

Aula 4

QUÍMICA DA ATMOSFERA - PARTE I

META

- Apresentar a atmosfera e sua composição;
- Apresentar as camadas da atmosfera;
- Apresentar as transformações químicas na atmosfera;
- Apresentar a classificação dos poluentes atmosféricos;
- Apresentar a combustão de materiais;
- Apresentar o *smog* fotoquímico;
- Apresentar a inversão térmica;
- Apresentar a chuva ácida.

OBJETIVOS

- Ao final desta aula, o aluno deverá:
- Definir atmosfera e sua composição;
- Entender as camadas da atmosfera;
- Compreender as transformações químicas na atmosfera;
- Classificar os poluentes atmosféricos;
- Definir a combustão de materiais;
- Conhecer o *smog* fotoquímico;
- Entender a inversão térmica;
- Compreender a chuva ácida.

PRÉ-REQUISITOS

Oitenta créditos cursados.

Carlos Alexandre Borges Garcia
Elisangela de Andrade Passos

INTRODUÇÃO

Na aula anterior foram apresentadas as variáveis físicas, químicas, hidrobiológicas, microbiológicas e toxicológicas de qualidade da água. Ao final desta aula, você deverá compreender as diferenças entre essas variáveis e a importância de cada uma.

Nesta aula será definida a atmosfera e apresentado sua composição e divisão em camadas. Ainda serão apresentados as fontes de emissão de poluentes e seus sorvedores e a combustão de materiais, o *smog* fotoquímico, a inversão térmica e a chuva ácida.

Ao final desta aula, você deverá compreender a importância da atmosfera e os problemas ambientais como a combustão de materiais, o *smog* fotoquímico, a inversão térmica e a chuva ácida.

A ATMOSFERA E SUA COMPOSIÇÃO

Em 1961, Yuri Gagarin, o primeiro astronauta que viajou ao espaço a bordo da nave *Vostok 1* e vendo a Terra de longe disse: - A Terra é azul.

A Terra é azul por que quase toda sua superfície é coberta de água, e a água reflete a luz da atmosfera. O céu de um dia com céu limpo é azul porque as moléculas do ar dispersam mais luz azul do que luz vermelha. Quando se olha para o Sol em um pôr-do-sol nós vemos um vermelho alaranjado porque a luz azul é dispersa para fora e para longe da linha da visão.

A atmosfera é uma camada gasosa que envolve a Terra. Ela regula o clima e atua como meio de transporte de substâncias indispensáveis à vida, como oxigênio, dióxido de carbono e água. Além disso, a atmosfera protege a superfície terrestre das radiações ultravioleta provenientes do sol e das radiações cósmicas, absorvendo-as quase totalmente.

Na Tabela 1, onde mostra a composição da atmosfera e condições ambientais na Terra sem vida, em Marte e na Terra atual, podemos observar que atmosfera do nosso planeta é muito diferente da dos vizinhos. Quando comparamos a concentração dos gases da nossa atmosfera com a do planeta Marte encontramos valores completamente diferentes. Mas quando comparamos com a atmosfera da Terra antes dela possuir vida, é muito similar à do planeta Marte de hoje. Logo, a nossa vida depende da atmosfera e a composição da atmosfera depende da vida.

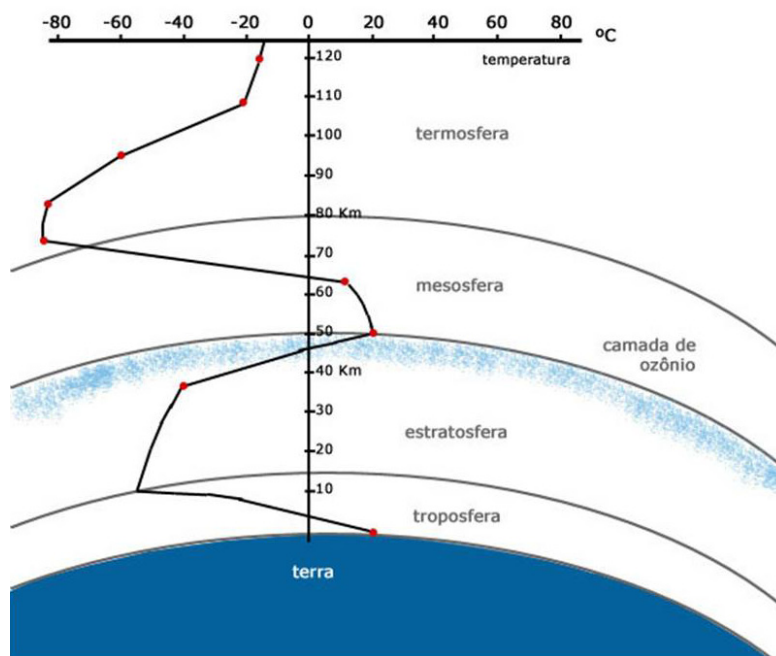
Tabela 1. Composição da atmosfera da Terra sem vida, Terra atual e Marte.

