

# Aula 5

## QUÍMICA DA ATMOSFERA - PARTE II

### **META**

- Apresentar o efeito estufa;
- Apresentar o Protocolo de Kyoto;
- Apresentar a importância da camada de ozônio;
- Apresentar a amostragem de material particulado;
- Apresentar a legislação brasileira para material atmosférico.

### **OBJETIVOS**

- Ao final desta aula, o aluno deverá:
  - Entender o efeito estufa;
  - Compreender o Protocolo de Kyoto;
  - Conhecer a importância da camada de ozônio;
  - Entender amostragem de material atmosférico;
- Compreender a importância da legislação brasileira para material atmosférico.

### **PRÉ-REQUISITOS**

- Oitenta créditos cursados.

**Carlos Alexandre Borges Garcia**  
**Elisangela De Andrade Passos**

### INTRODUÇÃO

Na aula anterior foi definida a atmosfera e apresentado sua composição e divisão em camadas. Ainda foram 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.

Nesta aula serão apresentados o efeito estufa, o Protocolo de Kyoto e o ozônio na estratosfera. Será ainda definido e classificado o material particulado. Ainda serão abordadas a amostragem de material atmosférico e a Resolução CONAMA 003/1990.

Ao final desta aula, você deverá compreender a importância do ozônio estratosférico, do protocolo de Kyoto e os problemas causados pelo aumento da temperatura da Terra. Por fim, compreender os materiais particulados e a importância de existir uma legislação com valores orientadores para a qualidade do ar.

### EFEITO ESTUFA

O efeito estufa é a elevação da temperatura da terra provocada pela introdução na atmosfera de excessivas quantidades de gases estranhos. O principal agente causador do efeito estufa é o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), resultante da combustão do carvão, lenha e petróleo. Esse efeito é semelhante à dos vidros fechados de um carro exposto ao sol. O vidro permite a passagem dos raios solares, acumulando calor no interior do veículo, que fica cada vez mais quente. As consequências desse fenômeno são catastróficas como o aquecimento e a alteração do clima favorecendo a ocorrência de furacões, tempestades e até terremotos; ou o degelo das calotas polares, aumentando o nível do mar e inundando regiões litorâneas; ou afetando o equilíbrio ambiental com o surgimento de epidemias.

#### LEIA MAIS

**O artigo intitulado “A química no efeito estufa” e é sugestão de leitura para melhorar a compreensão do tema efeito estufa. Este está disponível na plataforma. Em seguida, faça um resumo sucinto das principais idéias do texto.**

### PROTOCOLO DE KYOTO

O Protocolo de Kyoto é um acordo internacional estabelecido em 1997 na cidade de Kyoto, no Japão. Sua proposta consiste em reduzir emissões de gases estufas dos países industrializados e garantir um modelo de desenvolvimento limpo aos países em desenvolvimento.

O protocolo prevê uma redução da emissão de poluentes, em relação a 1990, de 7% para os EUA, 8% para a Europa e 6% para o Japão. Para países em desenvolvimento como China, México e Brasil não foram estipulados níveis de redução.

Na Figura 1 está o Ranking de emissões de CO<sub>2</sub> por diferentes países no ano de 2002. Os EUA emitem 25% de CO<sub>2</sub> e o Brasil ocupa o décimo sétimo lugar do ranking.

Ranking	País	Emissão (bilhões de toneladas)
1	Estados Unidos	5,84
2	China	3,26
3	Rússia	1,43
4	Índia	1,22
5	Japão	1,20
6	Alemanha	0,80
7	Reino Unido	0,54
8	Canadá	0,52
9	Coréia do Sul	0,45
10	Itália	0,43
⋮		
17	Brasil	0,31

Ranking de emissões de CO<sub>2</sub> por diferentes países no ano de 2002.  
Fonte: Rocha e colaboradores (2009)

## O OZÔNIO ESTRATOSFÉRICO

A camada de ozônio protege a terra dos raios ultravioleta do sol, que são extremamente prejudiciais à vida. Ela está situada na faixa de 15 e 50 km de altitude. Os clorofluorcarbonos (CFCs) são compostos altamente nocivos a este escudo natural da terra. O CFC é uma mistura de átomos de cloro e carbono. Presentes no ar poluído, o CFC é transportado até elevadas altitudes quando é bombardeado pelos raios solares ocasionando a separação do cloro e do carbono. O cloro, por sua vez, tem a capacidade de destruir as moléculas de ozônio. Basta um átomo de cloro para destruir milhares de moléculas de ozônio (O<sub>3</sub>) formando um buraco, pelo qual, os raios UV passam chegando a atingir a superfície terrestre. Em 1985 os cientistas descobriram um buraco na camada de ozônio sobre a Antártida, o qual continua se expandindo. A redução do ozônio contribui para o efeito estufa.

