

## Projeto EDDIE: MUDANÇA CLIMÁTICA Manual do Instrutor

Este módulo foi inicialmente desenvolvido por O'Reilly, C.M., D.C. Richardson e R.D. Gougis. 15 de março de 2017. Projeto EDDIE: Mudanças Climáticas. Projeto EDDIE Módulo 8, Versão 1. O desenvolvimento do módulo foi apoiado por NSF DEB 1245707.

**Descrição geral:** Os cientistas concordam que o clima está mudando rapidamente e que os humanos são a principal causa dessa rápida mudança, devido ao aumento das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases de efeito estufa para a atmosfera. Neste módulo, os alunos irão explorar como sabemos que o clima está mudando tanto a partir de registros recentes quanto de dados pré-históricos de testemunhos de gelo e se concentrarão em representar graficamente dados temporais para examinar essas mudanças de longo prazo.

### Conexões pedagógicas:

Fase	Funções	Exemplos deste módulo
Engajamento	Introduzir controles de temperatura global. Faça perguntas e permita que os grupos discutam. Aborde os equívocos.	Discussão em pequenos grupos. Palestra introdutória.
Exploração	Envolver os alunos em questionamentos usando dados autênticos.	Representar as médias globais das temperaturas do ar através de gráficos e usar regressão linear para avaliar uma taxa de variação.
Explicação	Empregar informações adicionais para permitir que os alunos desenvolvam raciocínios baseados em evidências.	Examinar mudanças no CO <sub>2</sub> atmosférico. Explorar a relação entre temperatura e concentrações atmosféricas de CO <sub>2</sub> .
Expansão	Ampliar o conhecimento dos alunos considerando mais observações e desenvolver o raciocínio proporcional.	Expandir temporalmente com dados de testemunhos de gelo de Vostok. Comparar as taxas de mudança atuais e pré-históricas e usá-las em um raciocínio baseado em evidências sobre as mudanças climáticas.
Avaliação	Avalie a compreensão dos alunos de forma formativa e sumativa.	Perguntas sugeridas para fazer durante a discussão.

### **Objetivos de aprendizado:**

- Analisar os dados de temperatura global para verificar se as temperaturas globais médias da Terra estão realmente aumentando;
- Analisar os dados de concentração de dióxido de carbono para constatar se os níveis atmosféricos estão realmente aumentando;
- Correlacionar os dados de concentração de dióxido de carbono com a temperatura global para observar se há uma relação;
- Comparar as tendências atuais com as taxas de mudança durante os períodos pré-históricos usando dados de testemunhos de gelo;
- Interpretar o que esses resultados significam para a compreensão das mudanças climáticas atuais;
- Aprender atalhos básicos e gráficos no Excel.

### **Como usar este módulo:**

Este módulo inteiro pode ser concluído em um período de laboratório de 3 horas ou dois períodos de aula de 50 minutos para alunos de nível introdutório ou intermediário. Se os alunos tiverem experiência em gráficos no Excel, é possível concluir as Atividades A e C em um único período de aula de 70 minutos, embora não haja muito tempo para discussão (esta opção exclui fazer a Atividade B, que poderia ser posteriormente atribuída para dever de casa). Uma opção é fazer com que os alunos concluam o máximo possível em um único período de aula, concluam o resto para os deveres de casa e usem o período de aula subsequente para discutir seus resultados.

### **Visão geral rápida das atividades neste módulo**

- Atividade A: Determine as taxas de variação atuais de temperatura do ar e concentração de dióxido de carbono a partir de conjuntos de dados modernos.
- Atividade B: Explore se a temperatura e as concentrações de dióxido de carbono estão relacionadas.
- Atividade C: Compare as taxas atuais com as taxas de variação pré-históricas usando dados de um testemunho de gelo para investigar como o clima mudou no passado.

### **Fluxo de trabalho deste módulo:**

1. Atribua quaisquer leituras pré-classe.
2. Dê aos alunos a apostila quando eles chegarem à aula.
3. O instrutor faz uma breve apresentação em Power Point com material de apoio. A discussão das leituras pode ser integrada nesta apresentação ou feita antes.
4. Os alunos podem então trabalhar nas atividades do módulo.

## Potenciais leituras de pré-classe.

Nenhuma leitura é necessária para este exercício, mas aqui estão algumas que podem ser apropriadas, dependendo do nível do curso e dos objetivos do instrutor.