Gases	Terra sem vida (%)	Terra atual (%)	Marte (%)
Oxigênio	traços	21	0,13
Nitrogênio	1,9	77	2,7
Dióxido de carbono	98	0,038	95

Ainda observando a Tabela 1, nota-se que cerca de 77 % dos gases presentes na atmosfera é nitrogênio, 21 % de oxigênio, e 0,038% de dióxido de carbono. Outros gases também comparecem em menor proporção como hélio, neônio, criptônio, metano, dióxido de nitrogênio, etc. São também constituintes da atmosfera vapor d'água, cristais de sais e material particulado orgânico e inorgânico.

CAMADAS DA ATMOSFERA

A atmosfera é dividida em cinco camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera e exosfera. Esta divisão está relacionada com propriedades químicas e físicas, que influem no gradiente térmico de acordo com a altitude, como mostra a Figura.



Camadas da atmosfera.

Fonte: http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_quimica_da_atmosfera.pdf

Acessado em 03/01/2012

A troposfera é a camada mais próxima da superfície da Terra, se estende do nível do mar até 16 km de altitude. Nela a temperatura diminui com a altitude. É a camada mais instável, onde ocorre a maioria das reações químicas na atmosfera. Logo após temos a estratosfera, na qual a temperatura se eleva com a altitude, devido à absorção da radiação ultravioleta pelo ozônio. Esta camada é ambientalmente importante por ser rica em ozônio. A mesosfera, camada acima da estratosfera, a temperatura volta a decrescer com a altitude devido à diminuição de espécies que absorvem energia,

especialmente ozônio. Logo após temos a termosfera, onde ocorre a absorção de radiações solares e cósmicas de alta energia, com a conseqüente ionização de átomos e moléculas, fenômeno útil para as transmissões de rádio. A exosfera é a camada mais externa da atmosfera, seu limite vai do final da termosfera ao espaço sideral. Devido à absorção de radiação de alta energia de comprimento de onda de cerca de 200 nm, a temperatura a partir da termosfera chega a 1.200°C.

As camadas mais relevantes sob o ponto de vista ambiental são a estratosfera e a troposfera, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2. Camadas da atmosfera que ocorrem alguns dos principais fenômenos que serão estudados

Fenômeno	Camada da atmosfera
Efeito estufa	Troposfera
Chuva ácida	Troposfera
Fumaça fotoquímica	Troposfera
Aerossol	Troposfera
Depleção do ozônio	Estratosfera

A troposfera mantém contato direto com a crosta terrestre e com os seres vivos. A maioria dos estudos sobre a poluição do ar se refere à troposfera. Nela ocorrem intensa movimentação e transformação dos componentes gasosos e das partículas emitidas pelos oceanos e continentes.

TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS NA ATMOSFERA

As trocas de moléculas dentro da atmosfera dependem de fenômenos químicos, físicos e biológicos. As alterações ocorrem, principalmente, entre os componentes minoritários. Estes componentes são tão importantes quanto os macroconstituintes, pois a poluição atmosférica é resultado da mudança dos componentes minoritários.

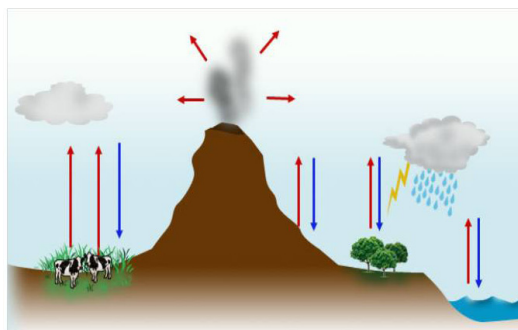
Na Figura que segue está apresentado o tempo de residência e composição média de alguns gases na atmosfera. O tempo de residência é definido como o tempo médio de permanência de um composto na atmosfera. Quanto maior esse tempo maior a probabilidade desse composto se espalhar por toda a atmosfera do planeta.

