

1 - A ATMOSFERA

O planeta em que vivemos está envolvido por uma camada composta de gases, vapores e material particulado em suspensão, que se estende desde a superfície da terra até dezenas de quilômetros acima. Esta camada, chamada de atmosfera, é mantida pela força gravitacional.

A atmosfera terrestre é a única entre os planetas do nosso sistema solar capaz de tornar a vida possível (como a conhecemos!). Visto do espaço, o planeta Terra aparece como uma esfera de coloração azul brilhante. Esse efeito cromático é produzido pela dispersão da luz solar sobre a atmosfera.

Ela nos protege do espaço exterior e todos os fenômenos físicos, químicos e bioquímicos necessários à manutenção da vida no planeta ocorrem em seu interior.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A Tabela 1.1 mostra a composição gasosa da atmosfera isenta de vapor de água, chamada de composição seca. Nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2), argônio (Ar) e dióxido de carbono (CO_2) somam 99,998% do total.

Nitrogênio é o mais abundante gás na atmosfera. Atua como precursor para a formação de nitratos (NO_3^-), os quais são necessários às plantas para a formação de uma série de moléculas nitrogenadas (proteínas, ácidos nucléicos, clorofila) que são essenciais, direta ou indiretamente, para todos os seres vivos. Diversas formas de vida dependem de complexos processos biológicos e químicos (ciclo do nitrogênio) que convertem N_2 em NO_3^- .

Através de processos biológicos e atmosféricos, N_2 pode reagir com O_2 , o segundo gás mais abundante na atmosfera, produzindo substâncias conhecidas como óxidos de nitrogênio (NO_x), que incluem óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), e óxido nitroso (N_2O). O uso

de fertilizantes nitrogenados, os quais são desnitrificados por bactérias para produção de N_2 e/ou N_2O , podem aumentar a concentração desses compostos na atmosfera.

Tabela 1.1 - Composição Molar do Ar Seco.

Gas	Symbol	Content	
Nitrogen	N_2	78.084%	} 99.998%
Oxygen	O_2	20.947%	
Argon	Ar	0.934%	
Carbon dioxide	CO_2	0.033%	
Neon	Ne	18.20 parts per million	
Helium	He	5.20 parts per million	
Krypton	Kr	1.10 parts per million	
Sulfur dioxide	SO_2	1.00 parts per million	
Methane	CH_4	2.00 parts per million	
Hydrogen	H_2	0.50 parts per million	
Nitrous oxide	N_2O	0.50 parts per million	
Xenon	Xe	0.09 parts per million	
Ozone	O_3	0.07 parts per million	
Nitrogen dioxide	NO_2	0.02 parts per million	
Iodine	I_2	0.01 parts per million	
Carbon monoxide	CO		trace
Ammonia	NH_3		trace

(disponível: https://www.weather.gov/jetstream/atmos_intro)

A atmosfera contém cerca de 21% (base molar) de oxigênio. Oxigênio é vital para a maioria das formas de vida, participando de seus metabolismos. Participa dos processos de combustão (oxidação). Foi precursor para a formação da camada de ozônio na estratosfera, a qual protege as moléculas orgânicas e formas de vida do poder destruidor das emissões ultravioleta incidentes na atmosfera terrestre.

As concentrações de ozônio (O_3) na superfície terrestre são relativamente baixas (da ordem de 0,02 ppm), mas isto muda muito com a elevação, com concentração máxima (± 15 ppm) em torno de 40 km de altitude.

A quantidade de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera é relativamente baixa, cerca de 0,035% ou 350 ppm, mas ele é uma das principais matérias-primas que as plantas verdes utilizam no processo de fotossíntese. A vida é baseada no carbono e o CO₂ é a fonte do carbono. Ele é o principal gás estufa, participando na manutenção de um favorável balanço energético global.

A atmosfera é raramente, ou nunca, seca. O vapor de água (água na fase gasosa) está sempre presente, até cerca de 4% do volume total (40.000 ppm). Em regiões desérticas da Terra (30° N/S) a contribuição do vapor na composição da atmosfera é próxima de zero.

A Tabela 1.2 mostra as alterações na composição da atmosfera, com a inclusão de quantidades diferentes de vapor de água.

Tabela 1.2 - Composição do Ar Úmido.

Gas	Symbol	Content				
Nitrogen	N ₂	78.084%	77.30%	76.52%	75.74%	74.96%
Oxygen	O ₂	20.947%	20.74%	20.53%	20.32%	20.11%
Water Vapor	H₂O	0%	1%	2%	3%	4%
Argon	Ar	0.934%	0.92%	0.91%	0.90%	0.89%

(disponível: https://www.weather.gov/jetstream/atmos_intro)

Como o CO₂, o vapor é um importante "gás" estufa, absorvendo emissões infravermelhas. Na sua condensação formam-se as nuvens, as quais são as principais responsáveis pelo albedo¹ terrestre. O albedo tem um grande efeito na quantidade de luz solar (energia) que alcança a superfície da terra.

