



ALLAN EDSON DE OLIVEIRA MACHADO

**A CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO E
APRENDIZAGEM SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS QUE
PRIORIZA A ARGUMENTAÇÃO**

LAVRAS – MG

2023

ALLAN EDSON DE OLIVEIRA MACHADO

**A CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM SOBRE
MUDANÇAS CLIMÁTICAS QUE PRIORIZA A ARGUMENTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como parte das exigências do Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Lavras, para a obtenção do título de licenciado em Física.

Prof. Dr. Jefferson Adriano Neves

Orientador

Prof. Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel

Coorientador

LAVRAS – MG

2023

**Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos Técnicos
da Biblioteca Universitária da UFLA**

Machado, Allan Edson de Oliveira

A CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO
E APRENDIZAGEM SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
QUE PRIORIZA A ARGUMENTAÇÃO / Allan Edson de
Oliveira Machado, Jefferson Adriano Neves. 1^a ed. – Lavras :
UFLA, 2023.

139 p. : il.

Monografia (Graduação em Física)–Universidade Federal
de Lavras, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Adriano Neves.

Bibliografia.

1. Mudanças Climáticas. 2. Alfabetização Científica. 3.
Práticas Científicas. 4. Práticas Epistêmicas. 5. Argumenta-
ção. 6. Ensino de Física. 7. Pesquisa Baseada em Design. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho jamais teria sido possível sem a colaboração de diversas pessoas que estiveram ao meu lado ao longo desta jornada acadêmica. Durante a construção desta monografia, tive a honra de contar com pessoas excepcionais que tornaram possível transformar ideias em realidade por meio de um esforço coletivo.

Agradeço profundamente ao meu orientador, o professor Dr. Jefferson Adriano Neves pela disponibilidade, paciência, compreensão, conversas e por toda ajuda e empenho na construção deste trabalho. Sua orientação dedicada foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

Agradeço aos meus professores da graduação pelas boas relações e orientações, que me permitiram alcançar este momento. Em especial, agradeço aos professores Antônio Marcelo e Iraziet, por toda a sensibilidade e suporte ao longo do percurso acadêmico.

Agradeço aos meus colegas de curso pelos momentos de diversão, conversas e estudo. Em especial, aos meus amigos Fabrício, Lincoln, Aline, Anderson, Eduardo, Marcelo e Ana Paula, e minha namorada Amanda, por todo apoio, companheirismo e convivência. Obrigado por estarem ao meu lado nos momentos de alegria e também nos momentos de dificuldades.

Agradeço aos meus pais, Maria do Carmo e José Edson, e à minha irmã Allana, por todo suporte emocional e financeiro, além do incentivo aos estudos, que me possibilitaram o privilégio de estar em uma universidade federal.

Por fim, agradeço à Universidade e a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

"Para nós, no entanto, ela (Terra) é diferente. Olhem de novo para o ponto. É ali. É a nossa casa. Somos nós. Nesse ponto, todos aqueles que amamos, que conhecemos, de quem já ouvimos falar, todos os seres humanos que já existiram, vivem ou viveram suas vidas. Toda a nossa mistura de alegria e sofrimento, todas as inúmeras religiões, ideologias e doutrinas econômicas, todos os caçadores e saqueadores, heróis e covardes, criadores e destruidores de civilizações, reis e camponeses, jovens casais apaixonados, pais e mães, todas as crianças, todos os inventores e exploradores, professores, políticos, "superastros", "líderes supremos", todos os santos e pecadores da história de nossa espécie, ali — num grão de poeira suspenso num raio de sol. [...] Para mim, ela (Astronomia) sublinha a responsabilidade de nos relacionarmos mais bondosamente uns com os outros e de preservarmos e amarmos o pálido ponto azul, o único lar que conhecemos."