Compostos	Tempo de residência (a: anos; d: dias; h: horas)	Composição (ppb: parte por bilhão em volume)
Dióxido de carbono, CO ₂	4a	360.000
Monóxido de carbono, CO	0,1a	100
Metano, CH ₄	8a	1.600
Formaldeído, HCOH	1d	1-0,1
Ácido fórmico, HCO ₂ H	5d	2-0,1
Óxido de dinitrogênio, N ₂ O	85a	310
Óxido nítrico, NO	1d	0,1
Dióxido de nitrogênio, NO ₂	1d	0,3
Amônia, NH ₃	5d	1
Dióxido de enxofre, SO ₂	1-4d	0,01-0,1
Sulfeto de hidrogênio, H ₂ S	24h	0,05
Sulfeto de carbono, CS ₂	40d	0,02
Dimetil sulfeto, CH ₃ -S-CH ₃	0,5d	0,005
Peróxido de hidrogênio, H ₂ O ₂	1d	0,1-10
Cloreto de metila, CH ₃ Cl	1,8a	0,7
Cloreto de hidrogênio, HCl	4d	0,001

Tempo de residência dos gases minoritários na atmosfera.
Fonte: Rocha e colaboradores (2009)

A emissão de componentes produzidos por seres vivos é conhecida como biogênica. Não é só vida que emite material para atmosfera, toda a natureza, os ventos, levantam a poeira do solo, rios, lagos e oceanos perdem água pela evaporação, os vulcões lançam grandes quantidades de poeira e gases como o sulfeto de hidrogênio (H₂S), o dióxido de enxofre (SO₂), o ácido clorídrico (HCl). As ondas que quebram na superfície do mar formam gotas pequenas que são arrastadas pelo vento. Tudo o que é emitido pela vida e pela natureza para a atmosfera é conhecido como emissão natural. Quando a emissão é proveniente de alguma atividade humana, a emissão é conhecida como antropogênica. A Figura ao lado apresenta algumas emissões e deposições naturais e antropogênicas, mais comuns entre a atmosfera e a superfície da Terra.

As fontes de compostos e partículas na atmosfera podem ser pontuais ou difusas. A fonte pontual ocorre quando existe um ponto localizado onde ocorre a emissão, enquanto que a fonte difusa ocorre quando a emissão está esp-



Emissões e deposições naturais e antropogênicas mais comuns entre a atmosfera e a superfície da Terra.

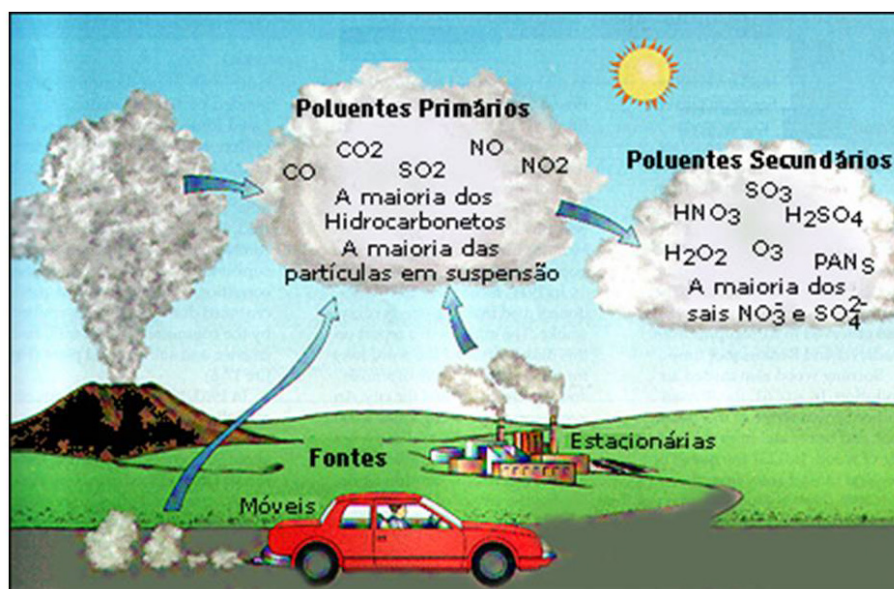
Fonte: http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_quimica_da_atmosfera.pdf

Acessado em 03/01/2012

alhada em uma grande área. A fonte pode ser móvel, como a chaminé de um navio, ou estacionária, como a chaminé de uma fábrica.

CLASSIFICAÇÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados em primários ou secundários. Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão, enquanto que os poluentes secundários são aqueles formados na atmosfera, através da reação química entre poluentes e/ou constituintes naturais na atmosfera. A Figura 4 apresenta algumas emissões de poluentes primários e secundários.



Formação dos poluentes primários e secundários.

Fonte: http://campus.fct.unl.pt/afr/ipa_0203/g02_terraebulicao/outras_gases.htm

Acessado em 03/01/2012

Os sorvedores são processos de consumo de componentes que são emitidos na atmosfera. A chuva, que dissolve os gases solúveis da atmosfera, é um exemplo de sorvedor úmido, e o vento, que arrasta o composto em direção ao solo, é um exemplo de sorvedor seco.

Os processos de transporte e deposição são responsáveis pelo retorno de parte dessas substâncias aos solos, oceanos e corpos d'água, enquanto reações na atmosfera produzem as transformações químicas e físicas, convertendo-as em novas espécies. Essa sequência de transformações é conhecida como ciclo biogeoquímico. Existem vários ciclos, mas os mais importantes são os do carbono, da água, do nitrogênio e do enxofre.

O ciclo da água foi abordado na Aula 02. Já os ciclos do carbono, nitrogênio e enxofre foi muito bem abordado no artigo intitulado “Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a importância na Química da Atmosfera” de autoria dos professores Claudia Rocha Martins, Pedro Afonso de Paula Pereira, Wilson Araújo Lopes e Jailson B. de Andrade. Este artigo está disponível na plataforma para leitura.

POLUIÇÃO DA ATMOSFERA: COMBUSTÃO DE MATERIAIS

A poluição atmosférica é resultado do aumento da concentração dos gases minoritários e de partículas na atmosfera. A principal atividade antropogênica que afeta a atmosfera é a queima de combustível e florestas. Os principais combustíveis queimados são o carvão e os derivados do petróleo. O álcool e o biodiesel são produtos de fonte de energia renovável. A cana ou a soja, matérias-primas desses combustíveis, podem ser cultivadas e produzir o biocombustível em um curto espaço de tempo. Vários compostos podem ser emitidos com a combustão, vamos abordar a seguir acerca dos óxidos de nitrogênio e compostos de enxofre.

ÓXIDOS DE NITROGÊNIO

Os óxidos de nitrogênio são formados durante processos de combustão e pode ser encontrado em diferentes combinações: N_2O , NO , NO_2 , NO_3 , N_2O_3 , N_2O_4 e N_2O_5 . Dentre eles, somente N_2O , NO e NO_2 são encontrados em quantidades significativas e apresentam funções relevantes na Química da Atmosfera.

O óxido de dinitrogênio (N_2O) é um gás incolor, emitido principalmente por fontes naturais (ação bacteriana) e por reação entre N_2 e O_3 . É um gás estufa. O óxido nítrico (NO) é um gás incolor e inodoro, produzido na natureza por ação de microorganismos, sendo também um dos principais poluentes produzidos pela ação humana. Na atmosfera, é oxidado rapidamente por O_3 e mais lentamente por O_2 , formando NO_2 . O dióxido de nitrogênio (NO_2) é um gás avermelhado e de cheiro irritante, é um dos principais poluentes secundários presentes na atmosfera das metrópoles. Apesar de ser emitido diretamente (fonte primária) é formado pela reação de oxidação do NO (fonte secundária), é comum ambos serem encontrados juntos. Denomina-se NO_x , a soma de NO_2 e NO .

ÓXIDOS DE ENXOFRE

Os compostos de enxofre são também formados durante processos de

combustão de materiais que apresentam enxofre em sua constituição. Pode ser encontrado em diferentes combinações: SO_2 , H_2S , $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ e CH_3SH .

O dióxido de enxofre (SO_2) é um gás incolor, denso, tóxico, não-inflamável, com um odor sufocante. É expelido do solo principalmente pelos vulcões. Também se forma quando compostos voláteis de enxofre produzidos pela decomposição de matéria animal e vegetal são oxidados no ar. Quanto às formas antropogênicas destacam-se a combustão de compostos contendo enxofre, ex. os combustíveis fósseis.

