Ensino Médio

**AQUECIMENTO GLOBAL**

**Disciplina(s) / Área(s) do Conhecimento:**

Geografia. Física. Química.

**Competência(s) / Objetivo(s) de Aprendizagem:**

* Conhecer o conceito de efeito estufa;
* Entender como as atividades antrópicas alteraram o ciclo do carbono;
* Compreender as evidências que sustentam o conceito de aquecimento global.

**Conteúdos:**

* Balanço de radiação em superfície;
* Efeito estufa;
* Aquecimento global.

**Palavras**-**Chave:**

* Efeito estufa. Aquecimento Global. Dióxido de carbono.

**Previsão para aplicação:**

3 aulas (50 min./aula).

***Para Organizar o seu Trabalho e Saber Mais:***

* Recomenda-se a leitura prévia do Relatório Síntese do IPCC[[1]](#footnote-1) (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), de 2014, para nivelamento dos principais resultados e evidências das mudanças climáticas. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf>. Acesso em: 14-05-2018.
* Imagem para projeção do espectro eletromagnético: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_eletromagn%C3%A9tico#/media/File:Espectro_EM_pt.svg>. Acesso em: 14-05-2018.
* Síntese das principais evidências do aquecimento global: <https://climate.nasa.gov/evidence/>. Acesso em: 14-05-2018.
* Vídeo para exibição sobre o aumento da concentração do dióxido de carbono: <https://www.youtube.com/watch?time_continue=32&v=gH6fQh9eAQE>. Acesso em: 14-05-2018.
* Meehl, G. A., W. M. Washington, C. M. Ammann, J. M. Arblaster, T. M. L. Wigley, and C. Tebaldi, 2004: Combinations of natural and anthropogenic forcings in twentieth-century climate. *J. Climate*, **17**, 3721–3727, doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<3721:CONAAF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175%2F1520-0442%282004%29017%3C3721%3ACONAAF%3E2.0.CO%3B2).
* Discussão sobre quão bem os modelos climáticos simularam a temperatura no passado: <https://www.yaleclimateconnections.org/2017/10/how-well-have-climate-models-projected-global-warming/>. Acesso em: 14-05-2018.

**Proposta de Trabalho:**

**1ª Etapa:** Início de conversa

O clima está mudando. Conforme o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o aquecimento do sistema climático é inequívoco e a influência do homem é clara. Isso se dá pela emissão de gases que amplificam o chamado efeito estufa, devido à atividades como queima de combustíveis fósseis e ao efeito do desmatamento, por exemplo. Apesar de muito se falar sobre o assunto, com grande repercussão das principais mídias, principalmente sobre a expansão industrial de países como a China e os Estados Unidos, além de abordagens sensacionalistas das consequências de um planeta mais quente, muitas dúvidas persistem sobre causas e projeções. Essa aula tem como objetivo discorrer sobre o efeito estufa, o aumento da emissão dos gases que o causam, como o aquecimento global vem se manifestando nas últimas décadas e as incertezas envolvidas.

**2ª Etapa:** O efeito estufa

Para entender o efeito estufa é preciso, inicialmente, compreender como se dá o balanço de radiação na superfície terrestre. A radiação emitida pelo Sol compreende, principalmente, o espectro eletromagnético do visível e, em menor parte, do ultravioleta e do infra-vermelho próximo, fator que depende essencialmente da temperatura do Sol. Nesse momento, o(a) professor(a) poderá perguntar para a turma: Qual a temperatura na superfície do Sol? Com as respostas obtidas e escritas na lousa, a imagem disponível na seção ‘Para organizar o seu trabalho e Saber Mais’ será projetada, a fim de mostrar o espectro eletromagnético (caso não seja viável projetar, é possível imprimir a imagem para a observação).

Através da análise da imagem, os(as) estudantes irão avaliar as respostas na lousa e manterão as temperaturas que julgarem mais próximas do esperado. A temperatura da superfície solar é de aproximadamente 5800 Kelvin. Qual deve ser, então, a temperatura de um fio de tungstênio (elemento químico de símbolo W) presente nas lâmpadas incandescentes?

Do total de radiação que chega à Terra, cerca de 30% é refletido de volta ao espaço, enquanto que do restante, parte é transmitida até a superfície e outra porção é absorvida pelos aerossóis da atmosfera. Para se manter o equilíbrio, a superfície e a atmosfera irradiam radiação terrestre de volta ao espaço. Ainda com a imagem projetada, o(a) professor(a) irá questionar: Qual o espectro de radiação emitido pela superfície e atmosfera?

