

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA ABORDAGEM CONCEITUAL SOBRE ESSE PROBLEMA AMBIENTAL GLOBAL

*Cleverson V. Andreoli*  
*Fabiana de Nadai Andreoli*  
*Pedro Kiatkoski Kim*  
*Kauê de Andrade Monteiro*

## INTRODUÇÃO

A biosfera integra todas as formas de vida, entre elas os seres humanos, os quais dependem do meio ambiente para sobreviver, e conseqüentemente da exploração dos recursos naturais disponíveis, modificando o espaço com suas necessidades e conveniências. Com a prática do nomadismo, nos primórdios de sua existência, o ser humano buscou áreas providas de recursos naturais necessários à sua perpetuação, que quando esgotados demandavam a busca de novas áreas, fato que, apesar da exploração realizada, permitia a recuperação do ambiente objeto do uso.

Ao longo do tempo a humanidade aprendeu a controlar e explorar os ambientes naturais de modo que não mais se fez necessária a busca de novas áreas de exploração, iniciando o desenvolvimento de práticas agrícolas, domesticação e criação de animais. Tais fatores permitiram o assentamento e desenvolvimento de comunidades, as quais foram condicionadas principalmente à disponibilidade dos recursos naturais e a circunstâncias climáticas favoráveis, culminando na criação de cidades geralmente localizadas às margens de rios, lagos, estuários e outros.

O aumento demográfico associado ao êxodo rural e aliado aos avanços científicos e tecnológicos, à demanda pela transformação do espaço natural e à exploração de recursos se fez perceber significativamente nas últimas décadas, implicando em diferentes fatores de degradação ambiental que comumente são tratados separadamente, entretanto, integram uma complexa interligação entre aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Nesse contexto, a solução ambiental não pode ser dissociada dos problemas socioeconômicos, gerando assim a busca por um modelo de desenvolvimento sustentável, ou seja, que integre os fatores ambientais, sociais e econômicos.

Atualmente, o foco das principais discussões mundiais está ligado diretamente às mudanças climáticas causadas por atividades antrópicas, as quais interferem na composição da atmosfera do planeta e que se somam à variação climática natural. A história tem mostrado que o clima é um condicionante fundamental no desenvolvimento das populações ao redor do mundo. Em que pese o avanço tecnológico do último século, a variabilidade climática pode produzir impactos significativos no desenvolvimento dos países e comprometer a sustentabilidade das populações.

À medida que os efeitos das mudanças climáticas são notados e que se reconhece a ameaça e as consequências ao desenvolvimento econômico e social, evidencia-se a necessidade de se dar cada vez mais atenção a tais questões, e o entendimento e a busca por soluções para a minimização dessas mudanças tem sido um dos maiores desafios da humanidade na atualidade.

O esforço acadêmico para aperfeiçoar as modelagens que elaboram cenários tem apresentado resultados bastante consistentes, que determinam uma grande hegemonia na comunidade científica. Há unanimidade no meio acadêmico a respeito do aquecimento global; as avaliações estatísticas, com mais de 90% de probabilidade, associam os problemas climáticos a atividades antrópicas, contudo ainda existem posturas divergentes. Porém, independentemente se mudanças climáticas são ou não uma consequência das intervenções do homem no meio, há uma necessidade evidente de ajuste do modelo de desenvolvimento, tendo em vista que a crise ambiental é decorrência direta de alterações em diversos componentes do meio, como a redução da biodiversidade, a desorganização do ciclo hidrológico, a poluição de rios, a erosão dos solos, a desertificação, entre outros.

Nesse sentido, temos de adotar padrões de acesso aos recursos que reduzam os efeitos ambientais, mas sejam capazes de incluir cerca de 870 milhões de habitantes que vivem hoje em insegurança alimentar, ou seja, sem acesso ao mais básico dos recursos, que é a certeza de um prato de comida no dia de hoje. As projeções de crescimento populacional mostram que teremos, até o ano de 2050, mais 1,3 bilhões de habitantes, na maioria nascidos em países periféricos, o que amplia a gravidade do problema. Dessa forma, o modelo referente à distribuição dos recursos deve necessariamente ser ajustado em padrões que permitam a inclusão e ao mesmo tempo reduzam os impactos planetários, independentemente de o aquecimento global ser ou não causado pelas atividades antrópicas.

O Brasil não está imune à mudança do clima e, em resposta a ela, pode apresentar vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais significativas. Portanto, torna-se um imperativo estratégico o conhecimento científico dos possíveis impactos da mudança do clima projetada para ocorrer neste século afetando todos os setores, sistemas e regiões do país, especialmente sobre agricultura, recursos hídricos, energias renováveis, saúde humana, ecossistemas e biodiversidade, zonas costeiras e oceanos, infraestrutura, cidades e indústria. (CPRM, 2016).

Por esse motivo, trata-se de uma solução complexa, que exige uma avaliação integrada de todos os fatores ambientais, sociais e econômicos inerentes. Assim, para podermos discutir sobre tais problemas é necessário uma breve abordagem conceitual sobre os principais assuntos relacionados ao tema.

## DIFERENÇA ENTRE CLIMA E TEMPO

Popularmente, os termos ‘clima’ e ‘tempo’ são empregados para se referir à mesma coisa, no entanto, trata-se de duas coisas distintas. O ‘tempo’, nesse caso, refere-se ao estado momentâneo das condições meteorológicas de determinada região, como quando dizemos em um dia de chuva que o tempo está ‘chuvoso’. Já o ‘clima’ se refere ao conjunto de condições meteorológicas de determinada região, ou seja, é a variação do ‘tempo’ em uma região durante um longo período cronológico que determina o clima desse local. Portanto, o termo ‘clima’ trata dos padrões de comportamento da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com a superfície do planeta durante um longo período de tempo, ao passo que o termo ‘tempo’ trata do estado momentâneo das condições meteorológicas.

Com o dinamismo da atmosfera e a complexidade de seus fenômenos se faz necessária uma análise conjunta dos elementos do clima, a fim de possibilitar a definição de tipologias climáticas.

Ao longo dos anos, diversos climatologistas desenvolveram métodos próprios de classificação do clima adaptados a suas regiões de interesse, embasados em concepções clássicas do clima, como aquelas descritas por Wilhelm Köppen. Ele desenvolveu diversos modelos de classificação do clima que até hoje servem como base para elaboração de outros esquemas.

Um desses modelos categoriza 5 (cinco) grandes grupos climáticos principais que correspondem às regiões fundamentais, do Equador aos polos (1 – tropicais chuvosos, 2 – secos, 3 – temperados chuvosos/moderadamente quentes, 4 – frios com neve-floresta e 5 – polares). As regiões supracitadas são divididas em subgrupos, determinados de acordo com a distribuição sazonal da precipitação juntamente às características de temperatura, totalizando 24 tipos climáticos.

Assim como a vida influencia a atmosfera, as condições meteorológicas interferem diretamente na vida humana, modificando cultural e fisicamente as atividades desenvolvidas pelos seres vivos. Principalmente pelo fato de a atmosfera (local onde ocorrem as mudanças de tempo e clima) ser muito dinâmica, faz-se necessário o aprendizado da estrutura atmosférica, que é onde acontecem essas alterações de tempo e clima.

## ATMOSFERA

Atmosfera (palavra que tem origem do latim moderno, *atmos* = vapores ou névoas e *sfera* = esfera ou globo) é o nome dado à massa gasosa que envolve nosso planeta. Sem a atmosfera, certamente o planeta seria privado de vida, apresentando aspecto inabitável muito próximo da Lua.

Mas para que serve a atmosfera? Ela desempenha várias funções muito importantes, dentre elas, proteger o planeta de nocivas radiações ultravioletas vindas do espaço, fornecer oxigênio de modo a permitir a existência de seres aeróbicos, reter e absorver parte do calor irradiado por corpos terrestres e pelo Sol, provocar a desintegração de meteoritos que poderiam atingir diretamente a superfície terrestre, evitar variações de temperaturas extremas entre a noite e o dia, atuar como redistribuidor da água na superfície terrestre por meio da chuva, além de conter gases indispensáveis à vida.

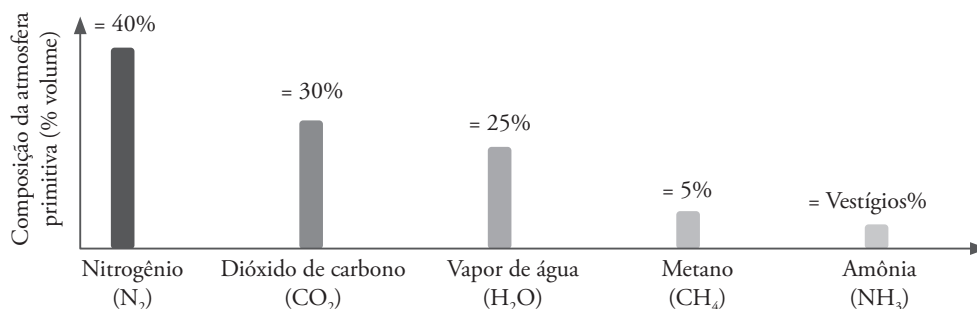
E por que a atmosfera não vai embora pelo espaço? Por ser composta por várias moléculas e partículas de diferentes elementos (sólidas, gasosas e líquidas) e ser influenciada pela lei da gravidade e pelo campo magnético que envolve o Planeta Terra, fatores que a impedem de escapar espaço afora.

## Origem e evolução da atmosfera

A atmosfera nem sempre foi assim. Há aproximadamente 4,6 bilhões de anos, a explosão de uma supernova ocasionou uma precipitação radioativa em uma nuvem de gás vizinha, fazendo com que parte dessa nuvem começasse a se condensar sob o próprio peso, formando o Sol e os planetas. Após a formação da Terra ocorreu uma colisão desta com outro planeta, fundindo-a em parte e ao mesmo tempo separando dela uma massa de rocha derretida, que após condensação e aprisionamento no campo gravitacional da Terra deu origem à Lua. Essa fusão permitiu a segregação das rochas, quando as mais pesadas foram direcionadas ao centro do planeta e as mais leves flutuaram, posteriormente esfriando, formando a crosta.

O longo período compreendido entre o início da Terra até pouco tempo antes de a vida começar foi caracterizado por colisões constantes de corpos espaciais com a Terra, intensas atividades vulcânicas e alta radioatividade. Esse período durou cerca de 1 bilhão de anos e ao longo deste a Terra esfriou e desenvolveu gases que formaram a primeira atmosfera duradoura. Com as erupções iniciais houve a fuga de gases voláteis para a camada exterior da crosta terrestre. Esses gases, juntamente aos que predominavam na nebulosa primitiva que deu origem ao Sistema Solar (hidrogênio e hélio), formaram a ‘atmosfera primitiva’. À época, tratava-se de uma atmosfera redutora, ou seja, um sistema que continha compostos capazes de reduzir outras substâncias no meio. Mais precisamente, é um processo em que ocorre a redução no número de oxidação de um átomo ou no número de cargas positivas de um íon. Dessa forma, a condição da Terra era inóspita.

**Figura 1** – Composição da atmosfera primitiva.



**Fonte** – Adaptado de Almeida, 2016.

A atmosfera primitiva tinha concentração média, em valores aproximados, de 40,0% de nitrogênio; 30,0% de dióxido de carbono; 25,0% de vapor de água; 5,0% de metano e vestígios de amônia. Os três primeiros compostos são classificados como ‘majoritários’, e os dois últimos, como ‘minoritários’. (ALMEIDA, 2016).