(Carl Sagan)

RESUMO

No âmbito da crise climática, a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) no final da década de 1980 revelou inequivocamente a conexão entre as atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e a emissão de gases de efeito estufa, e as Mudanças Climáticas Antropogênicas. Apesar do consenso amplamente estabelecido na comunidade científica, grupos negacionistas climáticos persistem, propagando manifestações anti-ciência. Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo detalhar o processo de concepção e planejamento de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) sobre as Mudanças Climáticas, com o propósito de fomentar a argumentação entre os estudantes e estabelecer um ambiente propício para a prática científica e epistêmica. A metodologia adotada para a construção da SEA fundamenta-se na Design-Based Research (DBR), empregando o conceito de Design ampliado para possibilitar uma abordagem iterativa e reflexiva. Esse enfoque permite a avaliação contínua e coletiva do material proposto, por meio da participação de um grupo focal, o Núcleo de Extensão e Estudos em Práticas Científicas e Epistêmicas em Situações de Ensino e Aprendizagem (PraCESE), composto por professores em formação inicial e continuada. Os resultados obtidos ao longo dessa pesquisa, relatados por meio de um Relato de Experiência (RE), têm como foco a avaliação exploratória da SEA, visando a capacitação dos estudantes em relação às Mudanças Climáticas e seu envolvimento ativo e consciente na busca por soluções sustentáveis. Acredita-se que a SEA apresentada tem o potencial de formar estudantes mais informados, críticos e engajados em relação aos desafios climáticos contemporâneos. Ao promover a Alfabetização Científica e estimular a argumentação fundamentada em evidências, a sequência de ensino e aprendizagem busca fortalecer a compreensão científica da crise climática e incentivar a reflexão sobre a urgência de ações sustentáveis.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas; Alfabetização Científica; Práticas Científicas; Práticas Epistêmicas; Argumentação; Ensino de Física; Pesquisa Baseada em Design;

ABSTRACT

In the context of the climate crisis, the creation of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in the late 1980s unequivocally revealed the connection between human activities, such as burning fossil fuels, deforestation, and greenhouse gas emissions, and Anthropogenic Climate Change. Despite the widely established consensus in the scientific community, climate denialist groups persist, propagating anti-science views. In this context, this research aims to detail the conception and planning process of a Teaching and Learning Sequence (TLS) on Climate Change, with the purpose of fostering argumentation among students and establishing an environment conducive to scientific and epistemic practice. The methodology adopted for the construction of the TLS is based on Design-Based Research (DBR), employing the concept of Extended Design to enable an iterative and reflective approach. This approach allows for continuous and collective evaluation of the proposed material, through the participation of a focal group, the Extension and Studies Nucleus on Scientific and Epistemic Practices in Teaching and Learning Situations (PraCESE), composed of teachers in initial and continuing education. The results obtained throughout this research, reported through an Experience Report (ER), focus on the exploratory evaluation of the TLS, aiming at empowering students regarding Climate Change and their active and conscious involvement in the pursuit of sustainable solutions. It is believed that the presented TLS has the potential to form more informed, critical, and engaged students regarding contemporary climate challenges. By promoting Scientific Literacy and encouraging evidence-based argumentation, the teaching and learning sequence seeks to strengthen the scientific understanding of the climate crisis and stimulate reflection on the urgency of sustainable actions.

Keywords: Climate Change; Scientific Literacy; Scientific Practices; Epistemic Practices; Argumentation; Physics Education; Design-Based Research

