



Rede São Paulo de

# Formação Docente

Cursos de Especialização para o quadro do Magistério da SEESP  
Ensino Fundamental II e Ensino Médio

São Paulo  
2011



UNESP – Universidade Estadual Paulista  
Pró-Reitoria de Pós-Graduação  
Rua Quirino de Andrade, 215  
CEP 01049-010 – São Paulo – SP  
Tel.: (11) 5627-0561  
www.unesp.br



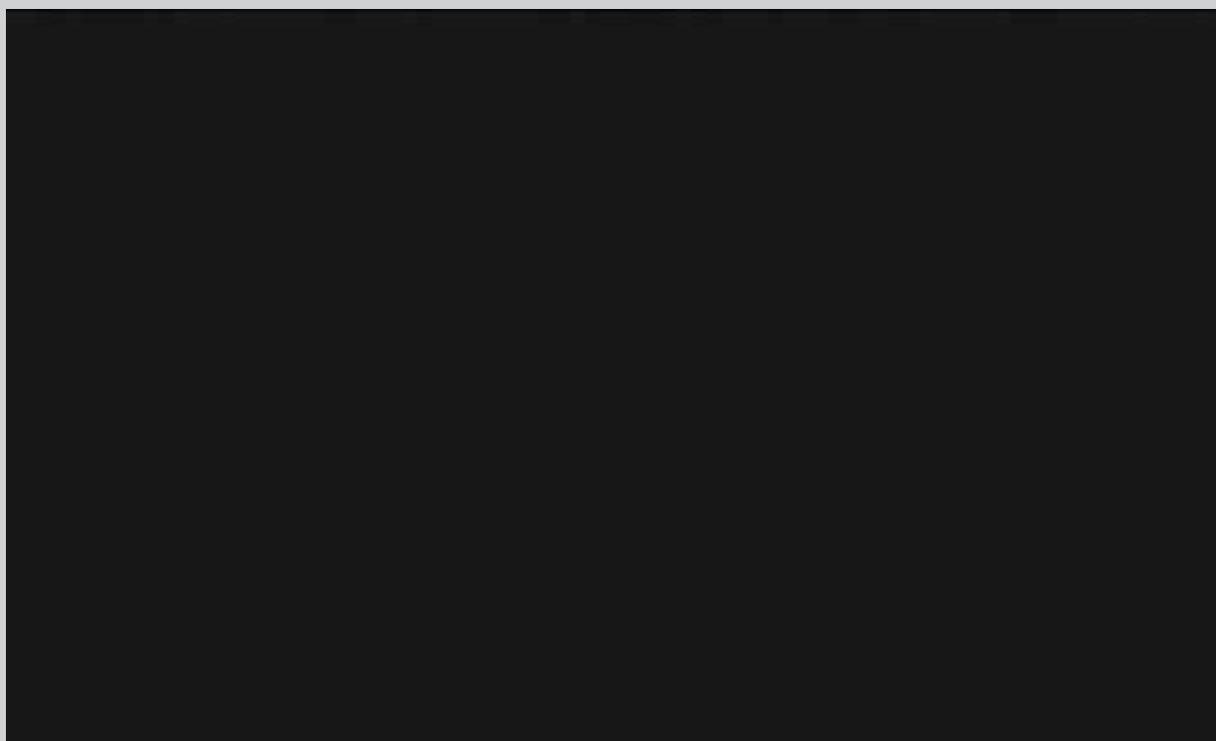
Governo do Estado de São Paulo  
Secretaria de Estado da Educação  
Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas  
Gabinete da Coordenadora  
Praça da República, 53  
CEP 01045-903 – Centro – São Paulo – SP



SECRETARIA  
DA EDUCAÇÃO



Ficha da Disciplina:  
**A Química da Biosfera**



Iêda Aparecida Pastre



Rosebelly Nunes Marques



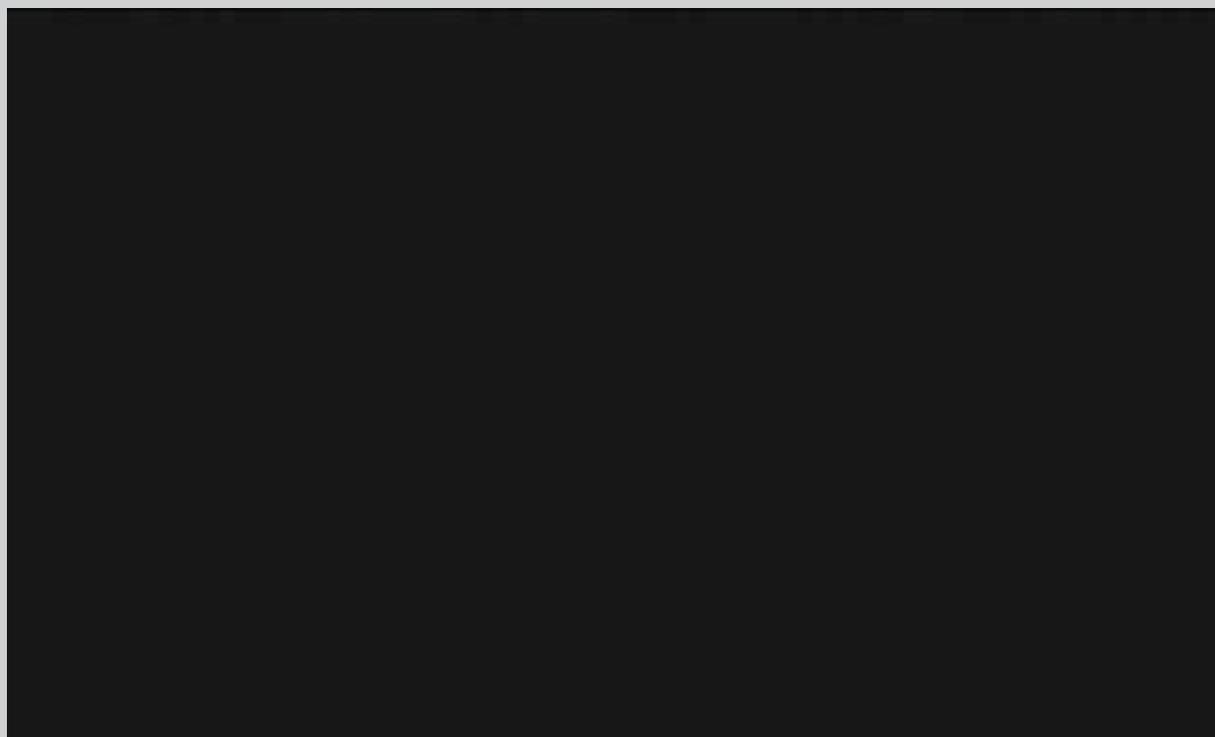
# Estrutura da Disciplina

Semana	Temas
1/ago a 7/ago	Resumo Introdução 1. Atmosfera - Importância da Qualidade do Ar para a Manutenção da Vida no Planeta
8/ago a 14/ago	2. A Hidrosfera - “Água” que Líquido é Esse? Por Que Devemos Cuidar?
15/ago a 21/ago	3. Poluição das Águas 4. Litosfera: A Química da Parte Sólida da Terra
22/ago a 28/ago	5. Poluentes do Solo
29/ago a 4/set	6. Relevância da Química para uma Sociedade Sustentável

