostos.

O dióxido de enxofre pode depositar-se à superfície, formar aerossóis por oxidação atmosférica ou ser absorvido e oxidado pela água das nuvens. Ao depositar-se à superfície contribui para alterar os ciclos biogeoquímicos nos solos e os processos biológicos normais na vegetação e nas superfícies líquidas, assim como aumenta a corrosão de algumas ligas metálicas presentes nos materiais de construção. A formação de aerossóis por oxidação atmosférica contribui para a degradação da visibilidade. A absorção e oxidação na água das nuvens propicia a acidificação da precipitação cujas consequências já apontamos.

O número e rapidez de reacções fotoquímicas em que o enxofre se envolve na troposfera impede o seu transporte para a estratosfera <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> O COS constitui uma excepção já que dificilmente é removido da troposfera conseguindo atingir a estratosfera onde é convertido fotoquimicamente em  $SO_2$ ,  $H_2$  e  $SO_4$ .

#### 4.1.5. Os compostos de cloro

As principais fontes de cloro são a volatilização dos sais marinhos ( $CH_3Cl$ ) e as actividades industriais consumidoras de combustíveis fósseis ( $HCl$  e  $C_xF_yCl_z$ ). Os derivados halogenados dos hidrocarbonetos (ver ponto 4.1.2.) e os cloro-hidrocarbonetos (vulgarmente designados CFC) como o  $CCl_4$ ,  $CFCl_3$ ,  $CF_2Cl_2$ ,  $CH_2Cl_2$ , são importantes fontes de cloro na atmosfera.

O facto de o HCl ser solúvel na água, razão das altas concentrações de íons de cloro nas gotas de água da chuva, evita a sua passagem para a estratosfera. Quando porém, os compostos de cloro conseguem ultrapassar a tropopausa e atingir a estratosfera (Fig. 3), são activados fotoquimicamente e destroem cataliticamente o  $O_3$ . O seu retorno à troposfera só se concretiza através de um fluxo de HCl.

#### 4.2. Manifestações da fragilidade do sistema climático face às inúmeras intervenções do homem

O clima da Terra traduz o balanço entre os ganhos e perdas de energia e matéria com o exterior. A atmosfera ao filtrar selectivamente a radiação solar e terrestre é um elemento de primordial importância para os resultados finais possíveis do sistema climático (Fig. 1).

Cada elemento ou composto químico utiliza, transformando, determinadas faixas do espectro electromagnético solar para produzir novos elementos, para se destruir ou para se manter (Fig. 3). Se cada elemento ou composto químico controla a transferência da radiação solar de determinado(s) comprimentos de onda, então pequenas variações no tipo e quantidade de elementos químicos, habitualmente presentes na atmosfera, acarretarão mudanças substanciais na quantidade e quantidade de energia que entra e sai do sistema climático. Pressupondo que este, como todos os sistemas, tende a evitar a aceleração dos processos de entropia através da procura de novos equilíbrios instáveis, torna-se evidente que a temperatura média do globo, por exemplo, será alterada como uma forma de o sistema se reajustar a excessos ou déficits de energia. Esta mudança da temperatura média do globo poderá traduzir-se em níveis de resolução geral do sistema climático hierarquicamente inferiores, de formas muito diferenciadas, colocando indubitavelmente em causa a presença de vida tal como ela existe actualmente.

Como vimos na Tabela 1 o conjunto de actividades humanas que vulgarmente associamos a qualquer processo de crescimento económico e «progresso» são responsáveis por colocar na atmosfera compostos de carbono, azoto, enxofre e halogenados em quantidades significativas. Estes excedentes emitidos para a atmosfera podem alterar a temperatura e os processos físico-químicos na estratosfera ou afectar o balanço radiativo da atmosfera facilitando misturas indesejáveis entre alguns compostos gerando fumos, nevoeiros, precipitações ácidas, etc.