À medida que a Terra resfriava e os gases eram liberados, a atmosfera primitiva começou a ficar saturada de vapor de água, posteriormente precipitando dos céus e iniciando a formação dos oceanos.

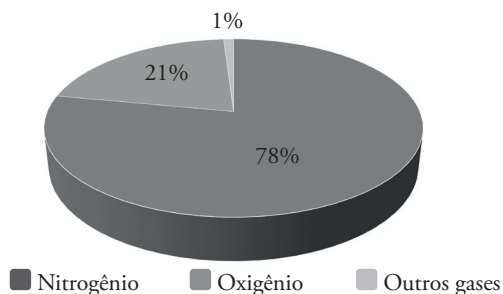
Nessa época não existia oxigênio na composição da atmosfera. Indícios apontam que na época os raios ultravioletas solares atingiam a superfície terrestre atuando sobre as moléculas existentes na atmosfera. Acredita-se que a radiação atuou como agente de ruptura das moléculas de água na formação do hidrogênio e oxigênio. O hidrogênio era liberado para o espaço e o oxigênio foi inicialmente se fixando ao ferro, formando os dióxidos e, posteriormente sendo liberado para a atmosfera. O aparecimento de organismos fotossintéticos (processo fundamental na regulação dos teores de dióxido de carbono) foi fundamental para a formação do oxigênio atmosférico, consequentemente, sendo responsável pela retenção parcial do hidrogênio livre na atmosfera por meio da reação deste com o oxigênio, formando água e impedindo sua perda para o espaço. Nesse caso, o surgimento da vida pode ser considerado essencial na formação da atmosfera, tanto pelo acréscimo de oxigênio ao ambiente como um subproduto da fotossíntese, como pela retenção do hidrogênio livre na atmosfera pela reação com oxigênio para formação de água, uma vez que a perda contínua de hidrogênio para o espaço resultaria na perda constante de água até sua total eliminação, como acredita-se que aconteceu com Marte e Vênus.

## Composição

A atmosfera atual demonstra estar muito distante do equilíbrio, pois como poderia uma atmosfera tão rica em oxigênio conviver com substâncias reduzidas, tais como monóxido de carbono, amônia, metano etc. Pode-se afirmar que essa situação única de composição da atmosfera é fruto da vida que se desenvolveu há bilhões de anos.

Os gases que compõem a atmosfera na atualidade são, quase em sua totalidade, produtos de organismos vivos da superfície da Terra e dos oceanos, com exceção de uma parcela de aproximadamente 1%. De acordo com Almeida (2016), o gás mais abundante na atmosfera é o nitrogênio, com aproximadamente 78%. O oxigênio é segundo gás mais abundante no ar, com aproximadamente 21%. A exceção correspondente à parcela de 1% é constituída por gases nobres, quimicamente inertes, como hélio, neônio, argônio, criptônio e xenônio, além de outras substâncias como dióxido de carbono, metano e poeiras. Essas porcentagens podem ser vistas na Figura 2.

**Figura 2** – Gases que compõem a atmosfera atual.



**Fonte** – Almeida, 2016.

## Importância dos principais gases da atmosfera

Para a meteorologia, os gases mais importantes que constam na atmosfera são oxigênio, vapor d'água, ozônio e dióxido de carbono.

O oxigênio, além de permitir a existência de seres aeróbicos, é o principal elemento na composição de três outros essenciais à vida: o gás oxigênio ( $O_2$ ), o gás carbônico ( $CO_2$ ) e a água ( $H_2O$ ).

O ozônio é uma variedade do elemento oxigênio que se forma por meio do rompimento de células de oxigênio nas camadas mais altas da atmosfera pela radiação ultravioleta vinda do Sol, servindo como camada protetora para a superfície terrestre, barrando parte da radiação solar.

O dióxido de carbono desempenha papel de termorregulador, sendo absorvedor eficiente de emissões de radiação terrestre.

## Camadas atmosféricas

A atmosfera é constituída de camadas estruturadas em forma de conchas concêntricas, e cada uma delas tem sua função. A primeira delas, partindo da crosta terrestre, é chamada de 'troposfera', sendo a camada mais fina da atmosfera e também a que concentra a maior parte dos gases (aproximadamente 75% do total). Localiza-se a uma altitude perto de 7 km nos polos e aproximadamente 17 km no Equador por conta do movimento de rotação da Terra. À medida que subimos, entramos na 'estratosfera' (camada logo acima da troposfera), e a fronteira entre essas duas camadas se chama 'tropopausa'. Essa fronteira é mais bem entendida quando analisamos as mudanças de temperatura na medida em que subimos na atmosfera. O ar quente tende a subir e se expandir, e ao passo que se expande, resfria. Ao atingir próximo de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  entramos na tropopausa.

A troposfera, além de ser a porção com maior concentração dos gases, tem um percentual de 99,99% da quantidade de vapor de água de toda a atmosfera. Pode ser analisada em várias subdivisões, a exemplo da Camada Limite da Atmosfera (CLA), que corresponde ao extrato mais baixo da troposfera (até  $\approx 1$  km de altitude) e sofre influência direta da superfície terrestre, sendo caracterizada pela turbulência térmica com inversões durante os períodos do dia e noite.

A 'estratosfera', camada superposta à troposfera, atinge cerca de 50 km de altitude. Nessa camada, ao contrário da anterior, onde a temperatura cai  $\approx 7\text{ }^{\circ}\text{C}$  por km à medida que subimos, a temperatura aumenta quanto mais subimos. A estratosfera é uma camada muito estável, bem diferente da troposfera, que produz os fenômenos climáticos como chuvas, ventos, furacões etc. Por esses motivos a estratosfera é utilizada pelos aviões para fugir de instabilidades da troposfera.

A explicação para a estabilidade da estratosfera está na diferença de temperatura ao longo dela, onde as porções mais baixas são mais frias ( $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e as mais altas são mais quentes ( $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), impossibilitando a troca de calor por convecção (algo que acontece na troposfera) e, conseqüentemente, não permitindo a movimentação das moléculas, tornando-a mais calma.

A camada de ozônio (camada que protege a superfície terrestre dos raios ultravioletas provindos do Sol) se encontra na estratosfera. Essa camada tem uma espessura de 22 km de alta concentração desse

gás. O ozônio ( $O_3$ ), embora seja um gás quimicamente diferente do oxigênio ( $O_2$ ), é estruturalmente muito parecido com ele. A explicação sobre o aumento da temperatura quando da elevação da altitude na estratosfera é que os raios ultravioletas são parcialmente absorvidos pela camada de ozônio, desorganizando os átomos e quebrando o  $O_3$ , gerando energia e consequentemente aumentando a temperatura nessa porção da atmosfera. (BRASIL, 2012a).

Acima da estratosfera se inicia a ‘mesosfera’, que chega a altitudes de 80 km. Por não conter ozônio em sua composição, ou ainda outros gases ou nuvens capazes de absorver energia solar, também apresenta declínio nas temperaturas à medida que aumenta a altitude, com variações entre  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Apesar da baixa quantidade de moléculas de ar, a mesosfera oferece resistência a objetos que entram na atmosfera, servindo de proteção ao planeta contra a colisão de meteoros. Nessa camada ocorre ainda um fenômeno que dá cor aos dias, denominado ‘aeroluminescência’. Basicamente, esse fenômeno acontece com a entrada da radiação vinda do Sol em contato com as moléculas de oxigênio, que emitem fótons e consequentemente colorem o céu.

Já a ‘termosfera’ está localizada acima da mesosfera, apresentando altitude de até 640 km. Por consequência de os raios ultravioletas serem muito intensos, volta a apresentar a característica de aumento de temperatura quando do aumento da altitude. A grande intensidade dos raios ultravioletas ocasiona ainda a decomposição das moléculas em átomos e íons, por esse motivo tal camada também é chamada de ‘ionosfera’. As temperaturas nas porções mais altas podem chegar a  $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Essa camada reflete as ondas de rádio, permitindo a comunicação entre lugares distantes.

Finalmente, a ‘exosfera’ é a camada mais externa da atmosfera, sendo a zona de transição entre esta e o espaço, atingindo até 1.600 km de altitude, podendo apresentar temperaturas próximas a  $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . É a camada mais rarefeita, sendo composta basicamente de hidrogênio e hélio em proporções equivalentes, onde se posicionam vários satélites.

## Fragilidade da atmosfera

A atmosfera faz parte dos três principais e mais importantes ambientes físicos da Terra: litosfera, hidrosfera e atmosfera. O primeiro é a porção do planeta Terra composta por rochas e solos. O segundo compreende o ambiente aquático, enquanto o terceiro corresponde à porção gasosa do planeta.

De acordo com Carl Sagan (1998), a espessura da atmosfera terrestre, incluindo toda a parte afetada pelo efeito estufa, representa apenas 0,1% do diâmetro da Terra. Se incluirmos a alta estratosfera, a espessura total passa a representar 1% do diâmetro do planeta.

Segundo estatísticas apresentadas pelo cientista James Lovelock (2006) na Teoria de Gaia, a massa total da atmosfera é de aproximadamente  $5,137 \times 10^{18}\text{ kg}$ , uma fração minúscula da massa total da Terra ( $\approx 5,976 \times 10^{24}\text{ kg}$ ). Exerce papel fundamental na manutenção da vida, interagindo complexamente com o planeta e o espaço exterior. Com isso, podemos perceber a fragilidade e importância dessa fina camada que nos protege das ameaças exteriores, como os meteoros vindos do espaço e os raios ultravioletas emitidos pelo Sol.

## Densidade e pressão atmosférica

Como já vimos anteriormente, a atmosfera é composta por vários gases que sofrem a ação da gravidade e, portanto, têm peso, caso contrário escapariam da Terra e se dispersariam no espaço. Assim, esses gases exercem uma força sobre a superfície terrestre denominada 'pressão atmosférica', tendo como unidade de medida o 'hectopascal', a 'atmosfera-padrão' (atm) e o 'milibar' (bar).

A atmosfera tem volume e densidade variáveis, modificando-se na medida em que se afasta da superfície terrestre; conseqüentemente, a pressão atmosférica varia de acordo com a altitude. Por exemplo, em grandes altitudes o ar é rarefeito (menor quantidade de partículas de ar por unidade de volume), conseqüentemente a pressão atmosférica é menor se comparada a regiões ao nível do mar, onde o ar é mais denso (maior quantidade de moléculas de ar por unidade de volume) e a pressão atmosférica é maior. Esse fenômeno pode ser notado quando descemos uma serra em direção à praia e sentimos um incômodo no ouvido, ou seja, quando a pressão atmosférica aumenta gradativamente na medida em que a altitude diminui.

O decréscimo da densidade com a altura se dá de forma bastante rápida. Em uma altitude de 5,6 km a densidade já é a metade se comparada com a densidade ao nível do mar. Em 16 km já passa a ser 10% da densidade ao nível do mar e em 32 km corresponde a apenas 1% do valor. Ou seja, é um decréscimo exponencial da densidade em relação à altitude; quanto mais próximo da superfície mais denso será o ar, que se torna rarefeito com o aumento da altitude.