## Sumário

<b>Vídeo da Semana .....</b>	<b>4</b>
Resumo.....	4
Introdução .....	5
Tema 1: Atmosfera - Importância da Qualidade do Ar para a manutenção da Vida no Planeta .....	9
1.1: Características da atmosfera terrestre.....	9
1.2 - Regiões da atmosfera terrestre.....	11
A troposfera.....	12
a) A poluição atmosférica e o aquecimento global.....	13
b) Smog Fotoquímico.....	14
c) Chuva Ácida.....	16
A Estratosfera.....	19
a) Características do ozônio.....	20
b) Camada de ozônio .....	21
A Mesosfera .....	25
Termosfera e exosfera .....	25

## Vídeo da Semana



### Resumo

Desde o surgimento do ser humano na face da terra ele aprendeu a transformar substâncias encontradas na natureza para melhorar sua qualidade de vida. No entanto, foi nos últimos 100 anos que o ser humano desenvolveu sua capacidade de efetuar transformações químicas e industriais que causaram mudanças significativas no meio ambiente. O aumento da produtividade agro-pastoril e industrial, se de um lado foi positivo amenizando muitos problemas do ser humano como fome, saúde, moradia, etc, por outro lado ações descontroladas como o uso excessivo de produtos químicos e a utilização dos recursos naturais, acarretam sérios problemas ambientais que se constituem em perigos potenciais para a vida do planeta. O crescimento econômico Mundial depende dos processos químicos que vão, desde o tratamento de água, aos mais complexos processos industriais. Nesta etapa vamos aplicar os princípios da química para o entendimento das causas e efeitos desses processos no ambiente, assim como discutir aspectos relacionados à Formação de Professores na temática ambiental e a inclusão do eixo Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Portanto, o gerenciamento da hidrosfera, da atmosfera e litosfera de forma a manter e aumentar a qualidade de vida global no planeta é uma das mais importantes preocupações da sociedade atual.

## Introdução

“Química é a ciência que estuda as substâncias, sua estrutura (tipos e formas de organização dos átomos), suas propriedades e as reações que as transformam em outras substâncias.” Linus Pauling (1901-1994)

Do ponto de vista histórico a química surgiu da alquimia, no início foi dividida em dois ramos, a Química Orgânica, que estudava as substâncias formadas com base na combinação de átomos de carbono e seus derivados e a Química Inorgânica que se concentrava no estudo dos minerais, estes dois ramos ainda existem até hoje

Nos dias atuais a Química está dividida em um leque mais ampliado e diversificado, sendo que as principais divisões são: Química Orgânica, Química Inorgânica, Físico-química, Química analítica e Bioquímica.

Com o Desenvolvimento dessa Ciência tem-se aumentado muito o conhecimento e suas contribuições para o desenvolvimento de tecnologia, com esse desenvolvimento também se reduz muito a separação entre as principais divisões da química criando novas áreas em comum entre elas.

Um novo ramo da química que vem se desenvolvendo é a Química Ambiental que estuda o efeito de agentes químicos, naturais ou artificiais que afetam a biosfera. Esse novo ramo vem se desenvolvendo para diminuir as ameaças ao meio ambiente tentando compreender a natureza e o tamanho dos problemas e encontrar soluções.

Para essa compreensão é necessário reconhecer que a ciência e a tecnologia desempenham um papel muito importante na resolução dos problemas ambientais através da aplicação adequada do conhecimento e da tecnologia.

### Aspectos importantes da química ambiental

Química Ambiental pode ser definida como um estudo de espécies químicas ou agentes químicos que afetam a biosfera, suas origens, reações, efeitos, movimentação e destino desses agentes na água, ar e solo, bem como a influência da atividade humana sobre esses processos, ou seja, a Química Ambiental é a ciência dos fenômenos químicos no meio ambiente.

## Áreas da química ambiental

A Química Ambiental estuda as reações químicas que ocorrem na biosfera (hidrosfera, litosfera e atmosfera) e suas interfaces, principalmente as que afetam o homem. Para um melhor entendimento é conveniente dividir o conhecimento da Química Ambiental em química da hidrosfera, litosfera, atmosfera e biosfera.

A hidrosfera refere-se aos oceanos, rios, lagos, represas, reservatórios, picos, geleiras, calotas polares e lençóis freáticos, ou seja, a água em todas as suas formas. A Química Ambiental irá estudar as espécies químicas e as reações que ocorrem na forma líquida da água.

A litosfera refere-se à camada sólida mais externa da Terra que engloba todos os materiais encontrados na crosta como os minerais, matéria orgânica, e principalmente o solo que é a parte mais significativa.

A Atmosfera refere-se à camada gasosa que envolve a Terra e é dividida em regiões diferentes, dependendo da altitude. A composição da atmosfera depende da altitude, da exposição à radiação solar dentre outros fatores.

A Biosfera refere-se a todos os organismos vivos e é fortemente influenciada pela química do meio ambiente que exerce uma influência sobre a química dos ambientes como litosfera, hidrosfera e atmosfera.

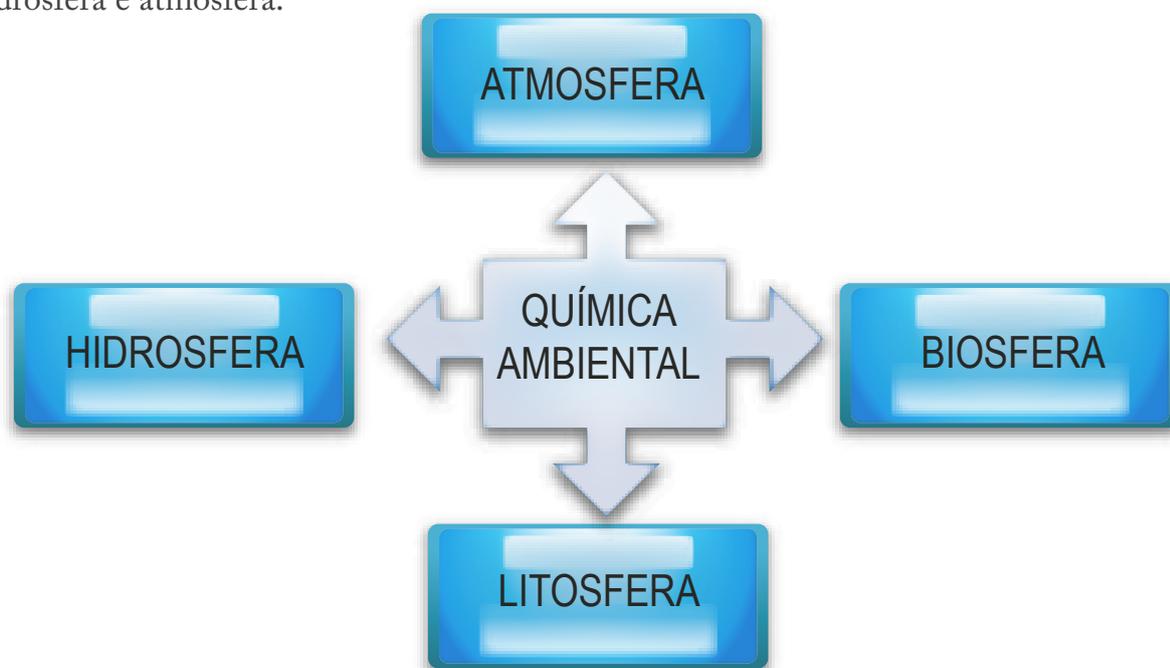


FIGURA 1 – Diagrama resumido das áreas da Química Ambiental (PASTRE; MARQUES, 2011)

## A Química ambiental é dinâmica

Uma espécie química quando é introduzida no meio ambiente pode ser distribuída localmente ou pode atingir proporções globais. A distribuição depende da espécie química e da forma como é introduzida. Alguns gases poluentes quando lançados na atmosfera atingem uma vasta área geográfica. Os problemas podem ser evitados ou minimizados conhecendo-se as propriedades de cada composto químico e obtendo informações dos fenômenos que ocorrem quando o composto foi introduzido anteriormente. Essa compreensão fornece uma base para se fazer previsões e evitar problemas futuros.