## POLUIÇÃO INDOOR

Qualidade do ar de interiores é uma ciência que surgiu na década de 70. O interesse em estudar ambientes fechados ocorreu após a descoberta de que baixas taxas de troca de ar nestes ambientes ocasionam um aumento considerável na concentração de poluentes químicos e biológicos no ar.

Os sintomas relacionados à qualidade do ar passaram a ser mais estudados e, atualmente, são conhecidos como Síndrome dos Edifícios Doentes (SED), a qual é reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS), desde o início da década de 80. De acordo com a OMS, os sintomas mais comuns de SED são irritação e obstrução nasal, desidratação e irritação da pele, irritação e secura na garganta e nas membranas dos olhos, dor de cabeça, letargia e cansaço generalizado levando à perda de concentração. Podem ser percebidos um ou mais sintomas, que geralmente desaparecem quando a pessoa permanece por um tempo longo fora desse ambiente.

São inúmeras as fontes de poluentes em ambientes internos, além das atividades ocupacionais do próprio homem. Dentre os contaminantes usualmente monitorados estão o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o monóxido de carbono (CO), os compostos orgânicos voláteis totais e especiados (COVsT e COV), os compostos orgânicos semi-voláteis (COSVs), matéria particulada, nicotina e microorganismos.

### LEIA MAIS

O artigo intitulado “Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil” e é sugestão de leitura para melhorar a compreensão do tema poluição indoor. Este está disponível na plataforma. Em seguida, faça um resumo sucinto das principais idéias do texto.

## MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO

### DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Material particulado atmosférico (MPA) consiste em uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas, que varia em tamanho, composição e origem, podendo se apresentar no estado sólido (poeira e fuligem) ou líquido (névoa e neblina).

As principais fontes de emissão de MPA para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos

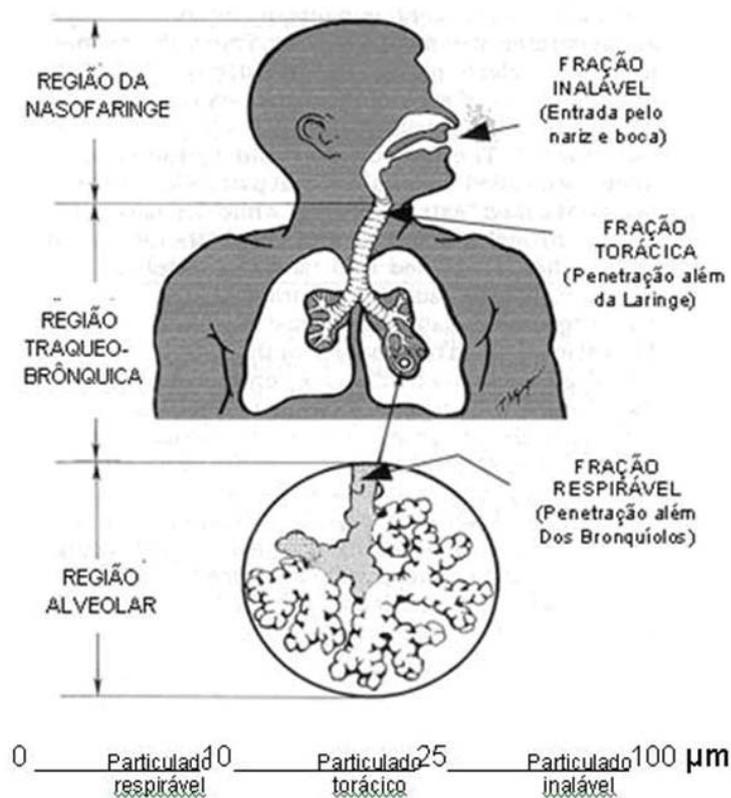
principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar.

O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que quanto menores maiores os efeitos provocados. O MPA pode ser classificado em partículas totais em suspensão, partículas inaláveis e fumaça.

As partículas totais em suspensão (PTS) podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que  $50\ \mu\text{m}$ . Uma parte destas partículas são inaláveis e pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade.