1. IPCC, 2021. **Physical Science Basis, Summary for Policymakers**, <http://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
2. A. Seidl, 2010. **Early Spring: An ecologist and her children wake to a warming world**, capítulo 1 (Weather), Penguin Random House, ISBN-13 9780807085974.
3. Barnola, J. M., et al., 1987. **Historical carbon dioxide record from the Vostok ice core**. *Nature* 329: 408-414.

## Notas sobre a apostila do aluno:

A apostila do aluno incluída neste pacote do módulo foi projetada predominantemente para um curso básico de ensino de ciências e para ser usada em combinação com a apresentação em Power Point. Recomendamos que o instrutor revise o folheto e a apresentação conforme apropriado para sua própria sala de aula. Por exemplo, integrar informações da apresentação ao texto (como uma revisão de inclinação e linhas de tendência) pode ser necessário se o instrutor não incluir isso em sua aula. Alternativamente, para uma aula mais avançada, algum material pode ser removido do módulo.

Neste módulo, os alunos são convidados a baixar alguns dados diretamente da internet. Em cursos de nível mais introdutório, pode ser mais fácil fornecer arquivos Excel pré-preparados para os alunos usarem. O instrutor também pode optar por fornecer o conjunto de dados de testemunho de gelo de Vostok com as temperaturas já calculadas, em vez de fazer com que os alunos usem as ferramentas de equação do Excel.

Nenhuma instrução sobre como fazer gráficos no Excel está incluída na apostila do aluno, porque as etapas variam dependendo da plataforma operacional e da versão. Recomendamos que os instrutores desenvolvam um folheto separado com instruções gerais para fazer um gráfico no Excel e adicionar linhas de tendência que mostram a equação e o valor do coeficiente de correlação  $R^2$ .

É particularmente útil pedir aos alunos que escrevam suas taxas de variação atuais e pré-históricas no quadro à medida que as calculam. Isso permitirá que eles vejam que diferentes alunos obtêm respostas diferentes, dependendo exatamente de quais dados eles selecionam, mas que o padrão geral se mantém em todos os resultados.

## Apresentação

As notas abaixo aplicam-se aos slides da apresentação do PowerPoint. O objetivo deles é ajudar o instrutor a pensar sobre os conceitos-chave que os alunos precisam

saber. Os instrutores devem alterar esta apresentação para se concentrar no que é mais apropriado para sua sala de aula.

### **Informação preliminares**

Controles da temperatura da Terra: fundamentalmente, essas são as únicas três coisas que influenciam a quantidade de energia que a Terra recebe e armazena. É importante identificá-los, porque essas também são as únicas maneiras de alterar a temperatura da Terra. A maior parte da conversa na sociedade é focada nos gases do efeito estufa, mas existem outros exemplos, ou extremos, na prática em pequena escala, ou geoengenharia proposta que se concentra no nº 1 e no nº 2. Por exemplo, as estações de esqui (e para os Jogos Olímpicos de Inverno de 2012) cobrirem a neve ou partes das geleiras com grandes superfícies brancas reflexivas para aumentar o albedo e armazenar neve. Além disso, há propostas de semear a atmosfera com aerossóis de enxofre para aumentar o albedo atmosférico, da mesma forma que uma grande erupção vulcânica faz, para reduzir a quantidade de energia que chega à superfície da Terra.

#### **1. Quantidade de energia recebida do Sol**

a. Existem múltiplas escalas da Terra movendo-se em torno do Sol, além da rotação diária e das órbitas anuais. Eles são chamados de ciclos de Milankovitch.

b. A forma da órbita da Terra muda entre a órbita circular e elíptica a cada 100 mil anos, devido à interação gravitacional de outras órbitas. A inclinação da Terra em relação ao seu plano de órbita oscila entre 22 e 24,5 graus em um ciclo de 41 mil anos. A precessão descreve se o hemisfério norte está inclinado para longe ou em direção ao sol quando a Terra está em seu ponto mais distante. Os ciclos de Milankovitch são mais conhecidos por sua influência nos ciclos glaciais nos últimos 500 mil anos. Períodos glaciais ocorreram em um ciclo de cerca de 100 mil anos, devido à excentricidade.

c. A quantidade de energia recebida do Sol também varia dependendo de quão ativo ele está. As manchas solares no Sol são pontos brilhantes como resultado da atividade magnética do sol. As manchas solares seguem um ciclo de 11 anos entre máximos ou mínimos. Temos registros muito longos da atividade das manchas solares a partir de observações pessoais (sim, essas pessoas provavelmente ficaram cegas) e temos medições mais modernas de energia que se correlacionam bem com a contagem das manchas solares.