Uma espécie química pode ser distribuída pelo ambiente, por exemplo, um produto químico introduzido na hidrosfera pode passar para a litosfera ou para a atmosfera ou ainda ser absorvida por um organismo vivo. Esse produto pode ficar se movimentando entre os diferentes sistemas.

A espécie química quando está na água possui propriedades que podem ser estudadas e definidas, na água haverá uma movimentação dessa espécie através da interação ou reação com outras espécies no meio aquático. Essa mesma espécie também pode encontrar um caminho para a atmosfera, onde ele pode ser transportado por fenômenos meteorológicos. Uma espécie química quando presente no sistema vascular de um animal pode ser transportado pelo corpo todo, também pode atingir todas as regiões de uma planta o que irá depender do transporte de seiva.

O movimento de produtos químicos no solo é um pouco diferente dos exemplos citados acima. No solo o movimento de uma espécie química ocorre principalmente por um processo de difusão. Partículas do solo podem se mover por si só no ar ou no meio aquoso e durante o movimento podem absorver ou adsorver outras partículas. O movimento dessas partículas vai depender do movimento do ar ou da água e será governado pelas propriedades do ar e da água, as propriedades ou características da espécie química que é transportada terão uma mínima influencia.

No estudo específico de um determinado produto químico é importante o conhecimento mais significativo das propriedades químicas desse material, pois esse produto pode se deslocar entre as diversas áreas do ambiente, os parâmetros mais importantes estão relacionados com os fatores termodinâmicos e cinéticos nessa transição.

Nos meios naturais não se têm sistemas que consistem em equilíbrios reversíveis, porém podemos assumir uma condição de equilíbrio para fornecer alguma indicação particular sobre a tendência de transformação e movimentação entre as diversas áreas do ambiente.

Para considerarmos algumas propriedades que podem definir como será a movimentação de determinadas espécies entre as áreas ambientais pode-se considerar a existência de várias interfaces entre as áreas.

## Interfaces

- **ÁGUA – AR:** Nessa interface o movimento se deve a pressão de vapor da substância e sua solubilidade em água.
- **ÁGUA – SOLO** Propriedades como constante de solubilidade, coeficiente de partição e calor de solução são importantes nesta parte. Nessa interface o movimento das espécies químicas ocorre principalmente envolvendo a adsorção e dessorção e os fatores que as influenciam bem como a solubilidade em água..
- **TERRA – AR:** Este é o sistema mais complexo e está relacionado à adsorção química sobre o solo, como também com a pressão de vapor e a influência da água e o efeito do movimento dessa espécie substância química nessa interface.
- **MEIO FÍSICO – MEIO BIOLÓGICO:** Esta é uma interface bem diferente das demais, pois se refere à movimentação de espécies químicas dos organismos biológicos, como plantas e animais, para meios físicos como o solo, água ou ar e destes para organismos biológicos, normalmente este movimento ocorre através de membranas.

Nessa discussão podemos concluir que o movimento de produtos químicos no meio ambiente é um processo contínuo e que envolve todas as interfaces envolvendo várias propriedades químicas e físicas dessas espécies e químicas em cada processo e por mais estático que possa parecer ele está em constante movimento.

## Tema 1: Atmosfera - Importância da Qualidade do Ar para a manutenção da Vida no Planeta

Iniciaremos a disciplina com o estudo dos gases e seus efeitos do ponto de vista da Química Ambiental, conhecendo um pouco sobre a atmosfera terrestre.

### 1.1: Características da atmosfera terrestre

A camada de ar que envolve o planeta Terra é denominada atmosfera. De acordo com LENZI (2009) é possível evidenciar três momentos distintos ao longo de sua formação, abordados a seguir.

No primeiro momento, iniciado anterior à vida, a atmosfera apresentava características reductoras bem como acúmulo de  $N_2$ . A água contida na superfície terrestre origina os mares e oceanos em um prelúdio ao ciclo hidrológico. Estabelecido o ciclo hidrológico, as condições suporte para o princípio da vida também foram estabelecidas.

O segundo momento está relacionado com o aparecimento da vida. Durante esse período 21% de ar seco da atmosfera é de  $O_2$ . A formação da camada de ozônio surgiu nesta etapa, permitindo que os seres vivos de então estivessem protegidos da ação dos raios ultravioleta. Com uma significativa quantidade de oxigênio em sua constituição surgem os indivíduos aeróbios.

O terceiro momento é marcado pela presença do homem e sua influência no meio ambiente (LENZI, 2009). Neste período, pela ação do homem, é possível evidenciar a intensificação do efeito estufa, bem com a formação da chuva ácida. O buraco no escudo de ozônio também surgiu durante o terceiro período.

A atmosfera atual apresenta uma mistura gasosa significativamente diversificada, porém, sendo constituída com cerca de 98% de nitrogênio e oxigênio, como é possível de visualizar na tabela 1.

Componente	Teor (fração em quantidade de matéria)	Massa molar
Nitrogênio	0,78084	28,013
Oxigênio	0,20948	31,998
Argônio	0,00934	39,948
Dióxido de carbono	0,000375	44,0099
Neônio	0,00001818	20,183
Hélio	0,00000524	4,003
Metano	0,000002	16,043
Criptônio	0,00000114	83,80
Hidrogênio	0,0000005	2,0159
Óxido nitroso	0,0000005	44,0128
Xenônio	0,000000087	131,30

Tabela 1. Composição do ar seco próximo ao nível do mar (BROWN; et al, 2005 apud PASTRE;MARQUES, 2011).

Geralmente, os gases atmosféricos têm suas concentrações expressas em duas escalas, a absoluta e a relativa. No caso da escala absoluta, as concentrações são determinadas em moléculas por centímetro cúbico.

Quanto à escala que expressa as concentrações relativas, esta é usualmente expressa como fração molar ou molecular. Devido às concentrações dos componentes de uma mistura gasosa serem significativamente pequenas, freqüentemente as frações molares ou moleculares são expressas em partes por milhão, ppm, partes por bilhão, ppb, ou partes por trilhão, ppt (BAIRD, 2002).

A unidade de concentração usualmente utilizada para expressar a quantidade traço de substâncias é o ppm. Para soluções aquosas ppm refere-se a gramas de substância em um milhão de gramas de solução. Para gases ppm ou ppmv refere-se à parte por volume um milhão de volume do todo.

Lançando mão da lei dos gases ideais, como o volume do gás é proporcional a quantidade de moléculas do gás, a fração de volume e a fração em quantidade de matéria são as mesmas. Assim, 1 ppm de um constituinte em traço da atmosfera corresponde a um mol do constituinte em um milhão de mols de gás total. Ou seja, a concentração em ppm é igual a fração em quantidade de matéria multiplicada por  $10^6$ .

Como exemplo temos que para o  $\text{CO}_2$ , a Tabela 1 fornece a fração em quantidade de matéria para o mesmo na atmosfera como sendo 0,000375. Sua concentração em ppm é  $0,000375 \times 10^6 = 375$  ppm.

