

**O MEIO ATMOSFÉRICO:
A COMPOSIÇÃO DA ATMOSFERA E OS
PRINCIPAIS POLUENTES
ATMOSFÉRICOS**

A composição da atmosfera

- A composição atual resulta dos processos biológicos e físico-químicos que vêm ocorrendo há milhões de anos.
- É formada por diversos gases cuja distribuição percentual média é: 78,11% de nitrogênio, 20,95% de oxigênio, 0,934% de argônio e 0,033% de gás carbônico.
- Outros gases presentes em menores concentrações: hidrogênio, hélio, neônio, xenônio, criptônio, metano, dióxido de nitrogênio, entre outros.

A composição da atmosfera

- A atmosfera apresenta também outros constituintes: vapor de água, material particulado inorgânico (areia, subprodutos da combustão, areia finamente dividida), material particulado orgânico (micróbios, bactérias, pólen) e cristais de sais (cloreto de sódio, por exemplo). A quantidade de vapor de água é bastante variável e pode chegar a teores da ordem de 4% no total.

A composição da atmosfera

- As partículas sólidas em suspensão presentes são essenciais para o ciclo hidrológico na produção de núcleos de condensação e aceleram a formação de nuvens e a precipitação. Este fenômeno é denominado coalescência.

Formas de classificação da atmosfera

- Do ponto de vista ambiental: estratificação térmica.
- Nessa forma de classificação, em torno de 95% do ar atmosférico encontra-se numa fina camada denominada troposfera cuja altitude varia de 8 a 10 km. A espessura da troposfera varia de acordo com a latitude e com o tempo. Nos pólos, em latitudes de 45° e na linha do Equador, as espessuras são, respectivamente: 8,5 , 10,5 e 16,5 km.

Estratificação térmica

- Nos pólos, em latitudes de 45° e na linha do Equador, as espessuras são, respectivamente, 8,5, 10,5 e 16,5 km. São na troposfera que se originam praticamente todas as massas de ar responsáveis pelas mudanças climáticas do planeta Terra; o decréscimo de temperatura é de $0,65^\circ \text{C} / 100 \text{ m}$ de altitude.

Estratificação térmica

- Na tropopausa, a camada de transição acima da troposfera, a temperatura é praticamente constante. Na estratosfera, localizada em altitudes entre 11 e 50 km aproximadamente, está localizada a camada de ozônio (ozonoesfera).