Parte da radiação terrestre é absorvida por alguns gases na atmosfera, configurando o efeito estufa, que é fundamental para a manutenção da vida no planeta. Sem o efeito estufa, a temperatura global seria muito mais baixa. Os principais gases que promovem a absorção da radiação terrestre, por isso são chamados de gases estufa, são o vapor d'água, o gás carbônico (CO2), o metano (CH4), o óxido nitroso (N2O) e o ozônio (O3).

**3ª Etapa:** Como a concentração do dióxido de carbono aumentou com os anos?

Os(As) estudantes serão convidados(as) a assistir ao vídeo (link disponível na seção ‘Para organizar o seu trabalho e Saber Mais’) da NOAA[[2]](#footnote-2) (Administração Oceânica e Atmosférica Nacional) sobre o aumento da concentração de CO2 ao longo dos anos e a comparação com estimativas de milhares de anos atrás. Nessa etapa, é importante salientar o significado da unidade ppm que aparece no vídeo. Apesar do aumento ao longo dos anos, o dióxido de carbono é um gás minoritário na atmosfera, quando comparado ao N2 (nitrogênio gasoso atmosférico) e o O2 (oxigênio). A unidade ppm significa: partes por milhão, isso significa que a cada 1g de ar, aproximadamente 400 10-6 g são de carbono, o que representa 400 ppm. Entretanto, segundo os testemunhos de gelo mostrados no vídeo, o atual valor é inédito, considerando os últimos 800 mil anos.

"O que emite CO2?", "Por que, apesar das discussões, alguns países continuam emitindo desenfreadamente CO2?", "Como o CO2 é absorvido no planeta?". A partir de tais questões, o(a) professor(a) deverá levantar em sala uma discussão sobre o ciclo do dióxido de carbono e a importância da energia limpa (geração de energia que não polui a atmosfera).

É necessário esclarecer o papel da indústria na corrida econômica global, liderada pela China, que contribuiu para o aumento do dióxido de carbono ao longo dos anos e, também, da conversão de mata nativa em sistemas agropecuários e das queimadas, que representam as chamadas atividades de mudança do uso do solo. Em contrapartida, o oceano e as florestas são os principais sumidouros de carbono do sistema terrestre.

No contexto de aumento da população mundial e a necessidade de promover segurança alimentar, como aumentar a produtividade agrícola sem aumentar o desmatamento, ou ainda, promovendo reflorestamento? E se uma das consequências das mudanças climáticas é alterar o regime hidrológico regionalmente, algumas regiões áridas podem ficar ainda mais escassas de água e depender exclusivamente de irrigação. Como proceder?

Os(As) estudantes serão convidados(as) a fazer uma pesquisa sobre o assunto, e por meio de painéis, apresentações de slides, ou até mesmo maquetes, mostrarão como alguns países lidam com a problemática exposta, como funcionam alguns projetos pilotos ou mesmo expor ideias/soluções novas. O trabalho pode ser feito em grupo com apresentações de aproximadamente 15 minutos.

**4ª Etapa:** Abordagem e incertezas das mudanças climáticas

Assim como o efeito estufa é, a priori, um fenômeno natural, alguns fatores naturais também modificam o clima. A atividade solar, geralmente associada ao ciclo das manchas solares, é um dos principais responsáveis por modificar o clima, oscilando em um período médio de 11 anos. Na escala de milhares de anos, a modificação na excentricidade da translação da Terra, da inclinação de seu eixo e do efeito de precessão, também modificam o clima, essencialmente modulando a radiação solar incidente. Em contrapartida, a atividade vulcânica é conhecida por reduzir as temperaturas globais, como observado no caso do Pinatubo, em 1991, graças ao dióxido de enxofre emitido na erupção. Seriam esses fenômenos, por si só, capazes de explicar toda variabilidade climática observada ao longo dos anos?