Praticando: A concentração de CO em uma amostra de ar é 4,3 ppm. Qual é a pressão parcial do CO ( $P_{\text{CO}}$ ) se a pressão total ( $P_{\text{T}}$ ) do ar é 695 torr?

$$\text{Resolução } P_{\text{CO}} = P_{\text{T}} \cdot X_{\text{CO}}$$

$$P_{\text{CO}} = 695 \cdot \frac{4,3}{10^6}$$

$$P_{\text{CO}} = 3,0 \times 10^{-3} \text{ torr}$$

## 1.2 - Regiões da atmosfera terrestre

A atmosfera apresenta cinco regiões distintas, sendo elas a troposfera, a estratosfera, a mesosfera, a termosfera e a exosfera, com quatro faixas de transição bem definidas: a tropopausa, a estratopausa, a mesopausa e a termopausa (Figura 2). Considerando até o limite entre a termosfera e a exosfera, a espessura da atmosfera pode chegar a aproximadamente 500 km (LENZI, 2009).

A atmosfera terrestre é afetada pela temperatura e pela pressão, bem como pela gravidade. As moléculas e os átomos mais leves são encontrados em altitudes maiores. A densidade do ar diminui com a altitude. A pressão atmosférica também diminui à medida que se sobe às camadas superiores da atmosfera e vai caindo significativamente seu conteúdo de oxigênio, cuja densidade é maior que a do nitrogênio. A pressão diminui de um valor médio de 760 torr ao nível do mar, para  $2,3 \times 10^{-3}$  torr a 100 km e  $1 \times 10^{-6}$  a 200 km.

A troposfera e estratosfera respondem juntas por 99,9% da massa da atmosfera, com 75% da massa sendo da troposfera. Essas duas camadas destacam-se do ponto vista ambiental. Na troposfera, desenvolvem-se todos os processos climáticos importantes para a manutenção da

vida na terra. Além disso, é nessa região que ocorre a maioria dos fenômenos relacionados com a poluição do ar. Na estratosfera, em razão da presença do ozônio, ocorrem importantes reações que permitem o desenvolvimento da vida em nosso planeta.

O perfil de temperatura que caracteriza a atmosfera é resultado da estratificação dos gases que se encontram presentes em cada camada, da incidência de radiação solar no planeta e da dispersão dessa radiação de volta para o espaço (BRAGA; et al, 2006).

## A troposfera

A camada mais baixa da atmosfera é a troposfera, estando compreendida entre a superfície da crosta terrestre até aproximadamente 16 km de altitude (BAIRD, 2002). Essa camada apresenta-se como a de maior interesse para o homem, visto que é nela que se encontra o ar que respiramos. Uma marcante característica da troposfera é a redução de temperatura com o aumento da altitude sendo esse decréscimo de aproximadamente 6,5 °C por quilometro sendo conhecido como gradiente vertical normal ou padrão de temperatura. Possui importância fundamental do ponto de vista climático, pois essa camada é a responsável pela ocorrência das condições climáticas da terra

Os dois componentes mais importantes da atmosfera natural na troposfera são o nitrogênio,  $N_2$ , e o oxigênio,  $O_2$ . Importante revisarmos algumas propriedades químicas dos dois principais componentes da atmosfera. A molécula de  $N_2$  possui ligação tripla. Essa ligação muito forte é basicamente responsável pela baixa reatividade do  $N_2$ . A molécula de  $O_2$  apresenta ligação dupla sendo a energia da ligação no  $O_2$  de 495 kJ/mol, muito menor que a energia de ligação da molécula de  $N_2$  que é de 941 kJ/mol, sendo portanto, o  $O_2$  mais reativo que o  $N_2$ .

O oxigênio reage com muitas substâncias para formar óxidos. Os óxidos dos não metais como o  $CO_2$ ,  $SO_2$  e  $NO_2$ , formam soluções ácidas quando dissolvidos em água. Os óxidos de metais como o óxido de cálcio ( $CaO$ ) formam soluções básicas quando dissolvidos em água.

Importantes fenômenos intensificados pela ação do homem, que interferem direta e indiretamente na vida, inclusive na do homem, acontecem nela. Dentre eles o smog fotoquímico e a chuva ácida e o aquecimento global serão abordados com maiores detalhes.

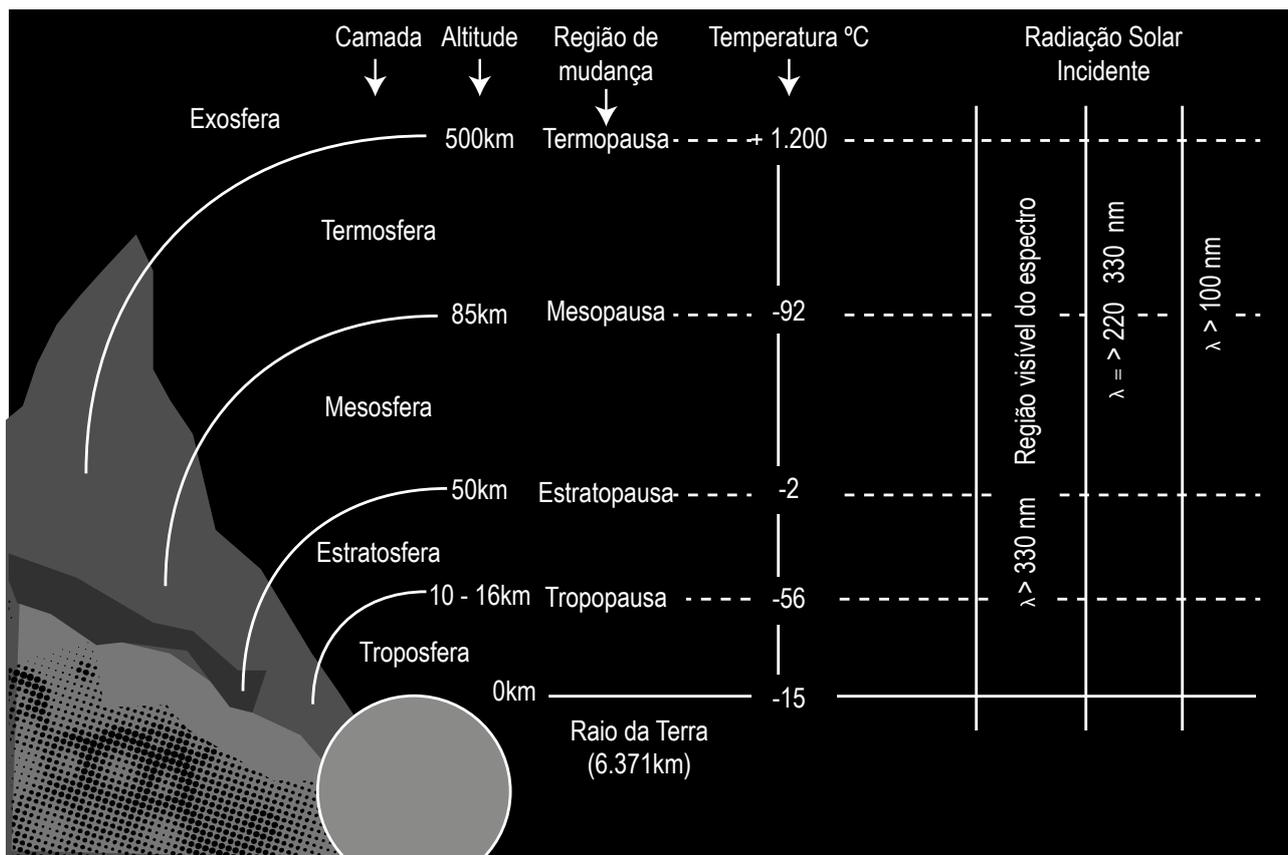


Figura 2. Representação esquemática da atmosfera, com suas variações de temperatura e a penetração da radiação eletromagnética (LENZI, 2009).