As partículas inaláveis podem ainda ser classificadas como partículas finas e grossas. As partículas finas são inaláveis e tem diâmetro aerodinâmico é inferior a  $2,5\ \mu\text{m}$ . Esta partícula é denominada  $\text{MP}_{2,5}$ . As partículas grossas são respiráveis e seu diâmetro aerodinâmico está entre  $2,5\ \mu\text{m}$  e  $10\ \mu\text{m}$ . Esta partícula é denominada  $\text{MP}_{10}$ . Ainda existem as partículas menores que  $1\ \mu\text{m}$ , denominadas  $\text{MP}_1$ .

As partículas finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares, já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório, como pode ser visto na Figura.



Entrada de MPA nos sistema respiratório.

Fonte: <http://solutions.3m.com.br>

Acessado em 03/01/2012

A fumaça (FMC) está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera.

A Figura a baixo mostra as principais fontes de materiais particulados existente na natureza. Como pode ser observada nessa figura, a emissão natural é maior que a antropogênica, porém essa última vem aumentando seu conteúdo ano após ano.

Fontes	Massa estimada (Tg/ano)	Classificação
<b>Natural</b>		
<i>Primária</i>		
Poeira solo	1.500	Principalmente grossa
Spray marinho	1.300	Grossa
Poeira vulcânica	30	Grossa
Material biológico	50	Grossa
<i>Secundária</i>		
Gases biogênicos	130	Fina
Gases vulcânicos	20	Fina
Compostos orgânicos biogênicos	60	Fina
NO <sub>x</sub>	30	Fina e grossa
Total natural	3.120	
<b>Atividades humanas</b>		
<i>Primária</i>		
Indústria	100	Fina e grossa
Fuligem	10	Fina
<i>Secundária</i>		
Gás SO <sub>2</sub>	190	Fina
Queima biomassa	20	Fina
NO <sub>x</sub>	50	Grossa
Compostos orgânicos	10	Fina
Total origem antrópica	380	

Emissão natural e antropogênica de MPA.

Fonte: Rocha e colaboradores (2009)

## RISCO À SAÚDE

Os principais riscos à saúde causado pelo MPA, segunda a Organização Mundial da Saúde (OMS) são irritação dos olhos e das vias respiratórias, redução da capacidade pulmonar, redução do desempenho físico, agravamento de doenças crônicas do aparelho respiratório, dentre outras.

## AMOSTRAGEM DE MATERIAL ATMOSFÉRICO

A amostragem de ar ou mesmo material particulado não diferente de outros materiais é uma etapa muito importante do processo analítico. Esta pode influenciar significativamente em todo processo analítico, já que uma coleta errada pode influenciar a confiabilidade e o resultado da análise. Antes de qualquer coleta de material é preciso fazer um planejamento, ou seja,

um plano de amostragem. Para lembrar veja a Aula 02, que trás detalhadamente um plano de amostragem com todas as suas etapas.

Na coleta de material atmosférico temos que ter bastantes cuidados, pois as são homogêneas e muito diluídas. Fatores como pressão atmosférica, temperatura, ventos e chuva influenciam nas propriedades da atmosfera. Sendo assim, deve-se conhecer as condições ambientais durante a coleta. Como o volume da atmosfera é muito grande, a dispersão dos compostos é favorecida. Sendo assim, as baixas concentrações não seriam detectados por técnicas analíticas. São necessária a pré-concentração da amostra e para volumes pequenos de gases, podem ser utilizadas seringas ou bombas de aspiração manual. Além disso, a amostragem pode ser ativa ou passiva.

A coleta de material atmosférico é feita com equipamentos chamados de amostradores. O amostrador mais usado para a coleta de gases é chamado borbulador de vidro (Figura 4) e para material particulado é denominado de Hi Vol, que pode ser de coleta de grande volume (Figura 5a) ou mesmo para coletar partículas finas e grossas (Figura 5b).