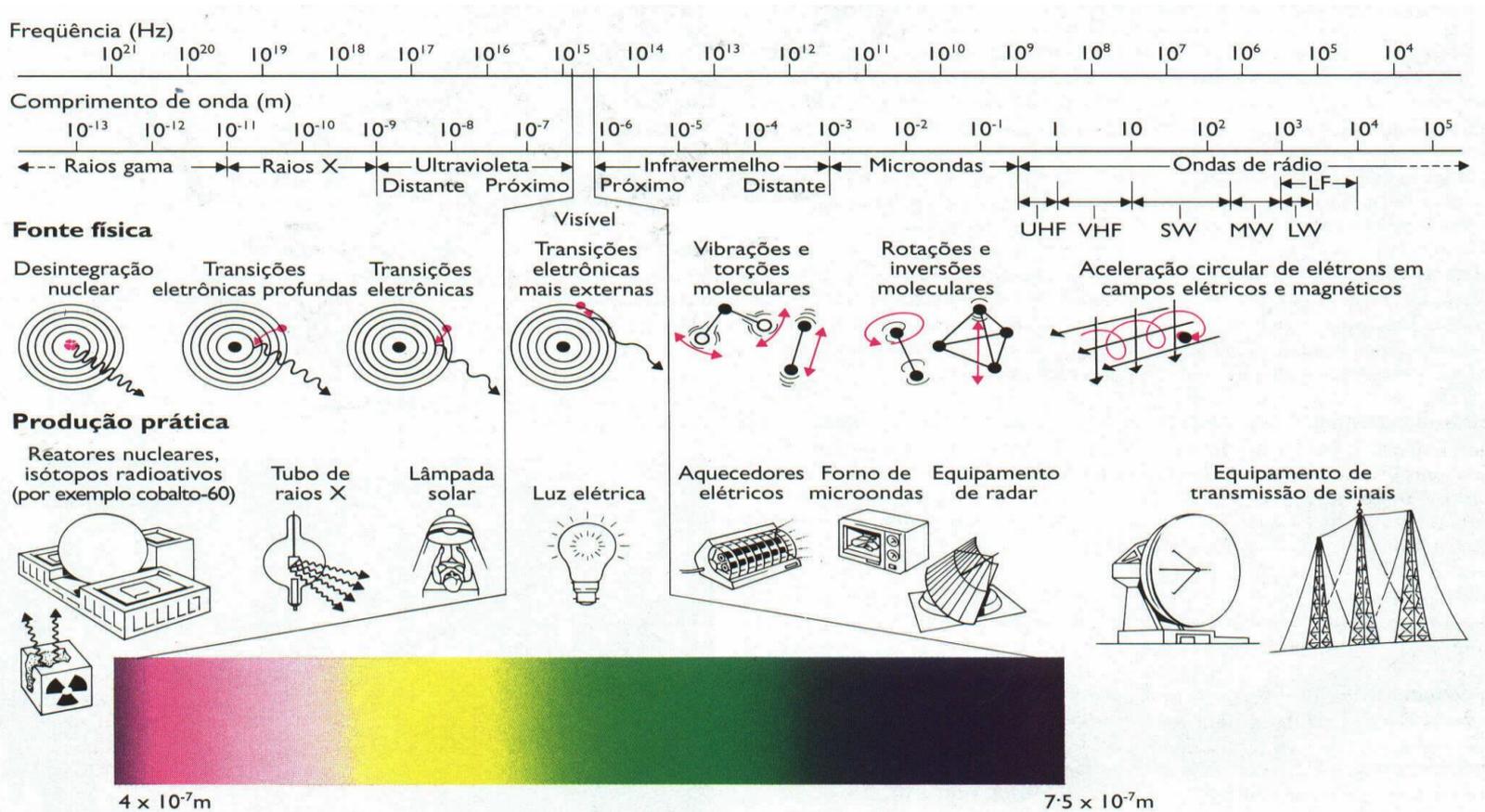
Estratificação térmica

- Na mesosfera (localizada acima da estratopausa) ocorre um decréscimo térmico significativo e registra-se a temperatura mais baixa da atmosfera. A termosfera também conhecida como ionosfera alcança 190 km de altitude. Os gases predominantes até a termosfera são oxigênio e nitrogênio.

Estratificação térmica

- Até a altitude de 970 km a maior porcentagem dos gases é de oxigênio. Seguindo-se até 2400 km, predomina o gás hélio e a seguir, até 9700 km, o hidrogênio. Acima desta altitude predominam os gases interplanetários.

O espectro eletromagnético



A troposfera e a estratosfera

- A troposfera e estratosfera são as camadas mais importantes do ponto de vista ambiental. A camada de ozônio localizada na estratosfera, tem duas funções essenciais: proteger os organismos vivos da Terra dos efeitos nocivos dos raios ultravioleta (UV); fornecer a fonte de calor para estratificar a atmosfera em troposfera estacionária e uma estratosfera turbulenta. A absorção de raios UV pelo ozônio estratosférico é forte o suficiente para eliminar a radiação UV mais energética (comprimentos de onda menores) de a luz solar.

Na troposfera...

- Na troposfera ocorrem os processos climáticos responsáveis pela vida na Terra e é onde ocorre grande parte dos fenômenos relacionados com a poluição do ar.
- O perfil de temperatura descrito resulta: da estratificação dos gases presentes na atmosfera, da incidência da luz solar e da sua dispersão de volta para o espaço.

Os principais poluentes atmosféricos

- Pode-se considerar que existe poluição do ar quando uma ou mais substâncias químicas estão presentes em concentrações suficientes para causar danos aos seres humanos.
- Os danos também podem ser provenientes de parâmetros físicos tais como som e calor. As concentrações de poluentes na atmosfera dependem: do clima, topografia, do nível de atividades industriais locais e da densidade populacional.