Com o monitoramento climático mais expandido pelo globo e com técnicas de reconstrução de séries climáticas de milhares de anos atrás, como os testemunhos de gelo e anéis de árvores (técnicas que permitiram, por exemplo, a estimativa do dióxido do carbono mostrado no vídeo), foi possível acumular uma série de evidências que, juntas, sustentam a tese do aquecimento global: a temperatura global aumentou, os oceanos aqueceram, os mantos de gelo na Antártica e Groenlândia diminuíram, as geleiras retrocederam, a cobertura de neve no hemisfério Norte diminuiu, o nível dos mares aumentou, a extensão do gelo ártico caiu, os eventos extremos são mais frequentes, o oceano acidificou, a concentração de O2 na atmosfera caiu, entre outras ocorrências (consultar link na seção ‘Para organizar o seu trabalho e Saber Mais’).

A comunidade científica se debruçou extensivamente sobre a causa das mudanças climáticas nas últimas décadas. A criação do IPCC, no início da década de 90, pode ser citada como exemplo para centralizar os esforços da comunidade. A complexidade de se entender a dinâmica entre a variabilidade climática natural e os efeitos causados pelo homem no clima, os chamados fatores antropogênicos, levou ao desenvolvimento dos modelos climáticos. Esses modelos consistem de códigos matemáticos, escritos em linguagem de computação, que descrevem a dinâmica dos fenômenos que modificam o clima (como por exemplo, o El Niño) e o efeito dos gases estufa, chamados de forçantes.

Diante de uma vasta literatura específica, talvez um dos principais resultados encontrados seja o da Figura 1, retirada do trabalho de Meehl *et al.* (2004) (ver referência na seção já mencionada). Através de simulações desempenhadas por um modelo climático, os autores mostraram que as anomalias de temperatura observadas (curva preta) são satisfatoriamente simuladas apenas por forçantes naturais do clima (curva azul), até o início da década de 1960. A partir de então, o aumento na temperatura só consegue ser representado, numericamente, utilizando-se forçantes naturais em conjunto com as antropogênicas. Esse resultado ilustra a tese de que o aumento das concentrações de CO2 e demais gases estufa, que ocorreram com o avanço da industrialização global a partir da década de 1950, contribuíram diretamente para o aumento da temperatura observado nas últimas décadas.

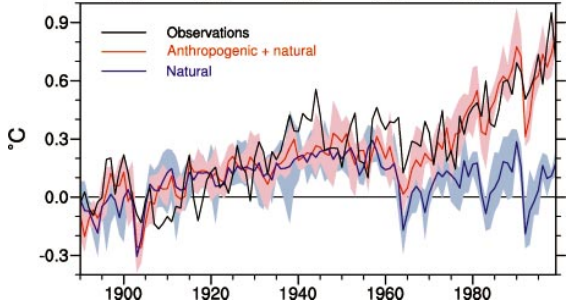


Figura 1: Anomalias da temperatura do ar, em °C, desde o final do século XIX até o começo do século XXI, observadas (curva preta), simuladas apenas por forçantes naturais (curva azul) e simuladas usando forçantes naturais e antropogênicas (curva vermelha). Adaptado de Meehl et al., 2004.

Apesar dos modelos globais representarem com expressiva exatidão o aquecimento observado (tendem a superestimar em torno de 10 a 15% o valor observado, ver link na seção já indicada), as projeções futuras ainda são muito incertas. Não apenas porque a concentração de gases estufa dependem de políticas públicas que são, em parte, imprevisíveis, mas pela grande incerteza decorrente da alta complexidade da dinâmica climática.

Para a temperatura do ar, os diferentes modelos globais tendem a concordar que ela irá aumentar, embora variem na magnitude regionalmente. Quanto à precipitação, outra variável de extremo interesse, as projeções são muito mais dispersas, e alguns modelos apresentam dificuldades de representar o próprio clima presente. Essas incertezas, aliadas à contestação dos métodos de análise e aquisição de dados, com relação ao futuro, geram uma ampla discussão sobre a validade do conceito das mudanças climáticas por parte de alguns, uma vez que, quanto ao passado, as evidências são muito bem aceitas. Mesmo assim, a comunidade científica é amplamente favorável ao conceito, o que é representado pela alta produtividade de artigos científicos que corroboram as hipóteses de aquecimento. Com o avanço da capacidade de processamento dos computadores, os modelos climáticos aumentaram em número e se tornaram mais completos, de forma que a qualidade das projeções do clima devem melhorar ao longo dos anos e as incertezas devem reduzir.

Plano de aula elaborado por Professor Me. Leonardo Moreno Domingues

1. Sigla em inglês. [↑](#footnote-ref-1)
2. Sigla em inglês. [↑](#footnote-ref-2)