#### **2. Reflexo de energia**

Pense em usar uma camiseta escura versus clara em um dia realmente ensolarado, qual vai ser mais quente? Ou quão rápido o asfalto do estacionamento

esquenta no verão em comparação com as calçadas de cimento. As cores claras representam o reflexo do calor (energia), as cores escuras representam a absorção. Os aerossóis na atmosfera levam ao resfriamento por causa da reflexão da energia antes de atingir a Terra e, após uma grande erupção vulcânica, os aerossóis de sulfato levam a 1-2 anos de temperatura do ar global mais fria do que o normal.

### 3. Composição atmosférica / efeito estufa

A composição atmosférica é a terceira forma pela qual a temperatura da Terra é influenciada. Isso é normalmente descrito como o efeito estufa. Uma boa atividade poderia ser fazer com que os alunos se unissem e desenhassem o efeito estufa, indicando conceitos errôneos que os alunos possam ter. Os alunos pensam que sabem disso, mas quando você os faz desenhar, eles percebem que não entendem muito bem. Após uma breve discussão, vá para o próximo slide. Muitos alunos não identificam que é a radiação de onda longa de retorno (ondas de calor) que está presa. A energia solar atravessa a atmosfera e atinge a Terra. Parte do calor retorna ao espaço através dos gases, mas parte é refletida de volta à Terra. Certos gases são melhores para reter e refletir a energia de volta à Terra. Se a Terra não tivesse a atmosfera que tem, então a temperatura da superfície estaria abaixo de zero e não haveria água líquida (ou seja, vida).

Este é um bom ponto para falar sobre os tempos de latência - o aquecimento segue o aumento dos gases do efeito estufa. Uma analogia é se cobrir com um cobertor - você não se sente quente instantaneamente, mas gradualmente fica mais quente à medida que o cobertor retém o calor.

### Determinando taxas de variação: regressão linear e a equação da linha

Esta seção concentra-se especialmente no material básico necessário para extrair uma taxa de variação do conjunto de dados.

- Para determinar a taxa de mudança, é mais fácil fazer um gráfico com o tempo no eixo x e a variável de interesse no eixo y.

Usaremos o relacionamento linear com 4 componentes. Lembre-se da álgebra introdutória do ensino médio que:

$x$  = variável independente, que é o conjunto de dados de tempo (anos)

$y$  = variável dependente, que neste caso é a temperatura global média ( $^{\circ}\text{C}$ )

$m$  = inclinação da reta que indica a relação entre as duas variáveis. *Quais são suas unidades?* ( $^{\circ}\text{C} / \text{ano}$ )

$b$  = a interceptação da linha com o eixo y.

- Para entender quanto os dados se ajustam à linha (quão boa é a equação de um modelo), usamos uma chamada estatística  $R^2$ . Os valores de  $R^2$  indicam o espalhamento ou a variação dos dados ao redor da linha.  $R^2$  perfeito = 1 significa que a variável independente prediz perfeitamente a variável dependente. Normalmente, biologia e ciências ambientais são complexas, portanto, existem outros fatores que podem contribuir para a variação. O instrutor também pode discutir os valores  $p$  se a classe for avançada o suficiente.

#### Mudanças atuais na temperatura e dióxido de carbono

Esta seção contém algumas informações básicas sobre os conjuntos de dados.

- Temperaturas globais - como são medidas? Ouvimos falar do aquecimento global - o que significa um aumento da temperatura global? Como sabemos a temperatura global?
  - 1) Dados de estações meteorológicas ao redor do mundo são promediados juntos e interpolados onde a cobertura é esparsa, e
  - 2) Sobre os oceanos, há instrumentos em navios para medir temperaturas, bóias e medições de satélite. Todos estes são calculados juntos para criar uma temperatura global.
- Conjunto de dados Manua Loa - conjunto de dados da concentração de dióxido de carbono na atmosfera a partir de 1958. Esse método continua até hoje, assim como seus sensores. Por que o Havaí? Porque nas latitudes dos EUA, o ar flui de oeste para leste. Portanto, o ar sobre o Havaí está em grande parte livre de efeitos humanos locais, integra o ar que ocorre em todo o mundo e é representativo da composição global do ar.
- Pode também ser útil para os alunos observar a correlação entre a temperatura do ar e a concentração de dióxido de carbono (Atividade B). Isso os ajuda a perceber que existem várias maneiras de usar dados para apoiar conclusões. Isso pode ser usado para falar sobre correlação versus causalidade.