Classificação dos poluentes

- Os poluentes são classificados em: primários e secundários. Os poluentes primários são lançados diretamente ao ar. Os poluentes secundários formam-se na atmosfera por meio de reações que ocorrem devido a presença de substâncias químicas e condições físicas.

Classificação dos poluentes

- Monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre são poluentes primários. Ozônio (urbano) e trióxido de enxofre (formado pela presença de dióxido de enxofre e oxigênio no ar; reage com vapor de água formando ácido sulfúrico presente na chuva ácida) são poluentes secundários

Principais poluentes atmosféricos: características e origem

- Gás carbônico (CO_2): É o principal composto resultante da combustão completa de combustíveis fósseis e de outros combustíveis que contêm o elemento carbono; da respiração anaeróbia dos seres vivos.
- Monóxido de carbono (CO): Combustão incompleta de combustíveis fósseis e outros materiais que contenham o elemento carbono na sua composição.

Principais poluentes atmosféricos: características e origem

- Óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3): Produzidos pela combustão de combustíveis que contenham enxofre em sua composição e nos processos biogênicos naturais, no solo e na água.
- Óxidos de nitrogênio (NO_x): Produzidos nos processos de combustão realizados em altas temperaturas. Nessas condições, o oxigênio e o nitrogênio do ar atmosférico reagem formando os óxidos de nitrogênio. Podem também ser gerados através das descargas elétricas na atmosfera.

Principais poluentes atmosféricos: características e origem

- Hidrocarbonetos: Combustão incompleta de combustíveis fósseis, evaporação desses combustíveis e de solventes orgânicos.
- Oxidantes fotoquímicos: São compostos gerados a partir de outros poluentes tais como hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio que são lançados para a atmosfera por meio de reações químicas catalisadas pela luz solar (radiação ultravioleta). Entre esses poluentes secundários pode-se citar o ozônio troposférico (formado em baixas altitudes) e o peróxiacetil nitrato (PAN).

Principais poluentes atmosféricos: características e origem

Material particulado (MP): São partículas de material sólido e líquido, capazes de permanecer em suspensão. Exemplos: poeiras, fuligem, pólen e partículas de óleo.

Esses materiais têm origem nos processos de combustão (fuligem e partículas de óleo) ou devido aos fenômenos naturais (dispersão de pólen ou de material particulado devido à ação do vento).

Principais poluentes atmosféricos: características e origem

- Amianto (asbestos): Material particulado gerado durante as etapas de mineração ou de beneficiamento do mineral amianto.
- Metais: São materiais particulados associados à atividades de mineração, à combustão de carvão mineral e de processos siderúrgicos.

Principais poluentes atmosféricos: características e origem

- Gás flurídrico (HF): Gerado nas indústrias de produção de alumínio e de fertilizantes. São gerados em processos que utilizam altas temperaturas que utilizam matérias-primas que contêm flúor.
- Amônia (NH₃): Gerada nas indústrias químicas e de fertilizantes e processos biogênicos naturais que ocorrem na água e no solo.

Principais poluentes atmosféricos: características e origem

- Gás sulfídrico (H_2S): Subproduto gerado nas refinarias de petróleo, na indústria química e de celulose e papel pelo processamento de matérias-primas que contêm enxofre. Também gerado nos processos biogênicos naturais.

Principais poluentes atmosféricos: características e origem

- Pesticidas e herbicidas: São produtos químicos a base de organoclorados, organofosforados, carbamatos, utilizados no controle de pragas e ervas daninhas. As principais fontes são: indústrias que produzem esses produtos e uso na agricultura.

Principais poluentes atmosféricos: características e origem

- Substâncias radioativas: Possuem elementos capazes de emitir radiação (emitem energia na forma de partículas alfa e beta e radiação gama). A energia emitida pelas substâncias radioativas pode em muitos casos, provocar danos aos seres vivos e materiais na medida em que provocam o rompimento das ligações químicas das moléculas que constituem os tecidos vivos e a estrutura dos materiais. As fontes principais são: depósitos naturais, usinas nucleares, queima de carvão, testes de armamentos nucleares.