O dimetil sulfeto ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$) e metanotiol (CH_3SH) são compostos de enxofre reduzido mais frequentemente emitido em refinarias de petróleo, fábricas de celulose, plantas de tratamento de esgoto e produção de *rayon* - viscose, etc. Produzem odor desagradável, mesmo em baixas concentrações.

POLUIÇÃO DA ATMOSFERA: SMOG FOTOQUÍMICO

A palavra *smog* é uma combinação das palavras em inglês *smoke* (fumaça) e *fog* (neblina). O *smog* é um fenômeno que aparece nos grandes centros urbanos. É identificado por uma grande massa de ar estagnado em conjunto com vários gases, vapores de ar e fumaça que acabam em nossos pulmões (Figura a baixo). O termo fotoquímico é usado porque a luz desempenha um papel fundamental para ativar as reações.



Formação do smog fotoquímico.

Fonte: <http://smogfotoquimico2010.blogspot.com/>

Acessado em 03/01/2012

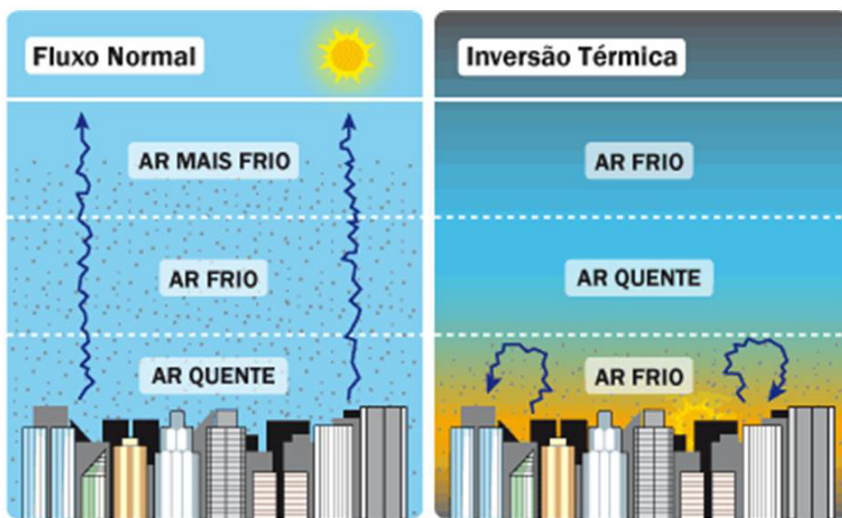
O *smog* fotoquímico é a reação de hidrocarbonetos, não muito poluentes, com gases presentes na atmosfera, O_3 , NO e NO_2 . O ozônio é o principal componente do *smog* fotoquímico.

O ozônio é um gás instável, altamente reativo e oxidante. O ozônio presente na troposfera é um perigoso poluente que além de provocar problemas respiratórios e o *smog* fotoquímico também degrada tecidos e danifica plantas. O que contrasta com o papel protetor que geralmente é atribuído ao ozônio estratosférico. O ozônio é um poluente secundário, tendo como reagentes principais para sua formação: o óxido nítrico e compostos orgânicos voláteis.

O *smog* fotoquímico pode nos apresentar alguns problemas à saúde como irritação e danos nos olhos, na pele e nos pulmões; secura nas membranas protetoras do nariz e da garganta; alterações no sistema imunológico, e agravamento das doenças respiratórias como a asma.

POLUIÇÃO DA ATMOSFERA: INVERSÃO TÉRMICA

A inversão térmica é, assim como o *smog* fotoquímico, um fenômeno atmosférico muito comum nos grandes centros urbanos industrializados (Figura).



Formação da inversão térmica.