Hidrogênio, hélio, neônio, criptônio e xenônio são encontrados em quantidades muito pequenas na

¹ O albedo de um objeto é a razão entre a quantidade de radiação solar refletida pelo objeto e a quantidade total que ele recebe. Um objeto com um alto albedo é mais brilhante do que um objeto com um baixo albedo. Um objeto branco, completamente refletor, tem um albedo 1,0 enquanto que um objeto preto, sem refletividade, tem um albedo 0,0 (zero).

atmosfera. H_2 e He são os mais leves dos gases, “escapando” facilmente da força gravitacional terrestre.

A atmosfera contém, ainda, traços de outros gases produzidos por processos biológicos e/ou geológicos, incluindo amônia (NH_3), metano (CH_4), sulfeto de hidrogênio (H_2S), monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO_2). NH_3 , CH_4 e H_2S são produzidos principalmente por decomposição biológica. Metano absorve energia térmica e pode atuar como gás estufa.

Inúmeros outros gases e uma enorme variedade de substâncias gasosas podem ser encontrados na atmosfera, provenientes das atividades das mais diferentes formas de vida do planeta.

Os seguintes constituintes têm concentração variável:

Água	Bactérias
Cloreto de sódio	Esporos
Partículas de areia/solo	SO_2 de origem vulcânica
NO_2 formado por descargas elétricas	HCl de origem vulcânica
O_3 formado por descargas elétricas	HF de origem vulcânica
Pólen	Poeira cósmica

Para cálculos de engenharia é usual assumirmos que o ar seco contém, em volume, 21% de O_2 e 79% de N_2 . A Tabela 1.3 mostra uma comparação entre o ar considerado puro e aquele considerado poluído.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Não existe um limite bem definido entre o espaço exterior e a atmosfera, assume-se que esta tenha cerca de 600 km de espessura, 99% da massa está concentrada nas camadas mais inferiores, cerca 75% está numa faixa de 11 km da superfície, na medida em que se vai subindo, a atmosfera vai se tornando cada vez mais rarefeita perdendo sua homogeneidade e composição. Na exosfera, zona que foi arbitrada como limítrofe entre a atmosfera e o

espaço interplanetário, algumas moléculas de gás acabam escapando à ação do campo gravitacional.

Tabela 1.3 - Comparação do Ar Puro e Poluído
(extraído de SCHNELLE JR., 2002).

Component	Considered to Be Pure Air	Typical Polluted Atmosphere
Particulate matter	10–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	260–3200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sulfur dioxide	0.001–0.01 ppm	0.02–3.2 ppm
Carbon dioxide	300–330 ppm	350–700 ppm
Carbon monoxide	1 ppm	2–300 ppm
Oxides of nitrogen	0.001–0.01 ppm	0.30–3.5 ppm
Total hydrocarbons	1 ppm	1–20 ppm
Total oxidant	0.01 ppm	0.01–1.0 ppm

A atmosfera do planeta terra é fundamental para uma série de fenômenos que se processam em sua superfície, como os deslocamentos de massas de ar e os ventos, as precipitações meteorológicas e as mudanças do clima.

A atmosfera foi dividida em cinco camadas distintas, em função de características térmicas (mudanças de temperatura), composição química, movimento e densidade. Cada uma das camadas é delimitada por "pausas", nas quais as maiores mudanças ocorrem.

Temperatura e as Camadas Atmosféricas

Significante variação da temperatura ocorre em função da latitude. Um perfil vertical da temperatura atmosférica é apresentado na Figura 1.1.

Troposfera (0 - 12 km): é a camada que se estende da superfície da Terra até a base da estratosfera. A temperatura diminui com a altitude, esta camada responde por cerca de 80% da massa atmosférica, sua espessura média é de 10 km, atingindo ± 12 km no equador e ± 7 km nos polos. Devido ao intenso movimento da energia

térmica e significativa diferença de temperatura, esta camada é instável.