### a) A poluição atmosférica e o aquecimento global

A explosão do desenvolvimento industrial leva ao acúmulo de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) no ambiente além de milhares de outros poluentes. As principais fontes de dióxido de carbono são a respiração dos organismos aeróbicos, a queima completa da matéria orgânica como o combustível fóssil, a biomassa, florestas, etc. O dióxido de carbono, juntamente com o gás metano, aparece como um dos principais poluentes responsáveis pelo aumento da temperatura do planeta, ou seja, o aquecimento global.

O ar é considerado poluído quando ele contém uma ou mais substâncias químicas em concentrações suficientes para causar danos aos seres humanos, outros animais, vegetais ou ao patrimônio.

Os poluentes são classificados em primários e secundários. Os primários são aqueles lançados diretamente no ar. Como exemplo, temos o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), os compostos orgânicos voláteis e particulados em suspensão como poeira e fumaça, etc.. Os secundários são

aqueles poluentes formados na atmosfera a partir de substâncias lançadas no ambiente. Como exemplo, temos o ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) formado pela reação entre o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e a água na atmosfera.

O vapor de água e dióxido de carbono presentes na troposfera são importantes para a manutenção da temperatura na superfície da terra. Retêm a radiação infra-vermelha que sentimos como calor, originando o chamado efeito estufa que mantém a temperatura média na superfície da terra próxima dos  $15\text{ }^\circ\text{C}$ . Sem o efeito estufa, a temperatura média da Terra seria de  $18\text{ }^\circ\text{C}$  abaixo de zero.

Em razão das atividades humanas o aumento da concentração atmosférica dos gases do efeito estufa ( $\text{CO}_2$ , metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e clorofluorcarbonos (CFCs)) aumentaram a absorção do calor emitido ou refletido pela superfície da terra diminuindo a quantidade que deveria voltar para o espaço ocasionando o aumento do efeito estufa, ou seja, da temperatura média do planeta.

A concentração global de  $\text{CO}_2$  medida no período pré - industrial antes de 1750 era de 280 ppmv. De 1958 a 2003, a concentração de  $\text{CO}_2$  global aumentou de 316 ppmv para 376 ppmv. O aumento desde o período pré - industrial até o presente foi de aproximadamente 34%. Estes dados revelam uma elevação de  $0,3$  a  $0,6\text{ }^\circ\text{C}$  na temperatura média global da atmosfera sendo a previsão para 2050 - 2100 um aumento de  $1$  a  $3\text{ }^\circ\text{C}$ .

## b) Smog Fotoquímico

Segundo Baird (2002), o smog fotoquímico, ou névoa fotoquímica, é um fenômeno caracterizado pela presença de ozônio na troposfera em regiões urbanas com a estagnação de uma massa de ar. O smog é proveniente de uma série de reações químicas, tendo como principais reagentes o óxido nítrico, hidrocarbonetos emitidos, principalmente, pela queima incompleta do combustível dos motores a combustão, os compostos orgânicos voláteis, COV's, oriundos de substâncias contendo hidrocarbonetos voláteis como, combustível líquido, aerossóis e afins. Com a presença da luz solar sobre esses compostos há um aumento da quantidade de radicais livres formados no ambiente. A Figura 3 a seguir, ilustra as sucessivas reações de formação do smog.

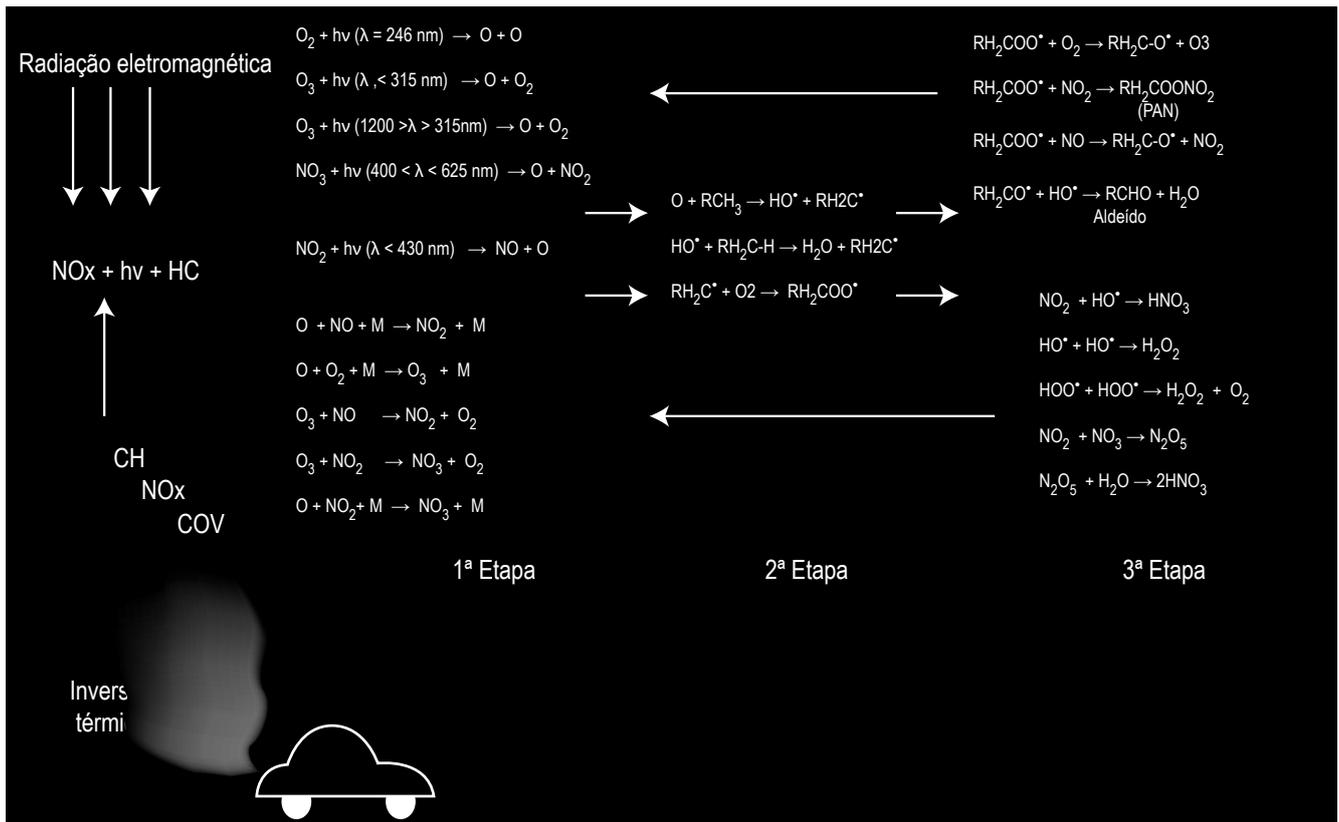


Figura 3: As principais reações durante a formação do smog fotoquímico e suas etapas (LENZI, 2009)

De acordo com LENZI (2009), o smog fotoquímico pode apresentar efeitos físicos, químicos e biológicos. Fisicamente, o material particulado constituinte do smog forma aerossóis que reduz a visibilidade sendo que, para uma umidade relativa do ar inferior a 60%, essa pode ser limitada a 3 milhas.

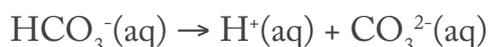
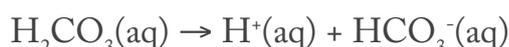
Biologicamente, todo o efeito pode ser verificado na biota animal e vegetal. Em seres humanos, o smog proporciona problemas à saúde bem como desconforto. Os PAN, peróxido alquil nítrico, causa irritação nos olhos e o ozônio em concentrações de 0,15 ppm causa problemas respiratórios. De acordo com a organização mundial da saúde, a concentração máxima permitida de  $O_3$  no ar é de 100 ppb medida em média por um período de uma hora.