Fonte: <http://ambiente.hsw.uol.com.br/inversao-termica.htm>

Acessado em 03/01/2012

Esse processo ocorre quando a camada de ar fria, por ser mais pesada, acaba descendo e ficando numa região próxima a superfície terrestre, retraindo os poluentes. O ar quente, por ser mais leve, fica numa camada superior, impedindo a dispersão dos poluentes. Essa camada atua como uma tampa, bloqueando o movimento ascendente de gases e partículas. Sendo assim,

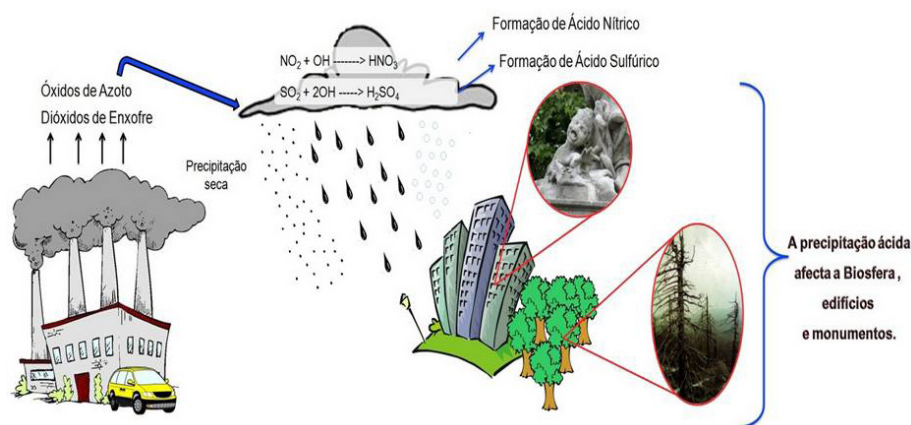
a dispersão desses poluentes fica extremamente prejudicada, ocorrendo o acúmulo dos materiais na atmosfera, favorecendo as reações fotoquímicas.

Este fenômeno climático pode ocorrer em qualquer dia do ano, porém é no inverno que ele é mais comum. Nesta época do ano as chuvas são raras, dificultando ainda mais a dispersão dos poluentes, sendo que o problema se agrava. Além disso, afeta a saúde das pessoas, principalmente das crianças, provocando doenças respiratórias, cansaço entre outros problemas de saúde. Pessoas que possuem doenças como, por exemplo, bronquite e asma são as mais afetadas com esta situação.

Como exemplo deste fenômeno destaca-se no Brasil a cidade de São Paulo. Esta adota, desde 1997, o rodízio de carros para diminuir o impacto da poluição, eliminando boa parte da frota durante o horário de *rush*. Além disso, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) tem controlado a qualidade do ar em São Paulo, com atenção especial para os dias de inverno.

PROPRIEDADE ÁCIDA/BÁSICA DA ATMOSFERA: CHUVA ÁCIDA

A chuva ácida é uma das principais consequências da poluição do ar (Figura 7). A queima incompleta dos combustíveis fósseis pelas indústrias e pelos veículos produz o gás carbônico junto com outras formas oxidadas do nitrogênio e do enxofre que são liberados para a atmosfera. Juntando o dióxido de enxofre e o vapor d'água forma-se o ácido sulfúrico que cai sobre a superfície terrestre em forma de chuva. De modo similar forma-se o ácido nítrico, usando o dióxido de nitrogênio.



Formação da chuva ácida.

Fonte: <http://achuvaacidacb.blogspot.com/>

Acessado em 03/01/2012

Os poluentes do ar são carregados pelos ventos e viajam milhares de quilômetros; assim, as chuvas ácidas podem cair a grandes distâncias das fontes poluidoras, prejudicando outros países.

A chuva ácida causa prejuízos ao solo e a vegetação fica comprometida. A acidificação prejudica os organismos em rios e lagoas, comprometendo a pesca. Monumentos de mármore são corroídos, aos poucos, pela chuva ácida.

A maior ocorrência de chuvas ácidas até os anos 1990 era nos Estados Unidos (EUA). Contudo, esse fenômeno se intensificou nos países asiáticos, principalmente na China, que consome mais carvão mineral do que os EUA e os países europeus juntos. No Brasil, a chuva ácida é mais comum nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

Algumas ações são necessárias para reduzir esse problema, tais como a redução no consumo de energia, sistema de tratamento de gases industriais, utilização de carvão com menor teor de enxofre e a popularização de fontes energéticas limpas: energia solar, eólica, biocombustíveis, entre outras.

LEIA MAIS

O artigo intitulado “**Química Atmosférica: a Química sobre as nossas cabeças**” e é sugestão de leitura para melhorar a compreensão do tema Química da Atmosfera. Este está disponível na plataforma. Em seguida, faça um resumo sucinto das principais idéias do texto.