Principais poluentes atmosféricos: características e origem

- Calor: É uma forma de poluição atmosférica por energia, devida à emissão de gases a alta temperatura. Esses gases são liberados em sua maioria pelos processos de combustão.
- Som: Emissão de energia para o ambiente, na forma de ondas sonoras com intensidade capaz de prejudicar os seres humanos e outros seres vivos. Associada ao estilo de vida industrial

A poluição do ar, poluentes, suas características, fontes e dispersão. Fonte: Bartholomew 1999 apud Lora; Teixeira, 2004.

Poluente: Material particulado (MP₁₀): Composição variável. Partículas sólidas ou gotas líquidas. Incluem gases, fumaça, poeira e aerossóis.

Origem: Processos industriais, resíduos de incineração, combustão de óleo combustível, óleo diesel e queima de madeira.

Remoção: Precipitação ou deposição seca e por degradação bacteriana ou deposição no solo.

Tempos de permanência no meio ambiente: De minutos a vários dias

A poluição do ar, poluentes, suas características, fontes e dispersão. Fonte: Bartholomew 1999 apud Lora; Teixeira, 2004.

Poluente: monóxido de carbono (CO)

Características: levemente solúvel em água. Gás incolor, inodoro e tóxico.

Origem: combustão de combustíveis, especialmente gasolina.

Remoção: absorvido e convertido para CO₂ no solo.

Tempos de permanência no ambiente: de 1 mês a 2,7 anos.

A poluição do ar, poluentes, suas características, fontes e dispersão. Fonte: Bartholomew 1999 apud Lora; Teixeira, 2004.

Poluente: dióxido de enxofre (SO₂)

Características: solúvel em água. gás incolor, com odor irritante, pesado.

Origem: combustão de carvão, de combustíveis que contêm enxofre tais como óleo diesel, óleo combustível e outros. Também provêm de emissões de refinarias, fundição de metais e da indústria do papel.

Remoção: Precipitação e oxidação na atmosfera ou degradação bacteriana no solo.

Permanência no ambiente: de 20 minutos a 7 dias.

A poluição do ar, poluentes, suas características, fontes e dispersão. Fonte: Bartholomew 1999 apud Lora; Teixeira, 2004.

Poluente: Dióxido de nitrogênio (NO₂). Razoavelmente solúvel em água. Gás com coloração de vermelho a marrom.

Origem: emitido por motores automotivos e indústrias de processo. Produzido pela reação entre N₂ e O₂ do ar atmosférico e do O₂ do ar atmosférico com compostos nitrogenados contidos nos combustíveis.

Remoção: precipitação e oxidação na atmosfera ou degradação bacteriana no solo

A poluição do ar, poluentes, suas características, fontes e dispersão. Fonte: Bartholomew 1999 apud Lora; Teixeira, 2004.

Poluente: hidrocarbonetos. Compostos que contêm os elementos carbono e hidrogênio. Alguns são muito tóxicos e outros, inofensivos.

Origem: produzidos na combustão em motores veiculares e processos industriais.

Remoção: oxidados na atmosfera ou absorção e degradação bacteriana no solo.

Permanência no ambiente: até 2 anos.

A poluição do ar, poluentes, suas características, fontes e dispersão. Fonte: Bartholomew 1999 apud Lora; Teixeira, 2004.

Poluente: ozônio (O_3). Gás com coloração azul clara e odor adocicado. Razoavelmente solúvel em água.

Origem: produzido a partir de reações fotoquímicas na atmosfera entre hidrocarbonetos voláteis (C_yH_y), NO , O_2 e radiação ultravioleta da luz solar.

Remoção: Reações fotoquímicas na atmosfera.

Degradação do O_3 a O_2 .

Permanência: de 2 horas a 3 dias

A poluição do ar, poluentes, suas características, fontes e dispersão. Fonte: Bartholomew 1999 apud Lora; Teixeira, 2004.

Poluente: sulfeto de hidrogênio (H₂S). Gás levemente solúvel em água. Incolor, com odor de ovo podre, tóxico.