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Camadas da atmosfera terrestre.	22
Figura 4.2 – Estimativa do balanço energético médio anual e global da Terra.	24
Figura 4.3 – Esquema dos Ciclos de Milankovitch. A letra P representa a precessão; a letra E representa a excentricidade e T a inclinação (obliquidade).	25
Figura 4.4 – Esquema dos efeitos das erupções vulcânicas na atmosfera.	28
Figura 4.5 – Concentração de gases de efeito estufa na atmosfera ao longo dos últimos 2000 anos. Devido às atividades humanas, a partir do século XVIII, houve um aumento acentuado, principalmente de dióxido de carbono e metano.	30
Figura 4.6 – Observação da concentração de CO_2 na atmosfera ao longo dos últimos 800.000 anos.	31
Figura 4.7 – Apenas forças naturais. A curva em preto são os dados obtidos pelas observações. A curva em azul são os dados obtidos pelos modelos. As linhas cinzas na vertical datam o último grande vulcão que entrou em erupção.	33
Figura 4.8 – Forças naturais e antropogênicas. A curva em preto são os dados obtidos por observações. A curva em vermelho são os dados obtidos pelos modelos. As linhas cinzas verticais datam o último grande vulcão que entrou em erupção.	34
Figura 4.9 – Vários indicadores independentes mostram o aumento da temperatura global	36
Figura 4.10 – Evolução temporal das emissões de CO_2	37
Figura 4.11 – Evolução da temperatura média global a partir de meados do século XX	39
Figura 4.12 – Mudanças no nível do mar registradas por satélites desde 1993 até 2020.	41
Figura 4.13 – Contribuições para o aumento do nível do mar (em cm) de 1993-2018. A linha preta representa a mudança no nível global do mar ao longo do tempo. A linha vermelha representa estimativa da contribuição da expansão térmica e a linha azul a estimativa da contribuição dada principalmente por derretimento de glaciares. A linha roxa mostra ambas as contribuições somadas.	42
Figura 4.14 – Variação de massa (em gigatoneladas) na Antártica desde 2002. A lacuna representa um tempo entre as operações.	43
Figura 4.15 – Mudanças totais do gelo terrestre da Antártica e contribuições aproximadas para o nível do mar. As áreas sombreadas representam as incertezas das medidas.	44

Figura 4.16 – Variação de massa de gelo (em gigatoneladas) na Groenlândia desde 2002. A lacuna representa um tempo entre as missões.	45
Figura 4.17 – Extensão do gelo marinho no Ártico. As linhas representam as médias de extensão do gelo marinho em milhões de km ² , ao longo de todas as estações do ano. A linha laranja representa a média entre os anos de 1979-1990; a linha verde de 1991-2000; a linha azul escura de 2001-2010; e a linha azul clara de 2011-2020.	46
Figura 4.18 – Registro de testemunho de gelo de Vostok na Antártica dos últimos 800.000 anos. A linha verde representa a concentração de <i>CO</i> ₂ na atmosfera em ppm. A linha vermelha representa a concentração de <i>CH</i> ₄ na atmosfera. A linha azul representa a variação de temperatura. Os grandes picos de temperatura representam os períodos interglaciais	48
Figura 5.1 – Esquema da metodologia baseada em design	50
Figura 5.2 – Losango didático: relações epistêmicas e pedagógicas.	52
Figura 5.3 – Padrão Argumentativo de Toulmin: dados (D), garantias (W), apoio (B), qualificador (Q), condição de refutação (R), conclusão (C).	55
Figura 1 – Infográfico sobre o efeito estufa.	98
Figura 2 – Infográfico sobre o Permafrost.	124