CONCLUSÃO

Nessa sessão foram apresentadas a atmosfera e suas camadas, as fontes de emissão de poluentes e seus sorvedores. Além disso, foram apresentados problemas de poluição como a combustão de materiais, o *smog* fotoquímico, a inversão térmica e a chuva ácida.



RESUMO

A atmosfera é uma camada gasosa que envolve a Terra. Ela regula o clima e atua como meio de transporte de substâncias indispensáveis à vida, como oxigênio, dióxido de carbono e água. A atmosfera é dividida em cinco camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera e exosfera. As camadas relevantes sob o ponto de vista ambiental são a estratosfera e a troposfera. A emissão natural é proveniente da natureza e a emissão antropogênica é proveniente de alguma atividade humana. As fontes de

compostos e partículas na atmosfera podem ser pontuais ou difusas e móvel ou estacionária. Os poluentes podem ser classificados em primários ou secundários. Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão, enquanto que os secundários são formados através da reação química. Os sorvedores são processos de consumo de componentes que são emitidos na atmosfera. Existem vários ciclos, mais os mais importantes são os do carbono, da água, do nitrogênio e do enxofre. A poluição atmosférica é resultado do aumento da concentração dos gases minoritários e de partículas na atmosfera. A principal atividade antropogênica que afeta a atmosfera é a queima de combustível e florestas. O *smog* fotoquímico é a reação de hidrocarbonetos, não muito poluentes, com gases presentes na atmosfera, O_3 , NO e NO_2 . O ozônio é o principal componente do *smog* fotoquímico. A inversão térmica ocorre quando a camada de ar fria é bloqueada por uma camada quente e impede o movimento de gases e partículas e a dispersão desses poluentes fica extremamente prejudicada. A chuva ácida é uma das principais consequências da poluição do ar e proveniente, principalmente, da queima incompleta dos combustíveis fósseis.



O ar que respiramos hoje é bem diferente do ar da era pré-industrial. Comente essa afirmação.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Se compararmos a qualidade do ar da era pré-industrial ao ar que respiramos hoje, especialmente nas grandes metrópoles, deparamo-nos com uma imensa e absurda diferença. E, apesar do grande avanço do aparato tecnológico desenvolvido nas últimas décadas, as chaminés de nossas fábricas (que produzem bens e serviços altamente avançados no sentido de melhorar nossa qualidade de vida), os escapes de nossos automóveis e aviões, as queimadas de coberturas vegetais, naturais ou plantadas etc, continuam a lançar na atmosfera grandes quantidades de espécies químicas gasosas e particuladas. Hoje, apesar de ainda conhecermos uma ínfima parte do poder tóxico dessas espécies, já sabemos o suficiente para entendermos o grande risco que representam para as diferentes formas de vida da biosfera. Nela, o homem é a única espécie viva que, ao mesmo tempo, sofre as consequências de inúmeros impactos negativos à sua qualidade de vida e assiste a quase tudo de braços amarrados, quase sem forças para mudar e melhorar o seu destino neste planeta. Texto retirado do artigo “Química Atmosférica: a química sobre as nossas cabeças”.



AUTO-AVALIAÇÃO

- Consigo definir atmosfera e sua composição?
- Sinto-me capaz de entender as camadas da atmosfera?
- Consigo compreender as transformações químicas na atmosfera?
- Sou capaz de classificar os poluentes atmosféricos?
- Sinto-me capaz de definir a combustão de materiais?
- Sou capaz de conhecer o *smog* fotoquímico?
- Consigo entender a inversão térmica?
- Sinto-me capaz de compreender a chuva ácida?



PRÓXIMA AULA

Na próxima aula iremos abordar acerca da Química da Atmosfera – Parte II

REFERÊNCIAS

- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª ed. Porto Alegre, Bookman, 2002.
- ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A.A. **Introdução à Química Ambiental**. 1ª ed. Porto Alegre, Bookman, 2004.
- MANAHAN, S.E., **Fundamentals of Environmental Chemistry**, 2ª ed. Florida: Lewis Publishers, 2001.
- MARTINS, C.R. PEREIRA, P.A.P., LOPES, W.A, DE ANDRADE, J.B. **Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a importância na química da atmosfera**.
- MOZETO, A.A. **Química Atmosférica: a química sobre as nossas cabeças**. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, número especial, 2001.