A força da gravidade comprime a atmosfera, sendo o local de maior pressão atmosférica aquele próximo à superfície da Terra. Ao nível do mar a pressão atmosférica padrão é 1013 hPa. Para determinar a pressão atmosférica ao nível do mar, o físico italiano Evangelista Torricelli realizou uma experiência na qual colocou um tubo de 1 metro de comprimento completamente cheio de mercúrio, com a boca tampada e virada para baixo, dentro de um recipiente também cheio de mercúrio. Após destampar a boca do tubo o cientista observou que a coluna de mercúrio desceu e se estabilizou no nível 76 cm, restando o vácuo na parte vazia do tubo.

Mas por que o tubo com mercúrio não foi completamente esvaziado quando a boca foi destampada? Por causa da pressão que a atmosfera exerceu sobre a superfície exposta do mercúrio que estava no recipiente, impedindo que a coluna de mercúrio dentro do tubo escoasse para o recipiente além dos 76 cm. Com isso, Torricelli concluiu que a pressão exercida pela coluna de mercúrio equivaleu à pressão atmosférica quando atingiu 76 cm, portanto, se estabilizou nesse ponto. Por meio dessa experiência ele calculou a pressão atmosférica média ao nível do mar, considerando que é equivalente à pressão exercida pela coluna de 76 cm de mercúrio.

A temperatura também influencia a pressão atmosférica. Quando o ar se esquentar, suas moléculas se expandem, tornando-o menos denso e, conseqüentemente, diminuindo a pressão atmosférica. Seguindo o mesmo raciocínio, o ar se comprime na medida em que esfria, tornando-se mais denso e, portanto, aumentando a pressão atmosférica.

Assim, nas áreas mais quentes do planeta (Equador) são constatadas pressões atmosféricas menores e, conseqüentemente, pressões maiores são encontradas em locais mais frios (polos). Portanto, podemos

dizer que a latitude influencia de forma diretamente proporcional a pressão atmosférica, pois quanto menor a latitude (proximidade ao Equador) menor é a pressão e vice-versa, ao contrário da altitude, que influencia a pressão atmosférica de forma inversamente proporcional, como já vimos anteriormente.

A pressão atmosférica varia com o tempo ao longo do dia e durante o ano. As variações temporais se relacionam às mudanças de temperatura do ar em função da variação de temperatura da superfície ao longo do dia e das estações do ano.

## Grandes circulações atmosféricas

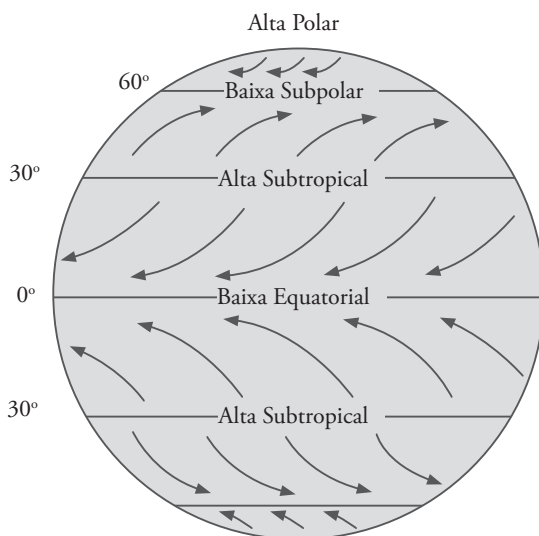
A atmosfera é algo dinâmico, e se analisada dessa forma deve ser considerada a movimentação do ar e consequente troca de influências que o ar proveniente de uma região leva a outra, formatando-se assim em um sistema complexo de sistemas atmosféricos.

A atmosfera terrestre, como já vimos, é um conjunto de gases preso à Terra pela ação da gravidade, cujos movimentos são descritos pelas leis da mecânica dos fluidos e da termodinâmica. Os movimentos do ar são nutridos pela distribuição desigual da energia solar e influenciados diretamente pela rotação terrestre.

A atmosfera encontra-se em constante movimento, ficando difícil captar e representar de maneira fiel as leis que regem esse constante dinamismo. Contudo, com a localização dos campos médios de pressão atmosférica (ou centros atmosféricos de ação) por meio de cartografia fica mais fácil entender toda essa movimentação. Esses centros atmosféricos são classificados como de alta pressão ('anticiclônicos') ou de baixa pressão ('ciclônicos' ou 'depressões').

A circulação geral da atmosfera pode ser observada na Figura 3, que traz os principais movimentos da atmosfera em escala planetária.

**Figura 3** – Circulação geral da atmosfera.



**Fonte** – Adaptado de Atlante Geográfico Metódico de Agostini, 1996.

Os centros de alta pressão ('anticiclones') caracterizam-se por apresentar pressão atmosférica mais elevada que seu entorno. Essas são áreas em cuja superfície ocorre divergência do ar partindo do núcleo. Já 'ciclones' (centros de baixa pressão) é o termo utilizado para perturbações tropicais mais velozes, características das regiões tropicais.

Os centros de ação atmosférica são, de maneira geral, sazonalmente móveis, com o movimento do ar se fazendo geralmente dos centros de ação positivos (anticiclones) para os negativos, de baixa pressão (ciclones). (MENDONÇA, 2007).

## Rios aéreos

A expressão 'rios aéreos' ou 'rios voadores' foi trazida para o Brasil pelo pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) José Marengo, na década de 1990. O conceito dessa expressão é uma analogia aos rios terrestres que simplificam o nome científico 'jatos de baixos níveis da América do Sul' (MOSS; MOSS, 2014), tornando o conceito muito similar ao dos rios atmosféricos. (NOBRE, 2014).

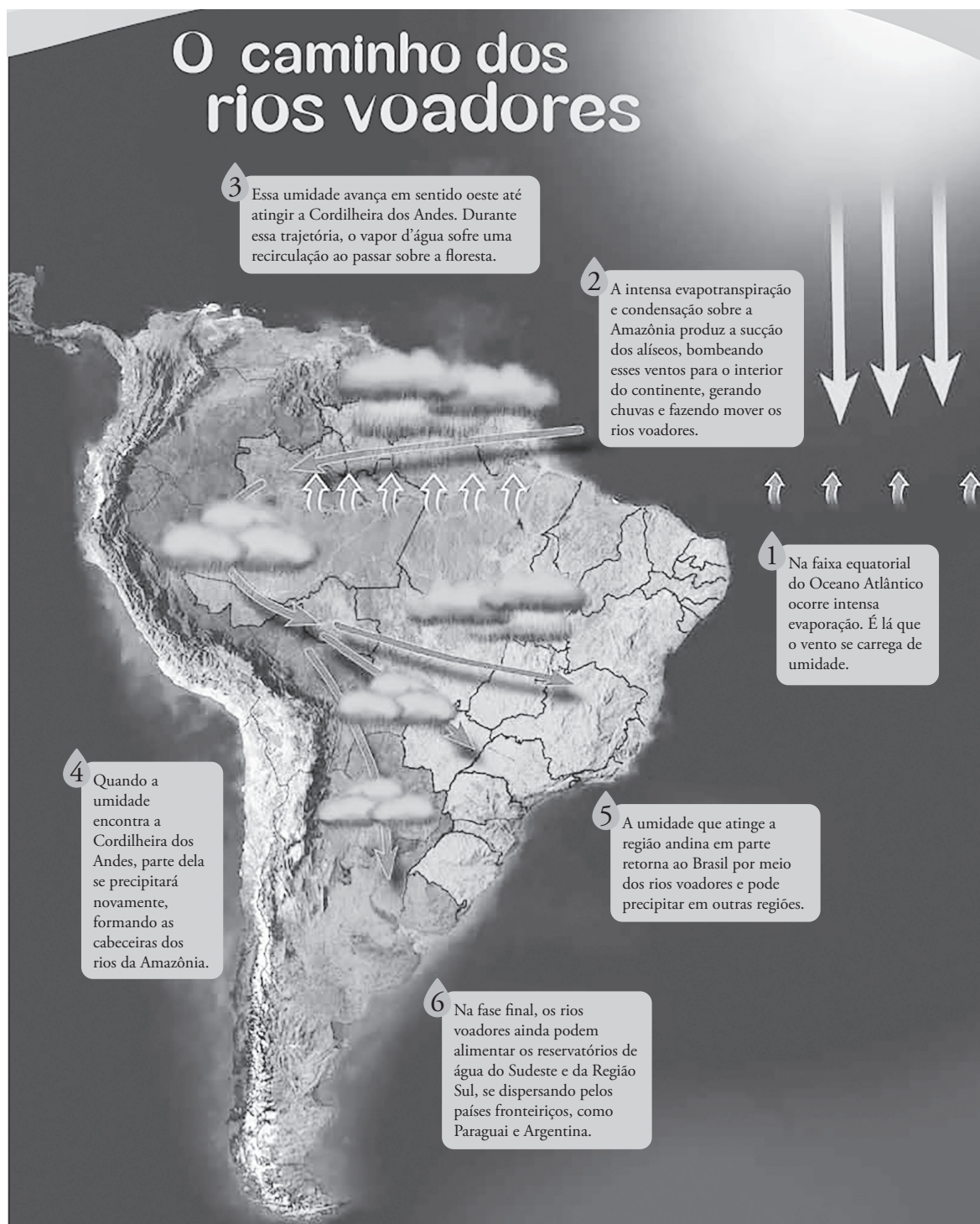
Os rios aéreos são grandes massas de vapor de água invisíveis que circulam na atmosfera com o auxílio dos ventos. Esse fenômeno ocorre quando a umidade contida nesses rios se precipita e encontra condições meteorológicas favoráveis como a frente fria.

No Brasil, o principal 'rio voador' encontra-se na Região Nordeste, na franja equatorial do Oceano Atlântico, que é transportado pelos ventos rumo à Região Norte do país, chegando até a Floresta Amazônica. Para Nobre (2014), esse processo se dá quando um rio aéreo une regiões doadoras de umidade com outras receptoras de umidade.

A precipitação que cai sobre a floresta é evaporada e pela ação do calor ocorre a evapotranspiração das árvores. Dessa maneira, o ar é recarregado com mais umidade e ocorre a precipitação novamente. De acordo com Dall'Agnol (2017), cerca de 200 milhões de litros por segundo é o volume de água que evapora da Floresta Amazônica e é transportado pelos rios aéreos da região. Além disso, o autor afirma que apesar de não conseguirmos visualizar esse volume de água, ele corresponde à grandeza da vazão do Rio Amazonas, o maior do Brasil. Apesar de sua grandeza, existem duas dezenas de diversas correntezas aéreas carregadas de vapor de água que atravessam o espaço aéreo brasileiro e são responsáveis pelas chuvas que caem em pontos distintos do território nacional.

Na Figura 4 podemos observar como ocorre esse fenômeno entre as regiões do país.

**Figura 4** – Caminho dos rios voadores.



**Fonte** – Moss e Moss, 2014.

## FATORES CLIMÁTICOS

Para entendermos melhor os diferentes tipos de climas do planeta, devemos compreender os fatores que o influenciam. Ou seja, para aprendermos sobre os diversos climas temos de entender como as características e a dinâmica da atmosfera atuam sobre os diferentes lugares em sua permanente interação com a superfície.

Desse modo, os elementos climáticos (temperatura, pressão, umidade, precipitação, vento etc.) são influenciados por características geográficas da paisagem, diferenciadas de local para local. Os fatores que influenciam diretamente esses elementos são latitude, altitude, relevo, vegetação, continentalidade/maritimidade e atividades humanas.