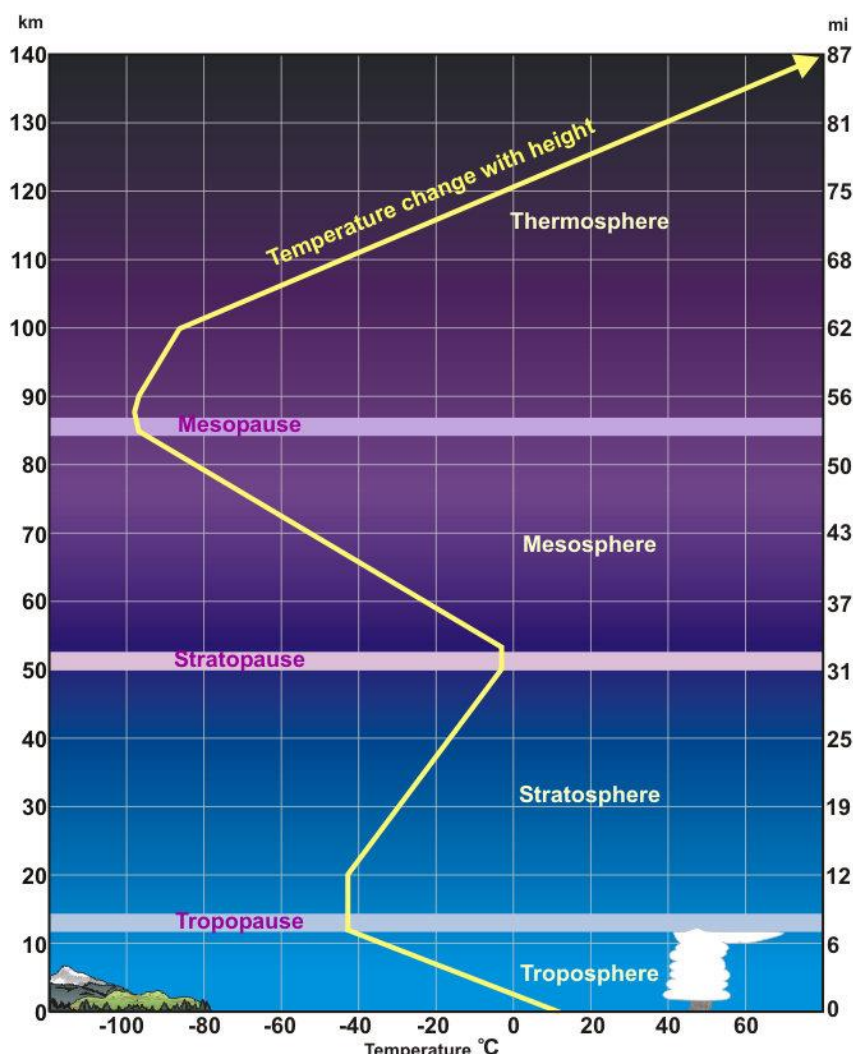


Figura 1.1 – Camadas da Atmosfera – Perfil de Temperaturas (disponível: <https://www.weather.gov/jetstream/layers>)

Estratosfera (12 - 50 km): a temperatura aumenta com a altitude e se caracteriza pelos movimentos de ar em sentido horizontal, fica situada entre 12 e 50 km de altitude, sendo a segunda camada da atmosfera, compreendida entre a troposfera e a mesosfera. A estratosfera contém a camada de ozônio, a qual absorve radiação ultravioleta, responsável pela elevação da temperatura nessa camada. O máximo nível de O_3 ocorre entre 15 e 30 km. Apresenta pequena concentração de vapor d'água. A estratosfera é relativamente estável.

Mesosfera (50 - 90 km): a temperatura diminui com a altitude, há uma substancial queda de temperatura chegando a $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ em seu topo.

Termosfera (90 - 600 km): a temperatura aumenta com a altitude, podendo ultrapassar $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Composição com gases (N_2 , O_2) rarefeitos. Entre 90 e 400 km, a atmosfera se torna eletricamente carregada, sendo essa região conhecida como Ionosfera, na qual a íons são produzidos.

Exosfera (acima de 600 km): se estende do final da termosfera até $\pm 10.000\text{ km}$. Nesta camada, átomos e moléculas escapam para o espaço e os satélites orbitam a Terra.

Pressão e Densidade

A pressão atmosférica é o resultado direto do peso exercido pela atração gravitacional da Terra sobre a camada de ar que a envolve, variando conforme o momento climático, a hora, o local e a altitude. A pressão atmosférica ao nível do mar é $101.325\text{ Pascal (N/m}^2\text{)}$.

Perto de 75% da massa da atmosfera estão abaixo de 10 km de altitude, 99% da massa está abaixo de 33 km. A massa total da atmosfera é cerca de $5,1 \times 10^{18}\text{ kg}$, uma pequena fração da massa total da terra (cerca de $5,97 \times 10^{24}\text{ kg}$).

A densidade do ar ao nível do mar é de $1,2\text{ kg/m}^3$. Esta densidade diminui a maiores altitudes, assim como a pressão. A Figura 1.2 exhibe um perfil de pressões em função da altitude.