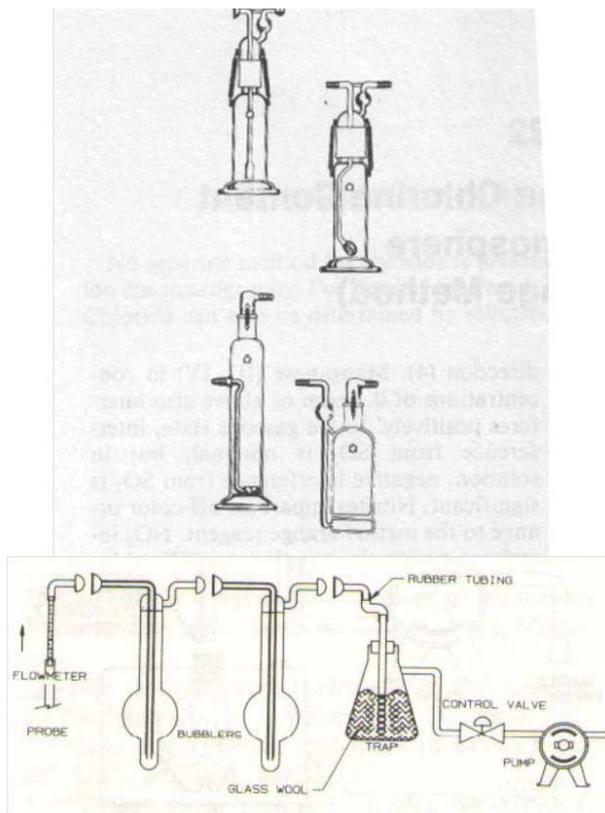


Figura 4. Amostradores de gases: borbulhadores.  
Fonte: Rocha e colaboradores (2009)

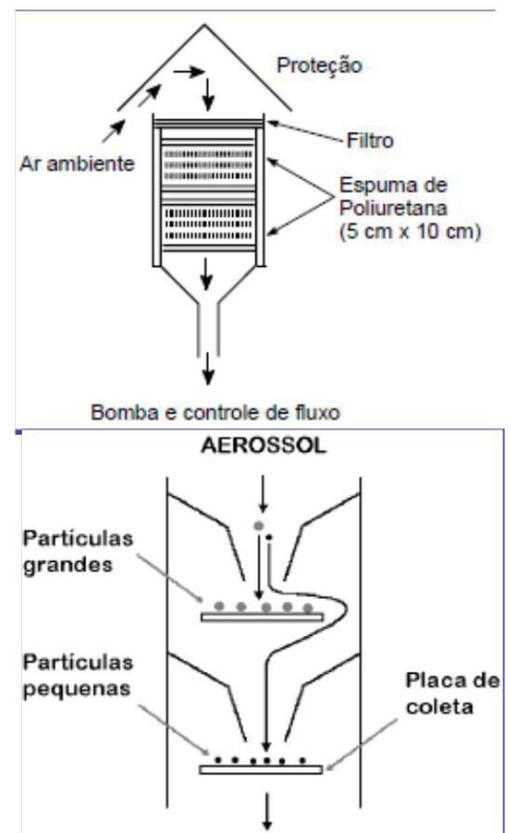


Figura 5. Amostradores Hi-vol para volume grande (a) e para divisão por tamanho (b).  
Fonte: Rocha e colaboradores (2009)

## ASPECTOS LEGAIS: LEGISLAÇÃO PARA MATERIAL AMOSFÉRICO

Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e do meio ambiente. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Os padrões nacionais foram estabelecidos pelo IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA N.º 003/1990.

Segunda esta resolução, considera-se poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Nesta resolução são estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários. São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo. O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados às áreas de preservação (por exemplo: parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.). Não se aplicam, pelo menos em curto prazo, a áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados os padrões primários.

Como prevê a própria Resolução CONAMA N.º 003/1990, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III conforme o uso pretendido. A mesma resolução prevê ainda que enquanto não for estabelecida a classificação das áreas os padrões aplicáveis serão os primários. Os parâmetros regulamentados são os seguintes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inalavam dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os padrões nacionais de qualidade do ar são apresentados na Figura.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de Medição
partículas totais em suspensão	24 horas <sup>1</sup>	240	150	amostrador de grandes volumes
	MGA <sup>2</sup>	80	60	
partículas inaláveis	24 horas <sup>1</sup>	150	150	separação inercial/filtração
	MAA <sup>3</sup>	50	50	
fumaça	24 horas <sup>1</sup>	150	100	refletância
	MAA <sup>3</sup>	60	40	
dióxido de enxofre	24 horas <sup>1</sup>	365	100	pararosanilina
	MAA <sup>3</sup>	80	40	
dióxido de nitrogênio	1 hora	320	190	quimiluminescência
	MAA <sup>3</sup>	100	100	
monóxido de carbono	1 hora <sup>1</sup>	40.000	40.000	Infravermelho não dispersivo
		35 ppm	35 ppm	
	8 horas <sup>1</sup>	10.000	10.000	
ozônio	1 hora <sup>1</sup>	9 ppm	9 ppm	quimiluminescência
		160	160	