A latitude é um importante fator, pois trata do posicionamento do planeta em relação a outros astros, condicionando a quantidade de energia na Terra. A rotação (movimento dela em volta do seu próprio eixo), por exemplo, proporciona a diferenciação entre dia e noite em determinado local do planeta, implicando em uma diferenciação na entrada de energia na atmosfera. A inclinação do eixo da Terra e o próprio movimento de translação (movimento da Terra ao redor do Sol) também propiciam uma diferenciação de distribuição da energia emitida pelo Sol. Em resumo, a latitude de um lugar, como também a época do ano, define o ângulo com que os raios do sol irão incidir sobre a superfície daquele local.

O relevo é outro fator que influencia o clima de uma região, principalmente em decorrência da variação de altitude, forma e posição e da orientação das vertentes. Quando consideramos dois lugares com a mesma latitude, porém com diferentes altitudes, o local com maior altitude terá menor temperatura, ao passo que o local mais próximo ao nível do mar terá maior temperatura. A cada 100 m de elevação da altitude diminui-se aproximadamente 0,3 °C.

A posição e a forma de um relevo podem favorecer ou dificultar fluxos de calor e umidade entre áreas próximas. A Cordilheira dos Andes, por exemplo, barra a penetração de umidade proveniente do Oceano Atlântico e da Amazônia para o oeste do Chile, deixando o clima do Deserto de Atacama mais seco.

A orientação do relevo em relação ao Sol irá definir as vertentes mais aquecidas e secas, bem como aquelas mais frias e úmidas, influenciando assim no clima da região.

A vegetação serve como regulador de umidade e temperatura de uma região. Nota-se que no interior de áreas florestais a temperatura é inferior às áreas vizinhas não florestadas. Isso se dá por causa da copa e dos troncos das árvores, que barram a radiação solar direta. Nessas áreas florestadas o processo de infiltração de água no solo é mais eficiente, havendo maior disponibilidade de água no terreno dessas regiões, o que torna a evaporação e a evapotranspiração mais hábeis, deixando o ambiente mais úmido e frio.

Os mares e oceanos, por sua vez, são fundamentais para a regulação do clima no planeta, pois são os principais fornecedores de água para a troposfera e controlam a distribuição de energia entre continentes e oceanos. Eles induzem a temperatura do ar conforme a temperatura da superfície aquática, fazendo o ar se resfriar por meio das baixas temperaturas das águas superficiais frias, inibindo a formação de nuvens e, conseqüentemente, de chuvas. O contrário acontece em locais de superfícies aquáticas quentes, esquentando o ar e elevando a formação de nuvens e chuvas. Os locais muito distantes dos mares e oceanos sofrem com o efeito da continentalidade, sentido principalmente nas temperaturas e umidades do ar. Nessas regiões a amplitude térmica é acentuada, pois o aquecimento e o resfriamento do ar se tornam mais rápidos.

As atividades humanas também atuam sobre o clima. Como exemplo disso temos as ilhas de calor, ou ilhas térmicas, que são áreas de intensidade distinta de aquecimento do ar, criadas pela modificação da paisagem natural pela ocupação humana, onde é possível observar que a temperatura dos centros urbanos é superior à das regiões periféricas.

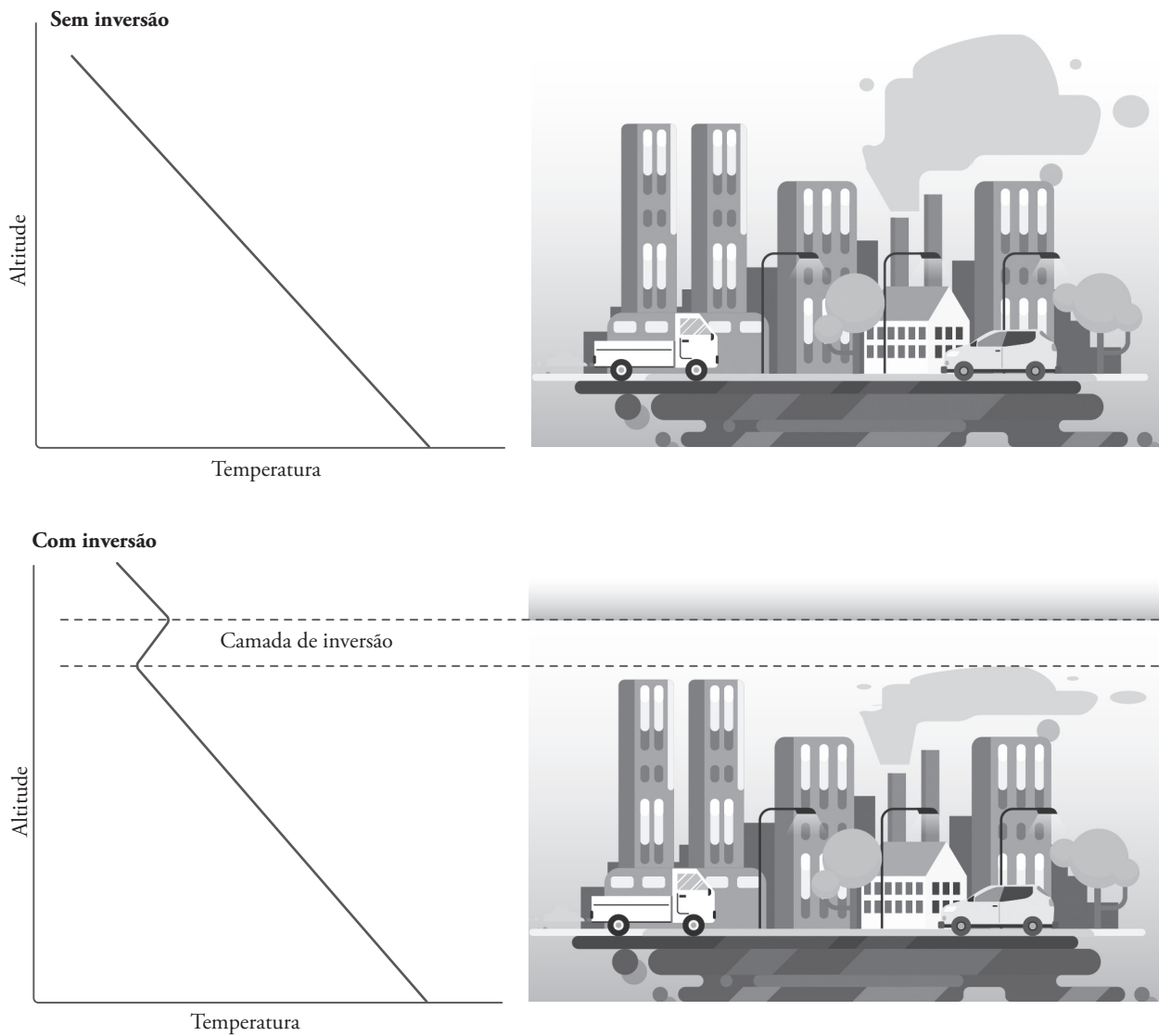
Contribuem significativamente para a ocorrência desse fenômeno as atividades de produção, notadamente industriais, de transporte e lazer das grandes cidades. No entanto, é importante ressaltar que os centros urbanos apresentam diversas contribuições para a alteração do clima nessas regiões. (MENDONÇA, 2007).

## Inversão térmica

Como já visto anteriormente, na troposfera o ar se resfria à medida que se aumenta a altitude. Assim, o ar mais próximo da superfície é mais quente, portanto, é mais leve e tende a subir. Nas grandes cidades essa dinâmica faz com que os gases poluentes, advindos das indústrias e dos automóveis, sejam dispersos mais facilmente, conforme Figura 5.

A diferença de temperatura entre o ar das camadas mais baixas (próximas à superfície) e mais altas da troposfera faz o ar circular verticalmente; o ar quente sobe e vai se resfriando gradativamente, empurrando o ar frio para baixo, que será aquecido, repetindo o fenômeno. Quando a superfície terrestre se resfria rapidamente, forma uma camada de ar frio abaixo da camada de ar quente, fato que ocorre com maior frequência nos invernos em períodos noturnos, ocasionando a ‘inversão térmica’, que pode ser definida como uma condição meteorológica que ocorre quando uma camada de ar quente se sobrepõe a uma camada de ar frio, dificultando o movimento ascendente do ar, uma vez que o ar frio é mais pesado. A poluição emitida pela área urbanizada então fica contida abaixo da camada de ar quente, criando uma faixa cinza no horizonte da cidade (*smog*), resultado da poluição concentrada na camada mais próxima da superfície, conforme Figura 5.

**Figura 5 – Inversão térmica.**



**Fonte –** Feltre, 2004.

A inversão térmica é um fenômeno natural que ocorre durante todo o ano, atingindo altitudes mais baixas no inverno, principalmente nos períodos noturnos.

## Efeito estufa

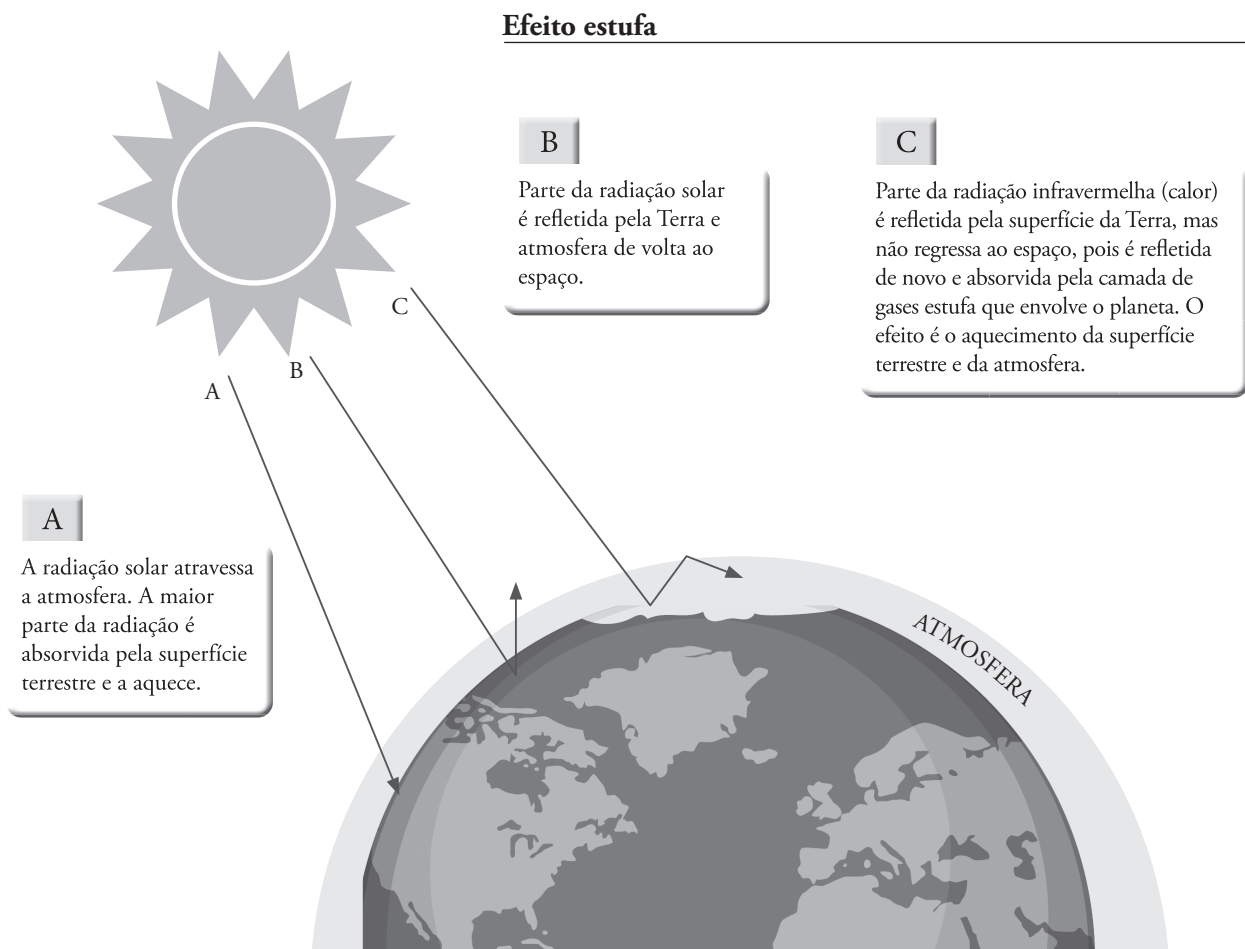
A atmosfera depende de algumas condições para que tenha possibilidades de abrigar vida. Uma delas é a temperatura, que certamente não seria da forma como é hoje sem o efeito estufa.