Quimicamente, os efeitos ficam a cargo do caráter oxidante que a névoa fotoquímica apresenta. A corrosão de materiais é evidente neste efeito, em que, a água serve de meio reacional.

### c) Chuva Ácida

A chuva ácida é uma das principais conseqüências da poluição atmosférica. A principal causa da ocorrência de chuva ácida se dá pela ação antrópica. Com a queima de carvão ou combustíveis fósseis ocorre a liberação de resíduos gasosos, como o dióxido de enxofre e de nitrogênio para a atmosfera. Esses gases sofrem reações na atmosfera dentre elas a reação com vapor de água presente na atmosfera. Como resultado há a formação das chuvas ácidas.

Vale ressaltar que a água da chuva é naturalmente ácida com pH aproximadamente igual a 5,5 devido ao dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dissolvido oriundo da atmosfera (BAIRD, 2002). As equações abaixo mostram a formação e dissociação do ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) presente na chuva “natural”, não-poluída:

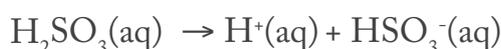


O aumento da acidez da água da chuva, pH menor que 5, ocorre principalmente quando há um aumento na concentração de óxidos de enxofre e nitrogênio na atmosfera. Estes óxidos e o dióxido de carbono são chamados de óxidos ácidos, porque em contato com a água (neste caso água de chuva) formam ácidos, que contribuem para o decréscimo do pH ou aumento da acidez da água da chuva.

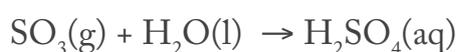
Os dois principais ácidos predominantes na chuva ácida são o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) (BAIRD, 2002).

O dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) é o responsável pelo maior aumento na acidez da chuva. Este é produzido diretamente como subproduto da queima de combustíveis fósseis como a gasolina, carvão e óleo diesel. O óleo diesel e o carvão são muito impuros, e contém grandes quantidades de enxofre em sua composição, sendo responsáveis por uma grande parcela da emissão de  $\text{SO}_2$  para a atmosfera (BROWN; et al., 2005).

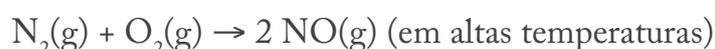
De forma equivalente a outros óxidos, o  $\text{SO}_2$  reage com a água formando o ácido sulfuroso:



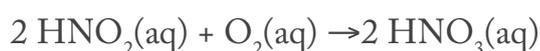
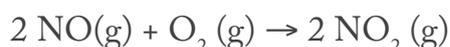
O dióxido de enxofre também pode sofrer oxidação na atmosfera e formar o trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ), que por sua vez, em contato com a água da chuva irá formar o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), que é um ácido forte:



O nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ) e o oxigênio molecular ( $\text{O}_2$ ) da atmosfera podem reagir formando o monóxido de nitrogênio ( $\text{NO}$ ). No entanto, esta reação não é espontânea, necessitando de muita energia para ocorrer. Por exemplo, durante a queima de combustível no motor do carro ou em fornos industriais a temperatura é muito elevada, fornecendo a energia necessária para que ocorra a formação do monóxido de nitrogênio de forma eficiente (BAIRD, 2002).

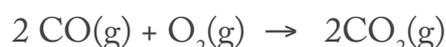
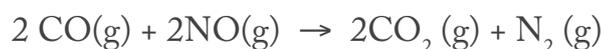


O monóxido de nitrogênio pode ser oxidado na atmosfera (que contém  $\text{O}_2$ ) e formar o dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) que apresenta coloração marrom. Muitas vezes, o fato do céu ter um tom marrom em cidades com tantos veículos como São Paulo, se deve à formação do  $\text{NO}_2$  na atmosfera, somado com a grande emissão de material particulado (incluindo a fuligem) que também escurece a atmosfera. O dióxido de nitrogênio pode sofrer novas reações e formar o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), que contribui para aumentar a acidez da água de chuva (BAIRD, 2002):



Um carro produzido em 1995 produz até 10 vezes mais  $\text{NO}$  que um carro produzido hoje. Isto porque os carros modernos possuem um conversor catalítico que reduz muito a formação do  $\text{NO}$ . O conversor catalítico (ou catalisador) contém metais como paládio, platina e ródio,

que transforma grande parte dos gases prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, em gases inertes como N<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. Devemos lembrar que o CO<sub>2</sub> é um gás que não prejudica diretamente a saúde humana, mas colabora para aumentar o efeito estufa (ATKINS; DE PAULA, 2008).



É importante salientar que com ou sem catalisador o carro continua emitindo imensas quantidades de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. O catalisador tem um papel importantíssimo, mas atua de forma a minimizar apenas as emissões de CO e NO (ATKINS; DE PAULA, 2008).

A chuva ácida causa diversas conseqüências para o meio ambiente. É maléfica para a saúde da população, pois esta chuva solubiliza metais tóxicos presentes no solo. Esses metais podem contaminar os rios e podem ser utilizados pelo homem causando sérios problemas de saúde (BAIRD, 2002). Nas casas, edifícios e monumentos a chuva ácida também ajuda a corroer alguns dos materiais utilizados nas construções, danificando algumas estruturas, como as barragens, as turbinas de geração de energia, monumentos, etc., como mostra a Figura 4.



Figura 4: Efeito da precipitação ácida em uma estátua em calcário e sobre uma floresta de picea (Erzgebirge, Alemanha). Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Chuva\\_%C3%A1cida](http://pt.wikipedia.org/wiki/Chuva_%C3%A1cida)

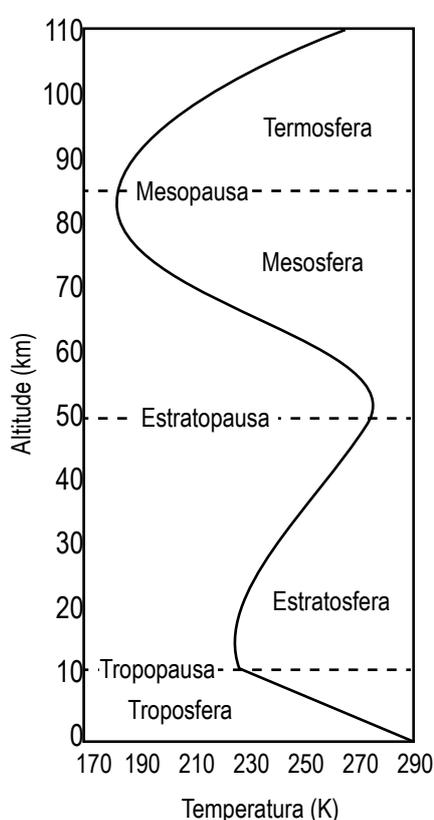
Os lagos podem ser os mais prejudicados com o efeito das chuvas ácidas, pois podem ficar totalmente acidificados perdendo toda a sua vida.

A chuva ácida causa desflorestamentos, provocando clareiras, matando algumas árvores de cada vez. Podemos imaginar uma floresta, que vai sendo progressivamente dizimada, podendo eventualmente ser até destruída. Plantações quase da mesma forma que as florestas são afetadas, no entanto a destruição é mais rápida, uma vez que as plantas são todas do mesmo tamanho e assim, igualmente atingidas pelas chuvas ácidas (BAIRD, 2002).

## A Estratosfera

A estratosfera é a região atmosférica compreendida numa faixa de aproximadamente 35 km acima da troposfera. A camada de ozônio está situada na porção inferior da estratosfera, fato que a torna de vital importância.