Origem: produzido a partir de processos da indústria química, das refinarias e dos poços de petróleo.

Remoção: Oxidação na atmosfera a SO₂.

Permanência no ambiente: de algumas (poucas) horas a 2 dias

A poluição do ar, poluentes, suas características, fontes e dispersão. Fonte: Bartholomew 1999 apud Lora; Teixeira, 2004

Poluente: óxido nítrico (NO). Gás incolor, levemente solúvel em água.

Origem: emitido por motores automotivos e indústrias de processo. Produzido pela reação entre N_2 e O_2 do ar atmosférico e do O_2 do ar atmosférico com compostos nitrogenados contidos nos combustíveis.

Remoção: oxidação na atmosfera a NO_2 .

Permanência no ambiente: de 4 a 5 dias.

A poluição do ar

- As fontes de poluição podem ser classificadas em estacionárias e móveis.
- -fontes estacionárias (chaminés de indústrias, por exemplo): produzem cargas pontuais;
- -fontes móveis (veículos, por exemplo): produzem cargas difusas.
- A distinção entre as formas de poluição é fundamental para o tratamento dos problemas resultantes da poluição do ar.
-

A poluição do ar

- Considerando-se a dimensão, a poluição pode ser classificada em local e global.
- -poluição local: ocorre em uma região relativamente pequena, Por exemplo, numa cidade;
- -poluição global: envolve toda a ecosfera.

Poluição local (*smog* industrial) e *smog* fotoquímico

- Os problemas de poluição local são oriundos de episódios críticos de poluição nas cidades e dependem das condições climáticas existentes para a dispersão e dos poluentes gerados. As situações críticas podem ser classificadas em: *smog* industrial e *smog* fotoquímico.

Poluição local (*smog* industrial) e *smog* fotoquímico

- O *smog* industrial apresenta as seguintes características: é típico de regiões frias e úmidas com picos de concentração no inverno (condições climáticas adversas para a dispersão de poluentes); a inversão térmica agrava o problema quando os picos de concentração de poluentes ocorrem nas primeiras horas da manhã.
- Quadro- *Smog* industrial e fotoquímico. Fonte: adaptado de Braga et al., 2002.

Quadro- *Smog* industrial e fotoquímico. Fonte: adaptado de Braga et al., 2002.

	Smog industrial	Smog fotoquímico
Típico de regiões/cidades	frias e úmidas	ensolaradas, quentes de clima seco.
Os picos de poluição ocorrem:	no inverno (condições climáticas adversas para a dispersão de poluentes). A inversão térmica agrava o problema quando os picos de concentração de poluentes ocorrem nas primeiras horas da manhã.	em dias quentes com muito sol. Ocorre por volta das 10 ou 12 horas
Principais elementos que compõem esse tipo de <i>smog</i> :	provêm da queima de carvão e de óleo combustível.	o agente poluidor são os veículos automotores.
Predomina em/nas:	regiões industriais e/ou regiões onde há a queima intensa de óleo para aquecimento doméstico e/ou geração termelétrica.	idades

Quadro- *Smog* industrial e fotoquímico. Fonte: adaptado de Braga et al., 2002.

	Smog industrial	Smog fotoquímico
Componentes principais	dióxido de enxofre (ver chuva ácida) e material particulado (tipicamente com tamanho de 1 a 10 microns)	óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Esses gases participam de várias reações na atmosfera na presença da luz solar e geram novos poluentes: ozônio, aldeídos, os radicais orgânicos PAN (peróxi acetil nitrato) e óxidos de nitrogênio.
Natureza	reduzora	oxidante

Quadro- *Smog* industrial e fotoquímico. Fonte: adaptado de Braga et al., 2002.

	Smog industrial	Smog fotoquímico
Problemas causados a saúde:	sérias lesões respiratórias (pelo sinergismo negativo entre material particulado e dióxido de enxofre).	Irritação nos olhos, pulmões pele, agravamento de problemas respiratórios como asma, secura nas membranas do nariz, alterações no sistema imunológico.
Cidades sujeitas:	Londres, Chicago (cidades que têm inverno rigoroso e onde há intensa queima de óleo e carvão), São Paulo.	São Paulo, Los Angeles, Sydney, Cidade do México.
Cor	cinza. Forma uma espécie de névoa que recobre as cidades.	Avermelhada/marrom.