Trata-se de um processo natural de aquecimento da atmosfera. Caso ele não existisse, o planeta teria cerca de  $-18^{\circ}\text{C}$  de temperatura média (em vez de  $15^{\circ}\text{C}$ ), existiria abundantemente água em estado sólido e seguramente não haveria condições de abrigar vida.

O efeito estufa funciona da seguinte forma: a radiação atravessa a atmosfera e aquece a superfície da Terra. Parte dessa energia retorna à atmosfera, mas nem toda consegue atravessar a camada de gases que envolvem o planeta, como o vidro de uma estufa. Cerca de 30% da radiação solar é refletida de volta ao espaço pela atmosfera (nuvens e partículas) e pela superfície da Terra. A reflexividade (albedo) da superfície do planeta varia de acordo com o material refletivo.

De modo simplificado, a radiação solar que atinge a superfície é convertida em energia térmica, aquecendo o planeta e evaporando a água. Quando o calor da superfície sobe para a atmosfera, uma parte dele vai para o espaço e outra é absorvida pelos gases do efeito estufa, que emitem a energia de volta para o planeta. Quanto mais alta a coluna de gases do efeito estufa, maior é a quantidade de energia emitida de volta, reaquecendo a superfície e a baixa atmosfera, em um processo constante, conforme a Figura 6.

**Figura 6** – Efeito estufa.



Os chamados Gases do Efeito Estufa (GEE) se concentram naturalmente na atmosfera, representando menos de um milésimo da atmosfera total. Sem eles não existiria efeito estufa. Como esses gases absorvem os raios infravermelhos, servindo como um cobertor do planeta, o aumento de sua concentração pode bloquear a saída dos raios refletidos pela superfície terrestre, causando o aumento da temperatura média da atmosfera.

Os principais GEE são o vapor de água, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), os clorofluorcarbonos (CFCs), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Esses gases têm diferentes concentrações e ciclos de produção e destruição, bem como diversos potenciais de aquecimento do planeta.

Os GEE citados anteriormente se diferenciam dos principais gases que constituem 99,97% do ar, como oxigênio e nitrogênio no que se refere à capacidade de absorção da energia solar. O oxigênio e o nitrogênio são diatômicos (dois átomos ligados um ao outro) e não podem absorver o infravermelho e os comprimentos de ondas visíveis do Sol. Dessa forma, não são aquecidos e não aquecem o ar quando atingidos pela luz solar e pelo infravermelho irradiado para cima pela superfície terrestre. O mesmo se aplica aos gases monoatômicos (constituídos de um átomo), como o argônio.

Os gases constituídos por três ou mais átomos, como o dióxido de carbono, o vapor d'água e o metano, são capazes de absorver a radiação infravermelha, pois suas moléculas são maiores e vibram naturalmente nas mesmas frequências que o infravermelho.

Atuando como um isolante térmico da estufa gasosa do planeta, o ar da camada atmosférica exterior é mais frio, assim, o aumento de temperatura pela estufa gasosa no nível da superfície poderá ocasionar uma queda de temperatura na camada atmosférica exterior. Nesse caso, pode-se afirmar que em função do isolamento térmico do planeta a atmosfera exterior seria mais fria caso não estivesse isolada termicamente.

## Aquecimento global

Atualmente, um dos principais assuntos em discussão é o aquecimento global e as possíveis consequências a ele relacionadas, como o aumento da temperatura média do planeta, o derretimento do gelo polar, o aumento do nível do mar, a influência sobre fenômenos como tempestades, furacões etc.

O efeito estufa em si e sua existência não são motivo de preocupação, pois como já vimos anteriormente esse fenômeno é natural e essencial para a absorção do calor do sol e para manutenção da vida na Terra. O que preocupa é o acréscimo dos chamados GEE na atmosfera pelas atividades humanas, a capacidade destes em aumentar significativamente o aquecimento do planeta e como isso pode afetar o complexo sistema de vida.

A concentração dos GEE vem aumentando devido a ações antrópicas decorrentes de atividades econômicas e sociais, provocando alterações na biosfera, causando a quase duplicação da concentração desses gases. Os principais deles são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ), sendo o primeiro responsável por 80% do aquecimento causado pelo homem, enquanto o segundo, que é 21 vezes mais potente que o primeiro, tem aumentado em quantidade de cerca de 1% ao ano nas últimas décadas.

A queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural é a principal fonte de emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Já as principais fontes de emissão do metano estão na atividade

agrícola, produzida pela fermentação das bactérias anaeróbicas associadas aos arrozais, pela fermentação entérica dos ruminantes, pelo desflorestamento e pela queima de biomassa. O óxido nitroso é emitido pelo uso de fertilizantes e por atividades industriais.

As mudanças climáticas e o aquecimento global estão em discussão há algum tempo, e a comunidade científica tem feito várias pesquisas para saber a real causa dessas mudanças. Uma parcela da comunidade científica mundial acredita que elas são parte de um processo natural, longo e dinâmico de glaciação do planeta, sendo o aumento da temperatura consequência dele.

Porém, as principais atribuições das causas do aumento da temperatura são as ações antrópicas, que aumentam a quantidade de gases do efeito estufa, principalmente por meio da queima de combustíveis fósseis, petróleo, carvão e gás natural.

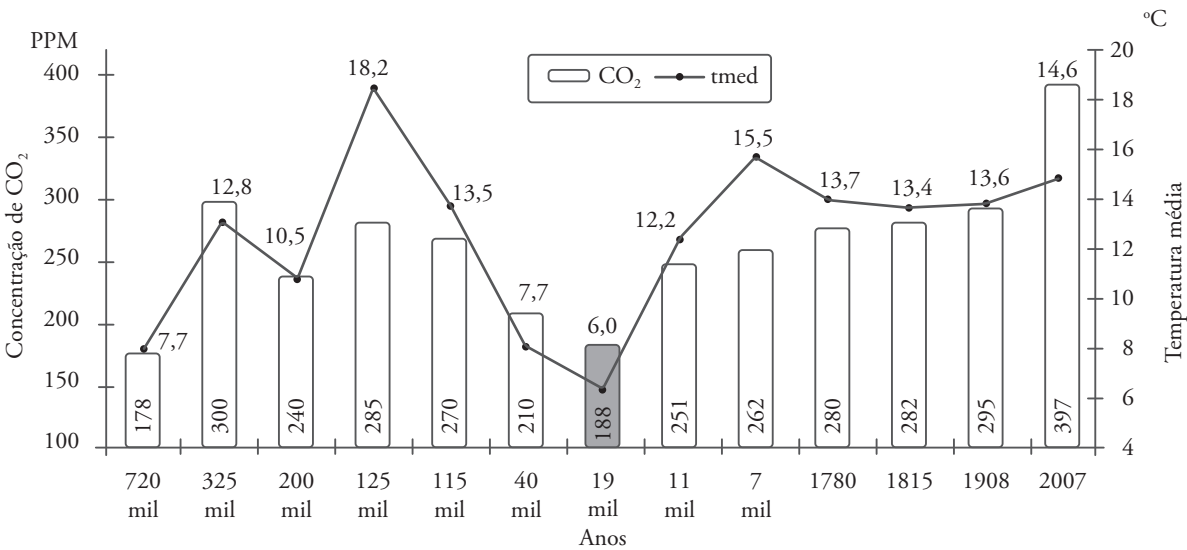
Além de serem fontes de energia muito utilizadas nos tempos atuais, elas são limitadas, ou seja, seu estoque no planeta vai se esgotar em algum tempo, por isso são chamadas de ‘fontes não renováveis de energia’.

Elas se formaram no chamado Período Carbonífero ou Era Paleozoica, quando surgiram as grandes florestas e consequentemente as grandes jazidas de carvão. Árvores que caíam em pântanos eram soterradas sem se decompor, pois havia pouco oxigênio. O soterramento levava ao aumento da temperatura, causando transformações químicas que resultaram no carvão. (CRPM, 2016).

Os cataclismos geológicos dessa época foram responsáveis pelo soterramento de quantidades imensas de biomassa a grandes profundidades. Esta viria a se tornar a fonte dos combustíveis fósseis tanto utilizados hoje e que liberam para a atmosfera uma quantidade imensa de CO<sub>2</sub>.

Na figura 7 notamos a relação de emissão de carbono e o aumento das temperaturas em centenas de anos.

**Figura 7** – Relação de emissão de carbono × aumento da temperatura.



**Fonte** – Almeida, 2016.

Voltando aos tempos atuais, a partir da década de 1980 são observados com maior frequência os chamados Fenômenos Climáticos Extremos, que são eventos como furacões, enchentes, secas, tornados, que podem causar catástrofes sociais e ambientais e demonstram sinais de mudanças no clima do planeta. Apesar de que sempre haverá incertezas sobre um sistema tão complexo como o clima e tão diversificado quanto o ecossistema do nosso planeta, as evidências, no caso o aumento desses fenômenos climáticos extremos, tornam essas incertezas motivos de medo e alerta. (UNFCCC, 2018).

Em 1988 houve em Toronto, no Canadá, a primeira reunião entre governantes e cientistas sobre mudanças climáticas. Após esse evento a Organização das Nações Unidas (ONU) criou um órgão chamado Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), composto por delegações de 130 países do mundo todo com a função de promover avaliações regulares sobre mudanças climáticas. A criação desse órgão se deu pela percepção de que as atividades humanas exercem forte influência sobre o clima global. (IPCC, 2012).

O primeiro relatório do IPCC foi publicado em 1990 e demonstrou a necessidade de criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças do Clima (UNFCCC), formada para os governantes discutirem políticas sobre mudanças climáticas. De acordo com esse relatório, seria preciso a redução em 60% de todas as emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Um segundo relatório foi publicado em 1995, e os estudiosos chegaram à conclusão de que as atividades humanas causam impacto significativo no clima global, criando assim um grande desafio aos grupos defensores da utilização das fontes de energia não renováveis fósseis. A partir de 1995 foram criadas então as Conferências das Partes, que seriam encontros para a discussão de assuntos relacionados às mudanças climáticas globais. (BRASIL, 2012).