A estratosfera apresenta como principal característica a inversão de temperatura, isto é, a medida que a altitude aumenta, a temperatura também sofre acréscimo (BAIRD, 2002). Acompanhando-se a variação de temperatura com o aumento da altitude, Figura 5, verifica-se



na estratosfera que em sua camada inferior a temperatura apresenta uma tendência a diminuir. Porém, avançando em altitudes superiores a temperatura se eleva. A estratopausa, região limítrofe da estratosfera é marcada pela estagnação da temperatura e posterior decréscimo de temperatura com o aumento da altura.

Figura 5: Variação da temperatura em função da altitude na atmosfera (Brown; et al, 2005)

### a) Características do ozônio

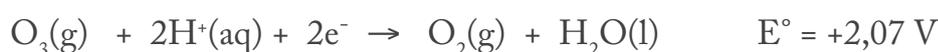
O ozônio ( $O_3$ ) é um gás instável, com propriedades diamagnéticas e com temperatura de ebulição de  $-112\text{ }^\circ\text{C}$ . É uma forma alotrópica do oxigênio, constituído por 3 átomos unidos por ligações simples e dupla, sendo um híbrido de ressonância com comprimento médio de ligação de  $1,28\text{ \AA}$ . É uma molécula angular com um ângulo de  $116^\circ 49'$  entre seus átomos o que o torna mais solúvel em água. Sua alta reatividade o transforma em elemento tóxico capaz de atacar proteínas (destruindo microorganismos) e prejudicar o crescimento dos vegetais. É um gás à temperatura ambiente, de coloração azul-pálida, devido à intensa absorção de luz vermelha, venenoso e com um odor pronunciado e irritante. A sensibilidade de algumas pessoas pode detectar aproximadamente  $0,01\text{ ppm}$  no ar. A exposição à concentração de  $0,1$  a  $1\text{ ppm}$  produz dores de cabeça, queimação nos olhos e irritação das vias respiratórias.

A molécula dissocia-se facilmente formando átomos de oxigênio reativos:



A decomposição é catalisada por metais como Ag, Pt, Pd e muitos óxidos de metais de transição.

É também um agente oxidante poderoso mais fraco apenas que o  $F_2$ , reagindo mais rapidamente que o  $O_2$ . Uma medida desse poder oxidante é o alto potencial padrão de redução de  $O_3$  comparado com  $F_2$  e  $O_2$ .



O ozônio forma óxidos com muitos elementos nas condições para as quais  $O_2$  não reage; ele oxida todos os metais comuns exceto o ouro e a platina.



O ozônio é usado para tratamento doméstico de água em substituição ao cloro matando bactérias e oxidando compostos orgânicos. O maior uso do ozônio esta na preparação de medicamentos, lubrificantes sintéticos dentre outros compostos orgânicos comercialmente úteis, onde  $O_3$  é usado para romper ligações duplas carbono - carbono.

O ozônio apresenta-se como espécie indesejável na atmosfera poluída de grandes centros urbanos, sendo um dos principais constituintes da névoa fotoquímica. Entretanto, o  $O_3$  é um componente importante da atmosfera superior, onde bloqueia a radiação ultravioleta protegendo a terra dos efeitos desses raios de alta energia. Por essa razão, a destruição do ozônio estratosférico é motivo de preocupação científica nos dias atuais.

### b) Camada de ozônio

Os mecanismos envolvidos na depleção da camada de ozônio,  $O_3$ , dentre outros que ocorrem na estratosfera são controlados pela radiação solar (BAIRD, op cit.). Portanto, é importante entender a capacidade de absorção de ondas eletromagnéticas pelas moléculas, e conseqüentemente a sua ativação, tornando-as potencialmente reativas. Os diferentes níveis de energia dos elétrons que constituem uma determinada substância conferem a esta características distintas no tocante a sua tendência a absorver um certo comprimento de onda. Reações fotoquímicas que ocorrem na camada de ozônio são responsáveis pela absorção de radiação ultravioleta de alta energia extremamente danosa à vida na terra. Portanto, ela serve como um filtro à radiação solar. Enquanto  $N_2$ ,  $O_2$  e  $O$  (oxigênio atômico) absorvem radiação eletromagnética de comprimento de onda menor que 240 nm, o  $O_3$  é importante absorvedor de radiação eletromagnética com comprimento de onda de 240 nm a 310 nm ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ).

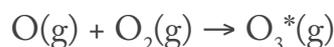
As sucessivas reações que formam o  $O_3$  são iniciadas pela absorção de radiação eletromagnética com comprimento de onda inferior a 242 nm (LENZI, 2009).

Na região, entre 30 e 90 km de altitude, a radiação de comprimento de onda curto capaz de fotoionizar o oxigênio já foi absorvida. Porém, na região da estratosfera superior chega radiação capaz de dissociar a molécula de  $O_2$ :



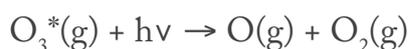
Onde, para esta equação química,  $h\nu$  representa a energia da radiação eletromagnética absorvida, de frequência  $\nu$  necessária para a dissociação da molécula de oxigênio e  $h$  é a constante de Planck.

Como na baixa estratosfera concentração de  $O_2(g)$  é muito maior que a de oxigênio atômico, estes sofrem colisões freqüentes com as moléculas de  $O_2(g)$ , resultando uma velocidade de formação de ozônio maior que a de decomposição:

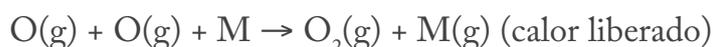
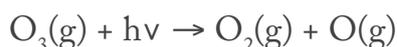
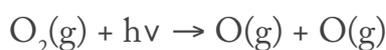


O asterisco sobre  $O_3$  significa que a molécula de ozônio está com excesso de energia. Esta reação libera 105 kJ/mol de  $O_3$  formado. Essa energia deve ser transferida da molécula de  $O_3^*$  em um período curto de tempo se não o ozônio se decompõe nos gases de origem. Esses processos variam com a altitude em sentidos opostos, sendo que a velocidade mais alta de formação do ozônio ocorre a uma altitude de aproximadamente 50 km. No total, 90% do ozônio da terra são encontrados na estratosfera entre 10 e 50 km de altitude

A fotodecomposição do ozônio inverte a reação que o forma. O ozônio absorve radiação entre 200 e 310 nm e se decompõe:



Então temos um processo cíclico de formação e decomposição do ozônio estratosférico resumido a seguir:



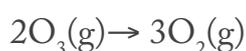
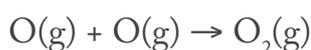
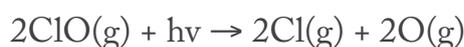
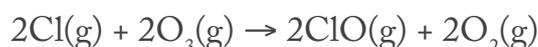
Note que o elemento “M” das reações pode ser, dentre as possíveis moléculas,  $N_2$  ou até mesmo outra molécula de  $O_2$ .

O primeiro e terceiro processos são fotoquímicos, eles usam um fóton solar para iniciar a reação química. O segundo e quarto processos são reações químicas exotérmicas. O resultado líquido é um ciclo onde a energia solar radiante é convertida em energia térmica. O ciclo do ozônio na estratosfera é responsável pelo aumento da temperatura que atinge seu máximo na estratopausa.

Alguns compostos como os CFCs (clorofluorcarbonos) e  $N_2O$  (óxido nitroso) migram da

troposfera para a estratosfera gerando, respectivamente átomos de Cl e NO que são catalisadores importantes da destruição do ozônio estratosférico.