1 - Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

2 - Média geométrica anual

3 - Média aritmética anual

Padrões nacionais de qualidade do ar.  
Fonte: Resolução CONAMA 003/1990

A mesma resolução estabelece ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar, (Figura a baixo). A declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência requer, além dos níveis de concentração atingidos, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
partículas totais em suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h	375	625	875
partículas inaláveis ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h	250	420	500
fumaça ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h	250	420	500
dióxido de enxofre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h	800	1.600	2.100
SO <sub>2</sub> X PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h	65.000	261.000	393.000
dióxido de nitrogênio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 1 h	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8 h	15	30	40
ozônio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 1 h	400*	800	1.000

\* O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na legislação Estadual que é mais restritiva (200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Critérios para episódios agudos de poluição do ar.  
Fonte: Resolução CONAMA 003/1990

### LEIA MAIS

A Resolução CONAMA N.º 344, de 28 de junho de 2004, é sugestão de leitura para melhorar a compreensão do tema aspectos legais para material atmosférico. Esta está disponível na plataforma. Em seguida, faça um resumo sucinto das principais idéias do texto.

### CONCLUSÃO

Nessa sessão foram apresentados o efeito estufa e o Protocolo de Kyoto. Além disso, foi apresentada a importância do ozônio na estratosfera. O material particulado foi definido e classificado de acordo com seu tamanho. Ainda foram abordadas a amostragem de material atmosférico e a Resolução CONAMA N.º 003/1990.



### RESUMO

O efeito estufa é a elevação da temperatura da terra provocada pela introdução na atmosfera de excessivas quantidades de gases, como o gás carbônico. O Protocolo de Kyoto é um acordo internacional estabelecido em Kyoto, que consiste em reduzir emissões de gases estufas dos países industrializados e garantir um modelo de desenvolvimento limpo aos países em desenvolvimento. A camada de ozônio protege a terra dos raios ultravioleta do sol, que são extremamente prejudiciais à vida. A redução do ozônio contribui para o efeito estufa. O interesse em estudar ambientes fechados ocorreu após a descoberta de que baixas taxas de troca de ar nestes ambientes ocasionam um aumento considerável na concentração de poluentes químicos e biológicos no ar. Material particulado atmosférico consiste em uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas, que varia em tamanho, composição e origem, podendo se apresentar no estado sólido ou líquido. O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que quanto menores, maiores os efeitos provocados. O MPA pode ser classificado em partícula partícula total em suspensão, partícula inaláveis e fumaça. Os padrões nacionais de qualidade do ar foram estabelecidos pelo IBAMA e aprovados pelo CONAMA por meio da Resolução CONAMA N.º 003/1990. Nesta resolução são estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários e estabelece ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar.



### ATIVIDADES

A amostragem de material atmosférico é, ainda, o grande gargalo dos estudos da química atmosférica. Comente essa afirmativa.

## COMENTARIO SOBRE AS ATIVIDADES

Nas amostragens é muito importante ter-se em conta que as concentrações dos poluentes podem variar rapidamente com o tempo. Segundo muitos autores (como Reeve, 1994), as concentrações médias relativas a um fixo período de tempo (time-weighted averages) são a forma mais apropriada de medida em pesquisas de longa duração. No entanto, a avaliação de incidentes de poluição demanda determinações instantâneas de concentrações. A literatura deste tema recomenda que essas duas abordagens diferentes podem ser tomadas e que as mesmas incluem determinações de concentrações de poluentes de forma direta ou lançando mão de técnicas de análises que requerem o uso de um laboratório químico. Texto retirado do artigo “Química Atmosférica: a química sobre as nossas cabeças”.



### AUTO-AVALIAÇÃO

- Consigo entender o efeito estufa?
- Sou capaz de compreender o Protocolo de Kyoto?
- Consigo conhecer a importância da camada de ozônio?
- Sou capaz de entender amostragem de material atmosférico?
- Sinto-me capaz compreender a importância da legislação brasileira para material atmosférico?



### PRÓXIMA AULA

Na próxima aula iremos abordar acerca da Química de solos.

## 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.
- GIODA, A., NETO, F.R.A. **Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil**. *Química Nova*, 26 ( 3), 359-365, 2003.
- TOLENTINO, M., ROCHA-FILHO, R.C. **Química no Efeito Estufa**. *Química nova na escola*, 8, 1998.
- Resolução CONAM N.º 003/1990.