#### Taxas de variação pré-históricas usando dados de testemunhos de gelo

Estes slides podem ser usado para descrever os dados de testemunhos de gelo.

- Coloque este registro de dados de longo prazo em contexto histórico e temporal, a última glaciação foi há mais de 10 mil anos e o planeta parecia muito diferente naquele momento.
- Alguns instrutores "enviaram" seus alunos em uma viagem à Antártica para coletar os testemunhos de gelo (e ouvir o concerto do Metallica; o Metallica fez um concerto na Antártica. Por causa dos regulamentos de som, o concerto teve que ser ouvido apenas por fones de ouvido). Os dados então voltam para eles depois que os testemunhos são analisados por seu pesquisador técnico.

- Os EUA têm um centro de pesquisas na Antártica na ponta sul da Ilha Ross, que é uma ilha reivindicada pela Nova Zelândia no estreito de McMurdo. É financiada pela Fundação Nacional de Ciência (National Science Foundation, NSF) e pode receber mais de 1000 residentes. Werner Herzog fez um documentário sobre o continente e as pessoas de McMurdo em 2007, chamado Encontros no Fim do Mundo. A Estação Vostok (Vostok significa leste em russo) fica dentro do território australiano, mas perto do pólo sul geográfico, onde foram registradas as temperaturas mais frias medidas na Terra (-90 °C).
- Os cientistas perfuram o gelo a milhares de metros de profundidade, através de gelo que está totalmente congelado há milhares de anos. Todos esses testemunhos são cuidadosamente coletados e armazenados. Os fundos são limitados para analisá-los, mas qualquer cientista pode obter permissão para usá-los em pesquisas. Você pode subamostrar usando fatias finas cortadas por uma serra. Cada testemunho de gelo representa uma história de gelo naquele ponto. Os primeiros 15 metros são de neve e em contato com a atmosfera. Os próximos ~ 50 m são chamados de firn do suíço-alemão que significa do ano passado ou antes. É a neve que sobrou das temporadas anteriores e se recristalizou em algo mais denso que a neve. Abaixo disso está o gelo e que está isolado da atmosfera, prendendo bolhas que representam a atmosfera quando o gelo estava congelado.
- Os cientistas podem medir coisas diferentes a partir das bolhas de ar, incluindo as concentrações de dióxido de carbono e as razões de isótopos na água. As bolhas de ar são criadas à medida que a neve é gradualmente compactada ao longo do tempo, prendendo o ar. Portanto, o ar na bolha é na verdade mais jovem do que o gelo que o cerca. As razões isotópicas refletirão como a água se move ao longo do ciclo hidrológico (evaporação) e, portanto, pode ser convertida em temperatura.
- Os alunos farão o download dos dados e precisarão convertê-los para o formato Excel. Eles calcularão a temperatura a partir das razões de isótopos (ou o instrutor pode preparar a planilha com antecedência com isso já feito).
- Se você desejar, os alunos podem confirmar se as temperaturas derivadas do testemunho de gelo fazem sentido. Este é um exercício útil se os próprios alunos calculam as temperaturas a partir das razões de isótopos, ou se há alunos que podem pensar que tais cálculos não são confiáveis. Faça com que os alunos analisem as condições climáticas atuais na Antártica e pensem se isso faz sentido. Há uma estação meteorológica em Vostok que pode ser acessada via wunderground e há outras maneiras de ver o clima atual. A época do ano em que você olha para os números atuais também deve ser levada em consideração, porque os números não são

exatamente os mesmos que os valores do testemunho de gelo. Os números estão todos em graus centígrados, mas são valores negativos baixos.