Na Conferência das Partes (COP) de 1997, no Japão, foi assinado o Protocolo de Kyoto, primeiro acordo que vinculou o comprometimento dos países responsáveis pelas maiores emissões de gases do efeito estufa em diminuí-las. O objetivo desse Protocolo é estabilizar a concentração de gases do efeito estufa a um nível que impeça a interferência perigosa no sistema climático. O protocolo estabeleceu que os países industrializados deveriam reduzir suas emissões para 5,2% em relação aos níveis de 1990, para o período de 2008-2012. Estabeleceu-se ainda no protocolo de Kyoto três mecanismos de flexibilidade para a redução de emissões: a Implementação Conjunta (*Joint Implementation*), o Comércio de Emissões (*Emissions Trading*) e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (*Clean Development Mechanism* – CDM).

Em contrapartida à teoria do aquecimento global pelo acréscimo dos gases de estufa pelas atividades antrópicas, da existência do efeito estufa e da camada de ozônio, atualmente há algumas vertentes que defendem a inexistência destes fenômenos.

## Camada de ozônio

Quando estudamos os problemas atmosféricos não podemos deixar de citar aqueles relacionados à diminuição da camada de ozônio. Como já vimos, a camada de ozônio encontra-se na estratosfera e exerce a função de proteção da Terra contra a radiação ultravioleta vinda do Sol. Mas sabe-se que alguns gases causam o estreitamento da camada de ozônio.

As principais substâncias que contribuem para a destruição da camada de ozônio são

- cloroflurcarbono (CFC);
- hidroclorofluorcarbono (HCFC);
- brometo de metila (BR);
- óxido de nitrogênio (NO).

O clorofluorcarbono (CFC) é a principal substância destruidora da camada de ozônio. Após liberado na atmosfera e atingir a estratosfera, é desintegrado pela radiação ultravioleta, liberando o radical cloro, que reage com o ozônio formando oxigênio e monóxido de cloro. A molécula de oxigênio é então liberada na atmosfera, enquanto a ligação do monóxido de cloro é quebrada por um átomo de oxigênio, formando nova molécula de oxigênio e liberando o radical cloro, repetindo-se o processo.

Esse gás foi amplamente utilizado entre as décadas de 1980 e 1990 na indústria de produtos e serviços, como na manufatura de espuma, em aerossóis e em bombinhas para asma. Serviu também como esterilizante e fluido refrigerante para geladeiras e aparelhos de ar-condicionado. O CFC é um gás de origem industrial que foi introduzido na atmosfera pelas atividades humanas, não sendo encontrado naturalmente. Por ser capaz de absorver raios infravermelhos e irradiá-los novamente à superfície, contribui para o efeito estufa e por isso seu consumo foi proibido em 2010.

O hidroclorofluorcarbono (HCFC) foi desenvolvido como alternativa de mercado para substituir o uso dos CFCs. Com composição mais branda, apresenta menor potencial de destruição da camada de ozônio e, por isso, seu uso foi ampliado. Ele é usado como fluido para extintores de incêndio, na fabricação de embalagens térmicas, em limpeza de circuitos, entre outros fins. Apesar de ser menos nociva à camada de ozônio, pesquisas recentes demonstraram que a substância contribui para o aquecimento global. Assim, as metas internacionais em discussão preveem a eliminação do uso do HCFC até 2040. Atualmente, alguns segmentos industriais adotam a substituição dos HCFCs pelos HFCs (hidrofluorcarbonos), que não afetam a camada de ozônio, no entanto, também contribuem para o efeito estufa.

O brometo de metila (BR) é um agrotóxico gasoso utilizado como desinfetante de solos para cultivos e exterminador de pragas (insetos, fungos, bactérias e ervas daninhas). O produto é extremamente tóxico e prejudicial à saúde.

O óxido de nitrogênio (NO) é liberado na atmosfera por meio de atividades humanas. É emitido por veículos motorizados, aviões, centrais termoeletricas, fábricas de fertilizantes, de explosivos ou de ácido nítrico, incineradores e provenientes das queimadas.

O conhecimento a respeito da destruição da camada de ozônio mobilizou várias nações. Em 1985, a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio foi assinada por dezenas de países, entre eles o Brasil. Posteriormente, foi estabelecido o Protocolo de Montreal sobre as Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs), ligado à Organização das Nações Unidas (ONU), estabelecendo aos signatários o compromisso para eliminação da produção e do consumo de substâncias destruidoras da camada de ozônio por meio da estipulação de metas entre os 193 países que integram o Protocolo.

Além disso, o Protocolo estabeleceu que os maiores consumidores de substâncias que destroem a camada de ozônio em maior quantidade (países desenvolvidos) deveriam contribuir financeiramente para apoiar os países em desenvolvimento a cumprirem as metas estabelecidas no Protocolo. Para isso foi criado em 1990 o Fundo Multilateral para Implementação do Protocolo de Montreal (FML) (PNUD, 2017), cujo objetivo é prover assistência técnica e financeira aos países em desenvolvimento com recursos provenientes dos países desenvolvidos, por isso é um dos mecanismos que garantem o êxito da implementação desse tratado internacional.

Nesses 30 anos de história, o Brasil tem sido precursor na eliminação das SDOs. Sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e com o apoio das agências implementadoras – PNUD, Agência de Cooperação Alemã (GIZ) e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) –, o país executou projetos para conversão tecnológica nos setores de espumas, refrigeração e ar condicionado, solventes, agricultura, indústria farmacêutica e demais setores da indústria química, além de capacitar mais de 30 mil técnicos do segmento de refrigeração e ar condicionado.

Ao longo dessas três décadas, o país eliminou o consumo de aproximadamente 17 mil toneladas de Potencial de Destruição do Ozônio (PDO) de substâncias prejudiciais para a camada de ozônio, tais como CFC, Halons, CTC e brometo de metila na agricultura. No cenário atual, o principal foco do Protocolo de Montreal é a completa eliminação da produção e do consumo dos hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) em todo o planeta até 2040.

Segundo dados da ONU, os Estados Partes do Protocolo de Montreal já eliminaram aproximadamente 98% de substâncias nocivas para a camada de ozônio, impedindo, assim, que mais de dois milhões de casos de câncer de pele atingissem a população por ano. Os resultados desses 30 anos de existência do Protocolo mostram a importância de seguir avançando com ações para a proteção da camada de ozônio por meio de uma parceria bem-sucedida entre Governo, setor produtivo e sociedade. (PNUD, 2017).

## MDL E CRÉDITO DE CARBONO

Com o estabelecimento de metas para limitação e redução de emissões de gases de efeito estufa por meio do Protocolo de Quioto, originaram-se os chamados mecanismos de flexibilização, que possibilitam a redução das emissões de forma diferenciada.

Os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) são o principal meio de participação dos países em desenvolvimento na questão das mudanças climáticas, sendo considerados ótimos instrumentos de fomento de boas práticas, aprendizado e padrões de produção mais ajustados aos novos paradigmas de sustentabilidade.

De maneira sucinta, o MDL permite a certificação de projetos de redução de emissões nos países em desenvolvimento e a posterior venda das reduções certificadas de emissão, para serem utilizadas pelos países desenvolvidos como modo suplementar para cumprirem suas metas. Esse mecanismo deve

provocar reduções de emissões adicionais às que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima. (JURAS, 2009).

Esse tipo de mecanismo foi estruturado no princípio do ‘poluidor pagador’, que prevê a cobrança de uma taxa para alguma iniciativa de correção daquela poluição. (ARAÚJO, 2007).

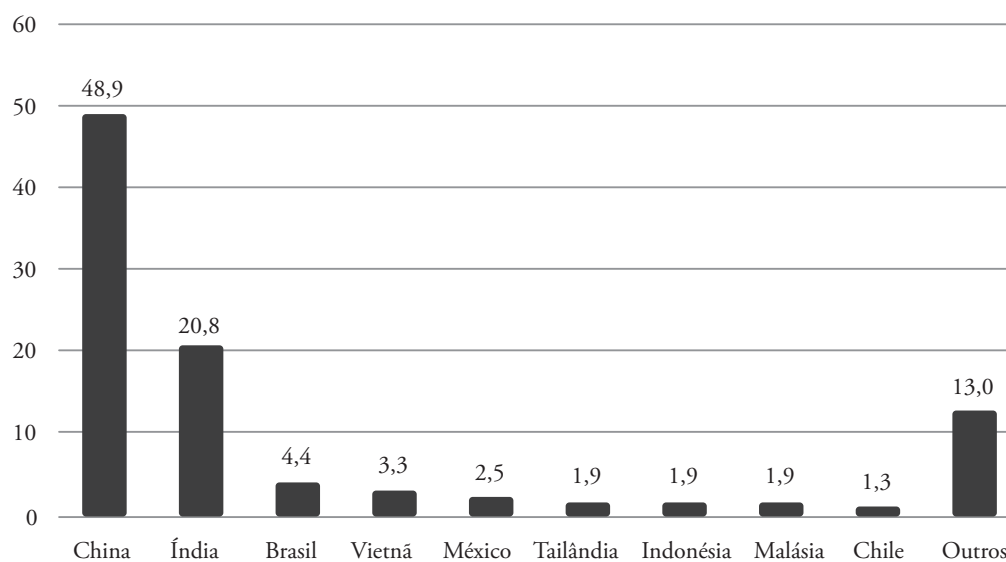
Dentre os diversos segmentos de mercado que poderão se favorecer do comércio dos créditos de carbono, na esfera do MDL, destacam-se

- a) projetos de recuperação de gás de aterro sanitário, de autófonos, biodigestores e de outros gases;
- b) energias limpas (biomassa, hidrelétrica, eólica, solar etc.);
- c) troca de combustíveis (óleo × gás, biomassa etc.);
- d) eficiência energética e eficiência em transporte (logística);
- e) melhorias/tecnologias industriais: cimento, petroquímica, fertilizantes etc.;
- f) projetos florestais (reflorestamento ou florestamento).

Somente após a redução é que a empresa pode negociar o crédito de carbono.

Em 2016, de acordo com relatório do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações do Brasil, a situação mundial dos projetos em âmbito dos MDLs, o Brasil ocupava a 3.<sup>a</sup> colocação (4,4% de todos os projetos registrados) no número de projetos registrados no UNFCCC, conforme podemos observar na Figura 8.

**Figura 8** – Projetos MDL registrados em 2016.



Fonte – Brasil, 2018a.

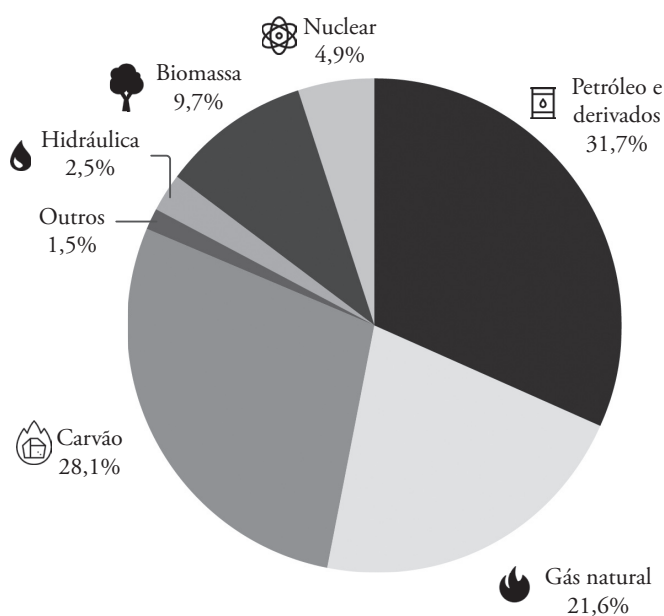
## Carbonização da economia e matriz energética

Como já vimos, um dos principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa na atmosfera é a utilização de combustíveis fósseis, e sabemos que na maioria dos países essa fonte de energia é utilizada em larga escala, apesar de ser não renovável. Porém, essa não é a única fonte de energia disponível no mundo.