Poluição global: efeito estufa

- A radiação infravermelha incidente sobre a superfície da Terra é radiação de pequena longitude de onda. Por outro lado, a radiação reenviada para o espaço, tem grande longitude de onda.
- O efeito estufa natural do planeta é responsável pelo fato de a temperatura média no planeta se $+15,5^{\circ}\text{C}$ ao invés de -15°C .

Poluição global: efeito estufa

- O efeito estufa foi identificado no século XIX pelo cientista Jean Fournier. Em 1896, Arrhenius alertava para os possíveis impactos ambientais decorrentes da duplicação do teor de CO₂ na atmosfera.
- A emissão dos chamados gases de efeito estufa (GEE) aumenta a quantidade de energia que fica retida na atmosfera devido ao calor refletido ou emitido (radiação infravermelha) pela superfície da Terra o que causa a elevação da temperatura na superfície.

Poluição global: efeito estufa

- Os gases de efeito estufa provocam na atmosfera o aumento gradativo da temperatura na atmosfera em consequência: do aumento dos teores de GEE na atmosfera; capturam parte da radiação infravermelha que é reemitida de volta para o espaço.

Poluição global: efeito estufa

- Os GEE têm diferentes intensidades no aquecimento causado. O Potencial de Aquecimento Global (PAG) expressa esse aquecimento. O referencial é o CO_2 cujo PAG = 1. Um kg do gás metano provoca um efeito estufa 21 vezes maior do que um kg de CO_2 enquanto que um kg de óxido nitroso (N_2O) exerce efeito 310 vezes mais danoso do que um kg de CO_2 . O Quadro a seguir apresenta os principais GEE, as suas respectivas fontes antropogênicas e contribuição relativa para o aquecimento global.

Quadro: os principais GEE, as suas respectivas fontes antropogênicas e contribuição relativa para o aquecimento global. Fonte: adaptado de Lora; Teixeira, 2004

GEE	Fontes antropogênicas	Contribuição relativa para o aquecimento global (%)
CO2	Combustão de combustíveis fósseis, desmatamento, mudanças no uso da terra.	70
CH4	Cultivo de arroz, ruminantes, combustão de combustíveis fósseis, vazamentos de gás natural.	27
N2O	Fertilizantes, queima de biomassa, combustão de combustíveis fósseis, conversão da terra para agricultura	3
CFC	Fluidos refrigerantes, aerossóis, propelentes, processamento de espuma plástica para embalagens.	-----

Efeito estufa

- A queima dos combustíveis fósseis é considerada como sendo a maior responsável pelo lançamento de gás carbônico para a atmosfera. Braga et al. (2002) citam que, de acordo com o World Meteorological Organization (WMO):
 - -em altas e médias latitudes, as temperaturas de inverno poderão crescer mais do que o dobro da média mundial. As temperaturas de verão não deverão se alterar muito.

Efeito estufa

- Esse aumento de temperatura poderá provocar uma elevação dos níveis dos oceanos (de 20 a 165 cm) o que deverá provocar erosão litorânea, inundação, danos aos portos e estruturas costeiras, intrusão salina em aquíferos, enchentes, elevação de lençóis de água, entre outros.
- Lugares como as ilhas Maldivas deverão desaparecer enquanto que 70% das costas marítimas sofrerão erosão.

Efeito estufa

- -o aumento da concentração de gás carbônico poderá provocar um aumento no rendimento de algumas culturas tais como milho, cana-de-açúcar (10%), sorgo sacarino, arroz, trigo, soja e batata (50%).
- -as mudanças climáticas serão intensas e trarão alterações nos regimes das chuvas e das secas, mudanças essas que poderão influenciar processos biológicos como pragas de insetos e a multiplicação de organismos patogênicos.