Acreditando que as secas, cheias de outras catástrofes naturais, não são mais do que modos *impulsivos* de o sistema se afastar de eventuais processos de entropia face ao acumular de uma série de novas entradas e saídas de energia e matéria, tornam-se evidentes as vantagens, *mesmo económicas*, de adicionar a componente climática a diversas fases do processo de planeamento e de a incluir sobretudo nos processos de tomada de decisão.



Embora se admita com facilidade que a combustão de biomassa e de combustíveis fósseis, as actuais práticas agrícolas, e a generalidade dos processos industriais afectam, substancialmente, alguns elementos do sistema climático, o facto destas repercussões não serem facilmente quantificáveis na sua importância, magnitude e probabilidade, reduz a perceptibilidade dos riscos que envolvem, aos olhos de quem decide e de quem a eles se expõe. O elevado grau de incerteza e a complexidade que envolve este tipo de fenomenologia (Fig. 4),

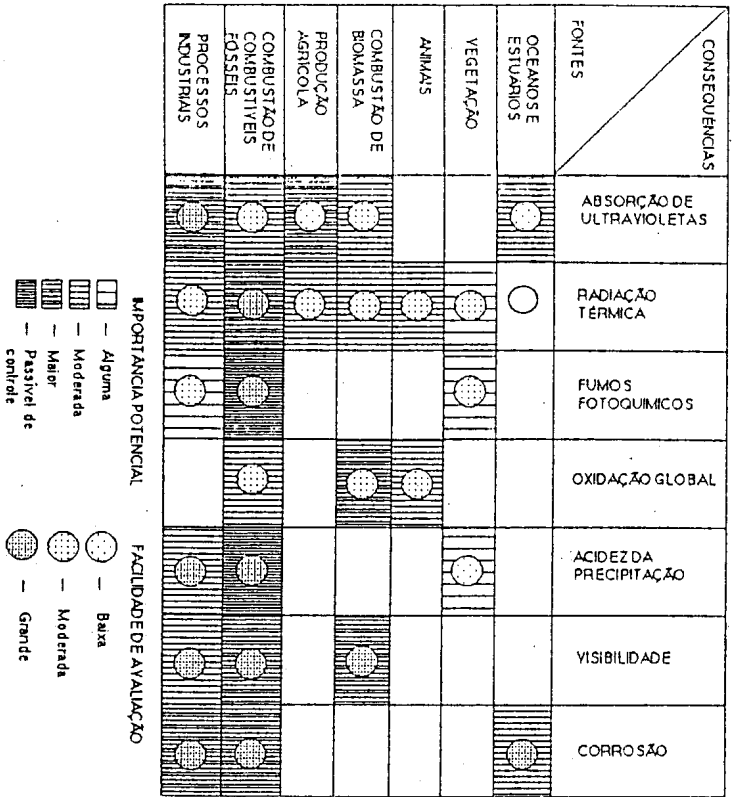


Fig. 4 — Importância potencial de algumas consequências climáticas geradas pela poluição e respectiva facilidade de avaliação (Kates, Ausubel e Berberian, 1986).

associado a alguma incapacidade dos cientistas em demonstrar de uma forma convincente as suas teses, e/ou aos exageros de alguns grupos ecocentristas, propiciou um alheamento dos grupos decisores e da população em geral, face ao comprometimento em que se encontra o ecossistema, caso se continue a pensar em «desenvolvimento» numa perspectiva exclusivamente economicista e imediatista.

A originalidade de uma política de desenvolvimento sustentado reside, precisamente, no facto de ao nível de tomada de decisão se valorizarem de igual modo a viabilidade económica, a saúde, a segurança e as qualidades estéticas

envolvidas em qualquer novo projecto, programa, lei ou opção tecnológica. Nesta forma de pensar desenvolvimento, as consequências da alteração dos níveis de absorção da radiação ultravioleta, do balanço térmico, da produção de fumos fotoquímicos, da acidificação da precipitação entre outras, assumem a sua real importância nos processos de tomada de decisão, simplesmente, porque põe em risco as condições ínicas, que permitiram o surgimento de vida à superfície da terra.

Ana Monteiro