Na estratosfera as moléculas de CFCs são expostas à radiação de alta energia que provoca a fotodissociação das ligações C-Cl que são consideravelmente mais fracas que as ligações C-F. Dessa forma os átomos de cloro são formados rapidamente na presença de luz de comprimento de onda na faixa de 190 a 225 nm. Os átomos de cloro livres reagem rapidamente com ozônio produzindo ClO(g) e O<sub>2</sub>(g) sendo a constante de velocidade (k) da ordem de 7,2 x 10<sup>9</sup> mol<sup>-1</sup> L s<sup>-1</sup> a 298 K. O monóxido de cloro (ClO) sofre fotodissociação regenerando os átomos de cloro livres que reagem com o ozônio como mostrado a seguir:

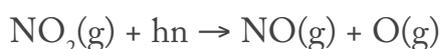


A velocidade da reação dos átomos de cloro livres com o ozônio aumenta linearmente com a concentração de cloro.

O óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) migra da troposfera para a estratosfera gerando óxido nítrico (NO) que é um importante catalisador da destruição do ozônio na estratosfera média e superior. O óxido nítrico é eliminado na estratosfera pela ação de aviões a jato, este reage instantaneamente com ozônio para formar NO<sub>2</sub>, que por sua vez reage com O regenerando NO que pode reagir sucessivamente com outra molécula de O<sub>3</sub> segundo as equações abaixo:

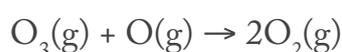
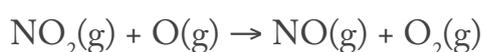


Mecanismo catalítico de decomposição do ozônio:



Na parte inferior da estratosfera como a concentração de oxigênio atômico é baixa estes mecanismos predominam às custas daqueles que requerem oxigênio atômico, pois as reações que requerem O ficam lentas.

Exemplo de mecanismo que requer oxigênio atômico na degradação do ozônio e que, portanto, ocorre na estratosfera superior é mostrado a seguir:



Na destruição catalítica do ozônio, os compostos mais significativos, segundo Lenzi (2009), são: H•, HO•, HOO•; NO, NO<sub>2</sub>; Cl•, ClO; Br•, BrO; I•, IO, sendo que os pontos como sobrescritos representam as espécies radicalares.

Com a diminuição da camada de ozônio ocorrem diversas conseqüências prejudiciais ao meio ambiente em geral como o aumento da temperatura global e efeitos maléficos a saúde dos seres vivos.

Com o aumento da temperatura no mundo, está em curso o derretimento das calotas polares. Ao aumentar o nível das águas dos oceanos, pode ocorrer, futuramente, a submersão de muitas cidades litorâneas, devido ao aumento da temperatura da Terra (BAIRD, 2002).

Esse aumento de temperatura acarretará em morte de várias espécies animais e vegetais, desequilibrando vários ecossistemas. Somado ao desmatamento que vem ocorrendo, principalmente em florestas de países tropicais como o Brasil, a tendência é aumentar cada vez mais as regiões desérticas do planeta Terra, diminuindo as plantações e conseqüentemente diminuindo comida para toda a população. O aumento da temperatura também ocasiona uma maior evaporação das águas dos oceanos, potencializando ciclones, tufões, entre outros tipos de catástrofes climáticas (BAIRD, 2002).

Regiões de temperaturas amenas têm sofrido com as ondas de calor. No verão europeu, por exemplo, tem se verificado uma intensa onda de calor, provocando até mesmo mortes de idosos e crianças.

Uma consequência séria da destruição da camada de ozônio é o risco da saúde pública da população, com grande aumento da incidência de câncer de pele, pelos raios ultravioletas de alta energia que são mutagênicos. A maior preocupação dos cientistas é com o câncer de pele, mas há outras doenças como a catarata, cuja incidência vem aumentando nos últimos vinte anos. É recomendado evitar o sol nas horas em que esteja muito forte, assim como a utilização de filtros solares, únicas maneiras de se prevenir e de se proteger a pele (SANTOS; MÓL, 2010).

## A Mesosfera

A mesosfera, camada de ar que contém pó procedente da destruição de meteoritos, se encontra a partir dos 50 km de altura, tendo como limite inferior a estratopausa. O perfil de temperatura se modifica novamente e passa a diminuir com a altura até os 80 km, chegando a  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na mesosfera a queda de temperatura passa a ocorrer em virtude da baixa concentração de moléculas e da diminuição do calor oriundo da camada de ozônio, que se encontra em uma região inferior. Apesar da baixa concentração, o ar presente na mesosfera é suficiente para oferecer resistência a objetos que entrem em nossa atmosfera (BAIRD, 2002).

O calor gerado pela resistência do ar a diversas rochas que colidem com a Terra faz com que os objetos sejam incendiados e dêem origem ao que é conhecido como estrelas cadentes. Esses fenômenos são chamados de meteoros e as rochas de meteoróides (PRESS; et al., 2006).

## Termosfera e exosfera

É a zona onde se destrói a maioria dos meteoritos que entram na atmosfera terrestre. A termosfera é a camada superior da atmosfera localizada entre 80 quilômetros e 100 quilômetros de altura. A temperatura sobe novamente na termosfera por causa da absorção da radiação na região do ultravioleta longínquo pelos gases atmosféricos, principalmente o oxigênio atômico. Esses raios ultravioletas de alta energia são capazes de fotoionizar os gases presentes nesta região da atmosfera. Em virtude da baixa densidade de gases nesta região da atmosfera e da radiação de alta energia é raro haver a recombinação dos fragmentos, e uma fração apreciável dos gases existe na forma de átomos ou íons. Essa camada é importante, pois, nela ocorre a absorção da radiação de altíssima energia.

A exosfera é a região onde se produzem as belíssimas auroras boreais. É a camada mais externa da atmosfera, acima da ionosfera, que mede de 600 a 1600 km. Composta de 50% de hidrogênio e 50% de hélio suas temperaturas são em torno de 1000 °C, devido à grande presença de plasma.



Pró-Reitora de Pós-graduação

Marilza Vieira Cunha Rudge

Equipe Coordenadora

Ana Maria Martins da Costa Santos

Coordenadora Pedagógica

Cláudio José de França e Silva

Rogério Luiz Buccelli

Coordenadores dos Cursos

Arte: Rejane Galvão Coutinho (IA/Unesp)

Filosofia: Lúcio Lourenço Prado (FFC/Marília)

Geografia: Raul Borges Guimarães (FCT/Presidente Prudente)

Antônio Cezar Leal (FCT/Presidente Prudente) - *sub-coordenador*

Inglês: Mariangela Braga Norte (FFC/Marília)

Química: Olga Maria Mascarenhas de Faria Oliveira (IQ Araraquara)

Equipe Técnica - Sistema de Controle Acadêmico

Ari Araldo Xavier de Camargo

Valentim Aparecido Paris

Rosemar Rosa de Carvalho Brena

Secretaria/Administração

Márcio Antônio Teixeira de Carvalho

## NEaD – Núcleo de Educação a Distância

*(equipe Redefor)*

Klaus Schlünzen Junior

Coordenador Geral

Tecnologia e Infraestrutura

Pierre Archag Iskenderian

Coordenador de Grupo

André Luís Rodrigues Ferreira

Guilherme de Andrade Lemeszenski

Marcos Roberto Greiner

Pedro Cássio Bissetti

Rodolfo Mac Kay Martinez Parente

Produção, veiculação e Gestão de material

Elisandra André Maranhe

João Castro Barbosa de Souza

Lia Tiemi Hiratomi

Liliam Lungarezi de Oliveira

Marcos Leonel de Souza

Pamela Gouveia

Rafael Canoletti

Valter Rodrigues da Silva