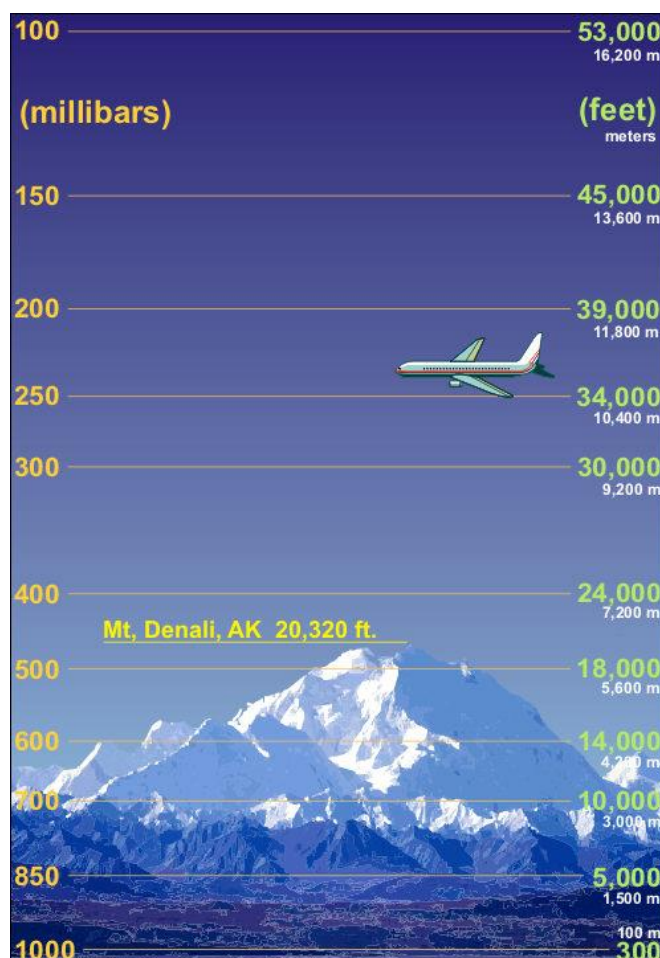


Figura 1.2 - Pressões médias na atmosfera.
(disponível: <https://www.weather.gov/jetstream/pressure>)

A Energia Solar

O sol emite energia na forma de ondas eletromagnéticas numa quantidade, relativamente, constante. Na região mais alta da atmosfera, cerca de 1.367 W/m^2 são recebidos, mas a quantidade de energia que realmente alcança a superfície da terra é bem menor que esse valor. Vapor de água, CO_2 e O_3 absorvem a energia solar incidente. Vapor de água e CO_2 absorvem radiação infravermelha e O_3 absorve radiação ultravioleta e infravermelha.

A significativa redução da quantidade de energia solar incidente na atmosfera terrestre é devida à reflexão (albedo) causada pelos gases, partículas e vapores (nuvens) presentes.

A energia solar efetivamente incidente na superfície da terra é convertida em calor, o qual é irradiado pela terra na faixa do infravermelho. A atmosfera, atuando como "estufa", captura essa energia, devido, principalmente, a presença de vapor d'água e CO₂. Dê uma olhada na Figura 1.3.

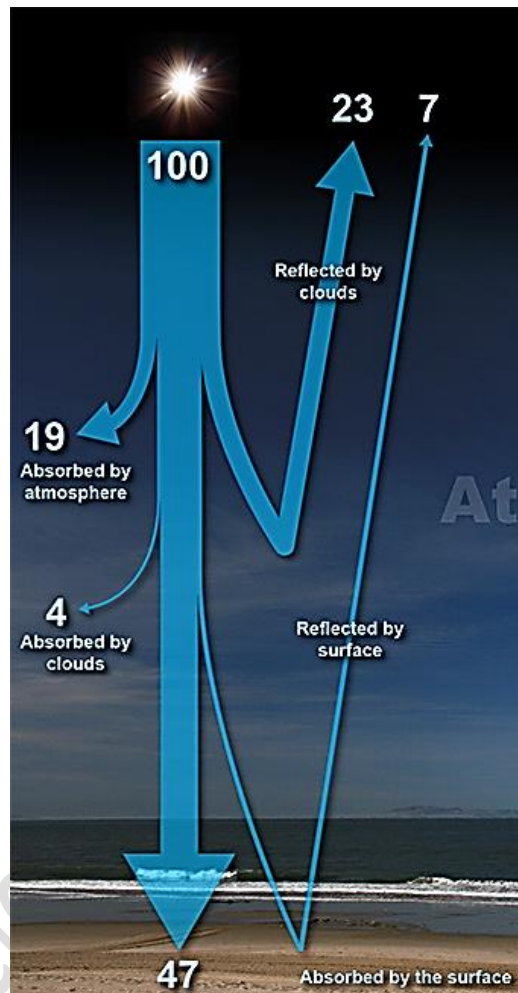


Figura 1.3 - Diagrama de Balanço Energético Terra-Atmosfera.
(disponível: <https://www.weather.gov/jetstream/energy>)