Poluição global: chuva ácida

- Os gases nitrogenados e sulfonados produzidos por uma série de atividades antropogênicas reagem com o vapor de água produzindo ácido nítrico e sulfúrico. Esses ácidos são carregados pela água da chuva e se precipitam sobre o solo. Existe também o mecanismo da deposição de sais dissolvidos ou deposição de ácidos.

Chuva ácida

- É considerada chuva ácida aquela cujo pH é inferior a 5,6. A chuva ácida é observada em diversas regiões do planeta: nas regiões industrializadas da Europa e Estado Unidos (pH da ordem de 3), regiões da América do Sul (pH em torno de 4,7), na região amazônica, na cidade de Cubatão.

Chuva ácida

- Outros exemplos de locais afetados pela chuva ácida são: as florestas da Escandinávia (destruídas pela poluição gerada na Alemanha e Inglaterra), Canadá (em torno de 50% da chuva ácida do Canadá é proveniente dos Estados Unidos).

Chuva ácida

- Os danos causados pela chuva ácida são:
- -enormes perdas de produtividade na agricultura devido a acidificação do solo (tendo como conseqüências a lixiviação dos nutrientes e eliminação dos organismos que atuam no desenvolvimento do solo);

Chuva ácida

- acidificação dos corpos d'água (principalmente no lagos e reservatórios destinados à produção de energia levando ao desgaste de tubulações, turbinas, bombas), mortandade de peixes;
- destruição da vegetação;
- destruição de obras civis (monumentos, pontes);

Chuva ácida

- -formação de partículas de sulfato de amônio (o ácido sulfúrico que permanece fixado nessas partículas pode ser inalado causando sérias doenças tais como câncer pulmonar. Em geral essas partículas são eliminadas em poucos dias; porém, em períodos secos e/ou de inversão térmica pode-se observar a presença de altas concentrações dessas partículas na atmosfera.

Poluição global: destruição da camada de ozônio

- A camada de ozônio está situada na estratosfera entre 15 e 50 km de altitude e é responsável por “filtrar” as radiações solares, impedindo que grande parte da radiação ultravioleta nociva atinja a superfície da Terra. A radiação ultravioleta pode ser dividida em três grupos em função do comprimento de onda e, portanto, à intensidade de energia.
- -radiação ultravioleta A (UVA, comprimento de onda característico entre 320 – 400 nm): tem comprimento de onda muito próximo do visível (violeta). Não é absorvida na camada de ozônio.

Poluição global: destruição da camada de ozônio

- -radiação ultravioleta B (UVB, comprimento de onda entre 280 – 320 nm): são vários os efeitos prejudiciais, particularmente os danos causados ao DNA. É a causa do melanoma e outros tipos de câncer de pele. Apresenta danos à vegetação. A maior parte da radiação UVB é filtrada na camada de ozônio.
- -radiação ultravioleta C (UVC, comprimento de onda < 280 nm): é extremamente prejudicial, mas é completamente filtrada na camada de ozônio e pelo oxigênio presente na atmosfera.

Poluição global: destruição da camada de ozônio

- A radiação ultravioleta tem energia suficiente para provocar reações químicas associadas à formação e destruição do ozônio estratosférico.
- Os CFCs (clorofluorocarbonos) muito utilizados como fluidos refrigerantes, propelentes, equipamentos eletrônicos, processamento de plásticos são muito estáveis e permanecem na atmosfera por muito tempo (em torno de 100 anos). Na atmosfera, os CFCs reagem com o ozônio causando a sua destruição. Os países desenvolvidos vêm atuando no sentido de diminuir/eliminar o uso dos CFCs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, LEITURAS COMPLEMENTARES E CONSULTAS

- BAIRD, C., Química Ambiental. Bookman, 2ed, 2004
- BRAGA, B. et al. Introdução à engenharia ambiental. Prentice Hall, São Paulo, 2002.
- CANÇADO J.E; BRAGA, A; PEREIRA, L.A.A.; ARBEX, M.A.; SALDIVA, P.H.N; Santos, U.P. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica J. Bras. Pneumol. vol.32 suppl.2 São Paulo May 2006
- RESOLUÇÃO CONAMA 03/90 encontrada em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>. Último acesso em 01/06/09