- A orientação para os gráficos de testemunho de gelo é um pouco desafiadora, uma vez que o eixo x não reflete o tempo na mesma direção que os dados modernos. Para ajudar na orientação dos alunos, uma série de perguntas são colocadas na apostila. Determinar se estamos em um período glacial ou interglacial pede aos alunos que procurem padrões de grande escala nos dados, em vez de altos e baixos em pequena escala, pedindo-lhes para generalizar sobre se um período de tempo foi "quente" ou "frio". O último período glacial terminou ~ 15 mil anos atrás e o último período interglacial foi de 145 mil a 115 mil anos. Dependendo do curso, o instrutor também pode pedir aos alunos que identifiquem quando o Homo sapiens evoluiu (200 mil anos atrás) e quando o Homo neanderthalensis foi extinto (cerca de 40 mil anos atrás) para fornecer um contexto adicional.
- Para identificar as taxas de variação mais rápidas, os alunos terão que fazer novos gráficos usando apenas uma parte dos dados. Também é importante que eles considerem suas unidades para se certificarem de que são equivalentes à taxa de variação atual e para entender que uma inclinação negativa ainda é uma taxa de variação e ocorre devido à direção que o tempo desses dados.

### **Conclusão e avaliação**

- *Como sabemos que as atividades humanas* contribuiram para a mudança climática atual? Muitos alunos podem simplesmente supor que os seres humanos são responsáveis pelas mudanças climáticas atuais. Mas eles não têm uma boa (ou nenhuma!) razão ou lógica para isso. Ao fazer essa pergunta, eles são forçados a enfrentar e reconhecer sua falta de compreensão completa da questão da mudança climática. Peça-lhes que discutam isso em pequenos grupos antes de passar para o próximo slide com as respostas. Compreender como usar os resultados dos dados para apoiar sua resposta é um componente-chave deste exercício.
- Fundamentalmente, esses são os três principais argumentos usados para apoiar um componente humano nas mudanças climáticas.
  1. Correlações. Os alunos muitas vezes apresentam respostas que se enquadram nesta categoria, mas eles não usam a palavra "correlação". Esta é uma boa oportunidade para discutir a diferença entre correlação e causalidade. Correlação é uma relação entre duas variáveis A e B - pode haver correlações fracas ou fortes e positivas ou negativas. No entanto, pode ser que A causa B ou B causa A ou A e B sejam causados por uma terceira variável C ou que seja coincidência que A e B estejam correlacionados. Causalidade é um tipo específico de relacionamento na

qual A causa B. Somente quando você tiver evidências ou conhecimento prévio de que esse é o link, você deve fazer uma regressão linear que indica causa e efeito.

2. Taxas de variação. Se os alunos compararam as taxas de variação modernas com as do testemunho de gelo da Vostok, eles geralmente mencionam as taxas de mudança. Do contrário, talvez não tenham entendido totalmente o ponto principal dos dados do testemunho de gelo.

3. Modelos. O IPCC mostra esses números para várias regiões e globalmente no relatório do Grupo de Trabalho 1. Os modelos devem incluir atividades humanas para corresponder ao registro de temperatura observado. Modelos que usam apenas fatores climáticos (irradiância solar, albedo, etc.), mas não incluem a combustão humana de combustíveis fósseis e outras atividades humanas que influenciam a composição atmosférica, não reproduzem as observações de temperatura. Essencialmente, esta é a validação do modelo. Se você quisesse projetar no futuro, que modelo gostaria de usar?

Opcional:

- *Um evento meteorológico extremo dita o clima?* Qualquer evento meteorológico local recente pode ser usado. Faça com que os alunos discutam este cenário de uma tempestade de neve muito fria e grande. Eles devem ser capazes de usar os conceitos que aprenderam no módulo para resolver isso. Se desejar, o instrutor pode conduzir uma discussão mais ampla sobre clima e tempo. Um breve vídeo sobre clima e tempo está disponível aqui <https://www.youtube.com/watch?v=e0vj-0imOLw&feature=youtu.be> “Você escolhe suas férias com base no clima (valores esperados e médios), mas faz as malas com base no clima (condições específicas imediatas e de curto prazo) ”.

Opcional:

- Podemos colocar as mudanças atuais em um contexto ainda mais longo. Este gráfico tem estimativas de temperatura e concentração de dióxido de carbono compiladas de uma variedade de fontes diferentes que vão mais longe no tempo. Pergunte aos alunos onde estão as condições atuais neste gráfico (eles devem saber a temperatura média global do ar e os níveis de CO<sub>2</sub> a partir de seus dados). Este gráfico é útil para enfatizar o fato de que as temperaturas e a concentração de dióxido de carbono eram mais altas no passado da Terra, então não é tanto as magnitudes reais que estamos preocupados, mas as taxas de mudança. Os alunos podem até mesmo estimar taxas de variação não mostradas neste gráfico, se desejarem.