No intuito de diminuir emissões e frear o aquecimento global, alguns países estão buscando fontes alternativas de energia, as chamadas ‘renováveis’. Elas são menos poluentes e recebem essa denominação por serem provenientes de recursos capazes de se refazer em curto período de tempo, ao contrário dos não renováveis.

A matriz energética de um país é a quantidade de energia disponível neste para sua utilização. Empresas multinacionais, grandes organizações financeiras, empresas estatais e órgãos reguladores são agentes com grande participação na dinâmica do mercado energético. Os derivados de petróleo integram a maior parte da energia utilizada no mundo, como podemos observar na Figura 9.

**Figura 9** – Matriz energética mundial.



**Fonte** – Adaptado de IEA, 2017.

Por ser a fonte de energia mais utilizada no mundo, o petróleo exerce não apenas um papel econômico, mas também geopolítico. Nesse contexto, os derivados de petróleo trazem consigo, juntamente à riqueza, toda uma série de disputas comerciais, financeiras e diplomáticas, bem como conflitos.

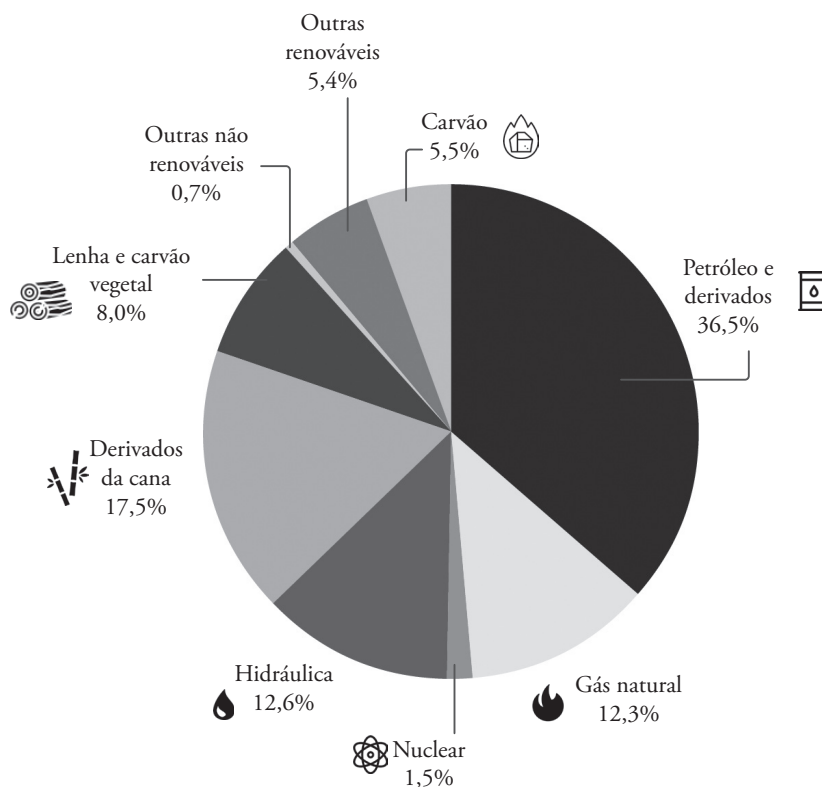
A questão da utilização de derivados de petróleo está ligada ao rápido crescimento da utilização de energia e depende também da quantidade de fontes disponíveis, que nesse caso é abundante. Por ele ser

muito poluente, as únicas alternativas para a não utilização dessas fontes de energia não renováveis seria a restrição de oferta dos derivados de petróleo, e principalmente o uso de fontes alternativas de energia renovável. Assim, por meio da queda na produção de petróleo a disponibilidade de outras fontes de energia será decisiva para a economia global.

Nesse contexto, a bioenergia é uma alternativa viável e promissora para ocupar maior espaço na matriz energética mundial, principalmente para atender o setor de transportes. Mas para que essa tendência funcione é preciso observar características específicas de cada região, avaliando as potencialidades agrícolas e o desempenho energético ambiental de cada cultura.

No Brasil, essa tendência já é uma realidade. A matriz energética brasileira é a mais renovável do mundo, com 41,1% de sua produção proveniente de fontes como lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, conforme Figura 10. (EPE, 2018). Essa atual situação se deu desde 1975, por meio da implementação da política de incentivo ao etanol, que desenvolveu a pesquisa sobre o biocombustível no Brasil.

**Figura 10** – Matriz energética brasileira.



Fonte – EPE, 2018.

Comparados aos combustíveis provenientes do petróleo, os biocombustíveis apresentam características que os colocam como menos poluentes. Analisando alguns fatores, pode-se dizer que a utilização de biocombustíveis não aumentaria o aquecimento da atmosfera. Isso ocorre em virtude

de a biomassa (cana-de-açúcar, soja, mamona etc.) capturar em seu crescimento parte do carbono emitido, caracterizando-se como um sistema fechado de emissão e captura de carbono, ao contrário da utilização dos combustíveis fósseis, que não contempla um ciclo de liberação e captura, sendo que a quantidade liberada não é capturada totalmente, já que são fontes de CO<sub>2</sub> estocadas a milhares de anos no período carbonífero e em quantidades não compatíveis com a quantidade capturada por estes agentes absorvedores.

Porém, sabe-se que as queimadas emitem grandes quantidades de gases do efeito estufa. Desse modo, no caso de ser preciso substituir uma floresta (fonte de absorção de carbono) por uma área de plantio novo para produção de biocombustíveis, as emissões geradas para essa mudança de uso do solo podem acarretar uma restrição da atividade, pois afetarão o equilíbrio quantitativo entre as emissões e capturas de carbono.

## CONVENÇÃO DA ONU SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Essa Convenção foi criada em 1992 no Rio de Janeiro durante a Conferência das Nações Unidas para o Ambiente e Desenvolvimento, com o principal objetivo de reunir os países em um esforço conjunto para estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa em níveis que não impliquem alterações climáticas perigosas.

A Conferência das Partes (COP), por sua vez, é o órgão supremo dessa convenção e tem como um dos objetivos elaborar estratégias globais para proteger o sistema climático para gerações presentes e futuras. Outro objetivo da COP é manter regularmente sob exame a implementação da Convenção e de quaisquer instrumentos jurídicos que a conferência possa adotar, além de tomar as decisões necessárias para promover a efetiva implementação da Convenção. (BRASIL, 2018b).

Com frequência mínima de um ano, os países signatários se reúnem na COP para discussões o progresso de implementações da Convenção.

Essa reunião aconteceu em diferentes países com diversas realizações em prol do clima<sup>1</sup>:

- COP 1 – Berlim, 1995: primeiro encontro, no qual se firmaram oficialmente os primeiros esforços para a redução das emissões dos gases do efeito estufa. Nele foram definidos os primeiros passos para a criação do Protocolo de Quioto.
- COP 2 – Genebra, 1996: teve como documento oficial a Declaração de Genebra e aprovou o resultado do relatório da segunda avaliação do IPCC. Nessa reunião foi recomendado que cada país tivesse liberdade para encontrar soluções relevantes para a própria situação.
- COP 3 – Quioto, 1997: o Protocolo de Quioto foi confirmado nessa conferência após abertas negociações. Pela primeira vez, introduziram-se metas obrigatórias de emissões de gases de efeito de estufa em 37 países industrializados, para o período de 2008 a 2012.

- COP 4 – Buenos Aires, 1998: devido a algumas questões pendentes sobre o Protocolo de Quioto, foi agendado nessa conferência um período de dois anos para esclarecimento e prática de ferramentas que colaborassem para a realização das ações descritas no protocolo.
- COP 5 – Bonn, 1999: nessa edição houve várias discussões técnicas sobre mecanismos do Protocolo de Quioto.
- COP 6 – La Haya, 2000: aconteceu o primeiro fracasso da convenção ao ser apresentada recusa da União Europeia em relação ao compromisso do Protocolo de Quioto. Evidenciaram-se inseguranças sobre as sanções estipuladas aos países que não assumissem o compromisso de redução.
- COP 7 – Marraqueche, 2001: as negociações sobre o Protocolo de Quioto foram praticamente finalizadas.
- COP 8 – Delhi, 2002: houve a tentativa, sem sucesso, de se obter uma declaração recorrendo para mais ações das Partes da Convenção da ONU. (UNFCCC).
- COP 9 – Milão, 2003: foram esclarecidos os últimos detalhes técnicos sobre o Protocolo de Quioto.
- COP 10 – Buenos Aires, 2004: ocorreram discussões sobre detalhes técnicos do Protocolo de Quioto e sobre o que aconteceria caso o Protocolo expirasse em 2012.
- COP 11 – Montreal, 2005: primeira reunião após aprovação do Protocolo de Quioto, com discussões sobre o que aconteceria depois da expiração do Protocolo.
- COP 12 – Nairobi, 2006: as últimas questões técnicas relativas ao Protocolo de Quioto foram realizadas. O trabalho envolvido na obtenção de um novo acordo para o período pós-Quito continuou, e uma série de marcos foram estabelecidos no processo rumo a um novo acordo.
- COP 13 – Bali, 2007: por meio do reconhecimento do recente relatório do IPCC, que demonstrava ser o aquecimento global uma realidade, e com a formulação de um texto comum pedindo ações mais rápidas sobre o assunto, apareceu a necessidade de um novo acordo que substituísse o Protocolo de Quioto.
- COP 14 – Poznan, 2008: deu continuidade ao sentido de trabalhar em um novo acordo climático global em Copenhague. A Conferência foi caracterizada pela antecipação da postura a ser adotada pelo novo governo americano.
- COP 15 – Copenhague, 2009: considerado o mais importante da história recente dentre os acordos multilaterais ambientais, tinha por objetivo estabelecer o tratado que substituiria o Protocolo de Quioto, vigente de 2008 a 2012. Nele foram debatidas questões como o impasse entre países desenvolvidos e em desenvolvimento para se estabelecer metas de redução de emissões e as bases para um esforço global de mitigação e ajuste.

- COP 16 – Cancún, 2010: nele se destaca a criação do Fundo Climático Verde (Green Climate Fund), com o objetivo de ajudar os países em desenvolvimento a reduzirem suas emissões. Além disso, foi nessa edição que o Brasil lançou sua Comunicação Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa e anunciou a regulamentação de sua Política Nacional sobre Mudança do Clima por meio do Decreto n.º 7.390.
- COP 17 – Durban, 2011: foi o fórum multilateral mais amplo (com 195 países) para discutir e adotar medidas contra o aquecimento global. O texto aprovado prevê que todos os países deverão participar de um processo para, futuramente, reduzir o volume de carbono que atiram na atmosfera, inclusive os menos desenvolvidos.
- COP 18 – Doha, 2012: trinta e seis países aderiram ao segundo período de pacto do Protocolo de Kyoto, de janeiro de 2013 a dezembro de 2020. As metas de redução de emissão de gases de efeito estufa do conjunto de países significa uma redução de 18% de emissões de países desenvolvidos em relação às taxas de 1990. Países como Estados Unidos, Canadá, Japão, Rússia e Nova Zelândia não estão participando desse segundo período, enfraquecendo a ferramenta. Iniciou-se discussão para novo acordo, que deve gerar um novo instrumento com força de lei por meio de compromissos entre todos os países, de acordo com suas responsabilidades históricas e com uma distribuição equitativa entre todos. Espera-se, portanto, que países hoje fora do Protocolo de Kyoto e as grandes economias assumam compromissos muito maiores do que os países mais pobres.
- COP 19 – Varsóvia, 2013: trouxe avanços em direção ao acordo global sobre clima em 2015 e outras decisões importantes para a redução de emissões de gases do efeito estufa no desmatamento. No contexto de 2015, as nações concordaram em iniciar ou intensificar a preparação das contribuições nacionais para o acordo, que deverá entrar em vigor em 2020. Os planos prontos foram apresentados no primeiro trimestre de 2015, antes da COP de Paris. Também se chegou ao consenso de que os países intensificarão o trabalho para reduzir a lacuna de emissões até 2020. A conferência também decidiu pela criação de mecanismo que ofereça proteção maior para as populações mais vulneráveis às mudanças climáticas.
- COP 20 – Lima, 2014: o objetivo dessa conferência foi a análise e proposição de diversas ações para conter o aumento da temperatura global e, consequentemente mitigar os impactos da mudança global do clima. Ademais, foram aprovadas 19 decisões que têm, entre outros objetivos: ajudar a operar o Mecanismo Internacional de Varsóvia por Perdas e Danos; estabelecer o programa de trabalho em Lima sobre gênero; adotar a Declaração de Lima sobre Educação e Conscientização.
- COP 21 – Paris, 2015: nela foi adotado um novo acordo com o objetivo central de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima e reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças. O Acordo de Paris foi aprovado pelos 195 Países Parte da UNFCCC para reduzir emissões de GEE no contexto do desenvolvimento

sustentável. O compromisso ocorre no sentido de manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2 °C acima dos níveis pré-industriais e de envia esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais.

- COP 22 – Marrakech, 2016: teve como principal objetivo regulamentar o Acordo de Paris, já em vigor, que instituiu um processo com metas individuais de cada país para a redução de emissões de gases de efeito estufa. O Brasil comprometeu-se a reduzir 37% das emissões até 2025, com indicativo de cortar 43%, até 2030.
- COP 23 – Bonn, 2017: foram aprovados diversos elementos para a construção, ao longo de 2018, do livro de regras que permitirá a implementação efetiva do Acordo de Paris sobre mudanças climáticas. Os principais embates ocorreram em relação ao financiamento para combater o aquecimento global e com os prazos para a redução da emissão dos gases do efeito estufa. Os questionamentos e obstruções partiram, principalmente, dos países industrializados. O presidente dos EUA anunciou a saída de seu país do Acordo Climático de Paris. Os EUA são um dos maiores emissores de gases do efeito estufa do mundo e tal decisão afeta significativamente o acordo. (BRASIL, 2018; UNFCCC, 2018).

## **O QUE PODEMOS FAZER PARA CONTRIBUIR COM A SOLUÇÃO DO PROBLEMA?**

Observando todos os problemas relacionados ao aquecimento global e à poluição da atmosfera, percebemos que a solução ainda está distante, e que se não houver uma conscientização a nível mundial em todas as esferas da sociedade, juntamente a uma ação mais efetiva, poderemos não conseguir reverter os problemas atuais.

Algumas medidas podem ser tomadas singularmente, mas podem fazer muita diferença globalmente. Uma delas é a economia de energia. Para a maioria dos habitantes a oportunidade mais fácil de diminuir as emissões de gases do efeito estufa está dentro de casa. Como exemplo, podemos citar o uso de lâmpadas mais econômicas para reduzir um pouco o consumo de energia, pois além de contribuírem no combate a crise climática, por meio delas se economiza diretamente na conta de luz.

Mais uma alternativa é a redução de emissões de carros e outros meios de transporte. Nesse sentido, a manutenção dos automóveis é a primeira etapa e pode reduzir consideravelmente a emissão de gases poluentes. A utilização de meios de transporte públicos e alternativos também pode ser uma boa medida para alcançar esse objetivo, pois com o inchaço das cidades e o crescimento do número de veículos nas ruas é imprescindível a utilização de meios menos poluentes, com ênfase à utilização do transporte coletivo. Além disso, a escolha cuidadosa de seu veículo, bem como a utilização de combustível alternativo aos derivados de petróleo, são boas opções para contribuir com o clima global. Evitar a utilização de veículos em atividades que podem ser realizadas a pé também contribui para a

diminuição do tráfego urbano, da emissão de gases de efeito estufa e do consumo de combustíveis fósseis, além de servir para cuidar de sua saúde.

Diminuir o consumo é usar menos energia na fabricação e no transporte, pois para cada etapa do processo de produção há emissões de combustíveis fósseis. Dessa forma, consumir menos é gastar menos energia. ‘Reduzir, reutilizar e reciclar’ parece ser o lema para diminuição de emissões em relação ao consumo. A ideia é comprar menos, escolher itens duráveis e não descartáveis, consertar em vez de jogar fora e passar para outra pessoa o que não for utilizado. A moderação do consumo de carne vermelha também é um passo para a melhora da saúde e para se reduzir a emissão de gases do efeito estufa, pois além de evitar o desmatamento em função da criação de áreas de confinamento de gado e pastagens, diminui-se a emissão de metano por parte dos bovinos e durante o transporte e o processo produtivo.

Além de tudo isso, quanto mais pessoas souberem sobre os problemas causados pelas emissões de gases do efeito estufa em nosso clima, maior será o consenso e mais abrangentes serão as contribuições pessoais. Assim, a informação e divulgação poderão ajudar a minimizar esses problemas, tornando nosso clima cada vez melhor.

## BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, H. A. **Climatologia aplicada à geografia**. Campina Grande: Ed. da UEPB, 2016.

ARAÚJO, A. C. P. **Como comercializar os créditos de carbono**. São Paulo: Trevisan Editora Universitária, 2007.

ATLANTE GEOGRÁFICO METÓDICO DE AGOSTINI. Novara: Istituto Geografico De Agostini, 1996.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. [S.l.: s.ed.], 2018a. Disponível em: [http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/mecanismo\\_de\\_desenvolvimento\\_limpo/Mecanismo\\_de\\_Desenvolvimento\\_Limpo.html](http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo/Mecanismo_de_Desenvolvimento_Limpo.html). Acesso em: 15 nov. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conferência das Partes**. [S.l.: s.ed.], 2018b. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/publicacao/terceira-comunicacao-nacional-do-brasil-a-convencao-quadro-das-nacoes-unidas-sobre-mudanca-do-clima-portugues/>. Acesso em: 15 nov. 2019.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Manual de capacitação**: mudança climática e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo. Ed. rev. e atual. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1094&sid=129#carbo>. Acesso em: 15 nov. 2019.

DALL'AGNOL, A. **Como os rios aéreos colaboram com o Brasil agrícola**. Brasília: Embrapa, 2017. Disponível em: <http://radar.cnpso.embrapa.br:8080/documents/10179/16724/Como+os+rios+a%C3%A9reos+colaboram+com+o+Brasil+agr%C3%ADcola/eece2218-1f62-48fa-b47d-0233d907d214;jsessionid=6303A3BE81A0DC821DFC7855B245EF83>. Acesso em: 15 nov. 2019.

DOW, K.; DOWNING, T. E. **O atlas da mudança climática**: o mapeamento completo do maior desafio do planeta. São Paulo: Publifolha, 2007.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz energética e elétrica**. [S.l.: s.ed.], 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: Maio 2018.

FELTRE, R. **Química**. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2004. v. 1.

GORE, A. **Uma verdade inconveniente**: o que devemos saber (e fazer) sobre o aquecimento global. Tradução de Isa Mara Lando. Barueri: Manole, 2006.

IEA – International Energy Agency. **Key world energy statistics**. [S.l.: s.ed.], 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. [S.l.: s.ed.], 2017. Disponível em: [sirene.mcti.gov.br/publicacoes](http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes). Acesso em: 9 abr. 2018.

IPCC – The International Panel on Climate Change. [S.l.: s.ed.], 2012. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 15 nov. 2019.

JURAS, I. A. G. M. **Créditos de carbono**. Estudo maio 2009. Brasília: Câmara dos Deputados, 2009. Disponível em: [https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/areas-da-conle/tema14/2009\\_2265.pdf](https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/areas-da-conle/tema14/2009_2265.pdf). Acesso em: 15 nov. 2019.

LOVELOCK, J. **Gaia, cura para um planeta doente**. São Paulo: Cultrix, 2006.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOOS, G.; MOSS, M. **Os rios voadores, a Amazônia e o clima brasileiro**. Brasília: Projeto Rios Voadores, 2014. Disponível em: <http://riosvoadores.com.br/wp-content/uploads/sites/5/2015/04/Caderno-Professor-Rios-Voadores-2015-INTERNETppp.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia**: relatório de avaliação científica. São Paulo: Articulação Regional Amazônica, 2014. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/futuro-climatico-da-amazonia.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. [S.l.: s.ed.], 2017. Disponível em: <http://www.protocolodemontreal.org.br/site/>. Acesso em: 05/2018.

PUBLICO.PT. Serviços Digitais Multimídia SA. **Efeito de estufa**. [S.l.: s.ed.], 2001. Disponível em: [http://static.publico.pt/fichas/ambiente/efeito\\_estufa.html](http://static.publico.pt/fichas/ambiente/efeito_estufa.html). Acesso em: 15 nov. 2019.

SAGAN, C. **Bilhões e bilhões**: reflexões sobre vida e morte. Tradução de Rosaura Eichemberg. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

SANTOS, V. dos; HAUSSMANN, D. C. S.; BEUREN, I. M. Créditos de carbono: aspectos contábeis e tributários em empresas brasileiras. In: SEMINÁRIO DE CIÊNCIAS CONTÁBEIS DA FURB, Blumenau, **Anais**. [S.l.: s.ed.], 2008. Disponível em: <https://www.furb.br/especiais/download/523573-177959/CUE0062008.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.

TUCCI, C. E. M *et al.* **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

UNFCCC – United Nations Climate Change. Framework Convention on Climate Change. [S.l.: s.ed.], 2018.  
Disponível em: <https://unfccc.int/>. Acesso em: 10 maio 2018.

## NOTAS EXPLICATIVAS

- 1 Os relatórios sobre os principais assuntos discutidos no COP foram divulgados no *site* do United Nations Framework Convention on Climate Changes (UNFCCC): <https://unfccc.int/>.

### *Links*

- <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/abc/index.html>
- <http://enos.cptec.inpe.br/>
- <http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/>
- [vimeo.com/26882644](https://vimeo.com/26882644)
- <http://www.protocolodemontreal.org.br/eficiente/sites/protocolodemontreal.org.br/pt-br/site.php?secao=fotos&pub=38>
- <http://www.youtube.com/user/PMontrealBR>
- <http://www.ipcc.ch/>
- <http://www.mma.gov.br/clima/protecao-da-camada-de-ozonio>
- <http://channel.nationalgeographic.com/one-strange-rock/>