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 – Argumentos de referência que fundamentaram a construção da SEA . . .	55
Quadro 5.2 – Argumento Padrão utilizado para o planejamento da SEA	59
Quadro 6.1 – Critérios de validação interna da Sequência de Ensino e Aprendizagem utilizados no Núcleo de Estudos e Extensão PraCESE	62
Quadro 7.1 – Primeiros esboços da SEA	65
Quadro 7.2 – Versão inicial do questionário prévio	66
Quadro 7.3 – Versão final do questionário prévio	67
Quadro 7.4 – Primeira atividade sobre argumentação.	69
Quadro 7.5 – Atividade sobre elevação da temperatura na Terra	70
Quadro 7.6 – Alguns dos objetivos específicos para a primeira versão da SEA.	71
Quadro 7.7 – Síntese da primeira versão da SEA.	72
Quadro 7.8 – Estrutura e organização para a SEA.	73
Quadro 7.9 – Atividade sobre o degelo da criosfera.	78
Quadro 7.10 – Alguns objetivos específicos para a segunda versão da SEA.	79
Quadro 7.11 – Síntese da segunda versão da SEA.	80
Quadro 7.12 – Dinâmica para as discussões no PraCESE.	81
Quadro 7.13 – Atividade final da SEA	84
Quadro 7.14 – Síntese da terceira versão da SEA.	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Alfabetização Científicas e as Práticas Científicas e Epistêmicas	13
3	MUITOS CONSENSOS E NENHUMA CONTROVÉRSIA: UM BREVE OLHAR PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	16
3.1	Controvérsias e consensos na comunidade científica	16
3.2	Agnotologia e as “controvérsias fabricadas”	16
3.3	Consenso científico e o aquecimento global antropogênico	18
4	MUDANÇAS CLIMÁTICAS: DEFINIÇÕES CONCEITUAIS	21
4.1	Conceitos básicos	21
4.2	Balanco de energia terrestre	23
4.3	Ciclos de Milankovitch	25
4.4	O efeito albedo e o papel das nuvens	26
4.5	Erupções vulcânicas	27
4.6	Efeito estufa	29
4.7	Perguntas Frequentes	34
4.7.1	Como sabemos que o mundo aqueceu?	35
4.7.2	O nível do mar está subindo?	40
4.7.3	A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?	43
4.7.4	Estamos entrando em uma nova Era do Gelo?	47
5	A CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM	49
5.1	A Pesquisa Baseada em Design e a proposição da Sequência de Ensino e Aprendizagem	49
5.2	Dos Princípios de Design ao Design ampliado da SEA	54
6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	61
7	RELATO DA CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	64
7.1	Primeira versão da Sequência de Ensino e Aprendizagem	64
7.2	Construção da segunda versão da Sequência de Ensino e Aprendizagem	73
7.3	Construção da versão final da Sequência de Ensino e Aprendizagem	81
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87

REFERÊNCIAS	89
APENDICE A – A SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM SO- BRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	92

1 INTRODUÇÃO

As Mudanças Climáticas surgiram como uma preocupação global no final do século XX, levando à criação de conferências, tratados e organizações internacionais — como a Conferência de Estocolmo (1972), ECO-92 no Rio de Janeiro (1992), Protocolo de Quioto (1997), entre outros — que tiveram o objetivo de discutir e propor medidas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, promover o desenvolvimento sustentável e proteger o meio ambiente.

Entre essas iniciativas, destaca-se a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês para Intergovernmental Panel on Climate Change) em 1988, por meio de uma colaboração entre a Organização Meteorológica Mundial (WMO) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). O IPCC desempenha um papel crucial na coleta, compilação e disseminação de informações, evidências e atualizações sobre as mudanças climáticas. Sua estrutura combina aspectos científicos e políticos, alcançando consensos e diretrizes tanto da comunidade científica quanto dos representantes políticos para lidar com os desafios apresentadas por essas mudanças (JACOBI et al., 2011).

O IPCC se estabeleceu como uma estrutura híbrida, isto é, de caráter científico e político, envolvendo, por um lado, os acordos da comunidade científica e, por outro, as vontades e concordâncias políticas em relação ao que fazer frente às circunstâncias apontadas pelo relatório (LEITE, 2015). Foram produzidos diversos relatórios, em especial o de 2007, que categoricamente estabelece que as ações humanas são as responsáveis pelas mudanças climáticas.

Entretanto, as conclusões da comunidade científica nem sempre atendem as expectativas de grupos que, frente a interesses políticos-econômicos, exigem suas verdades e certezas (LEITE, 2015). Grupos que mascaram negacionismo científico, aproveitando-se das controvérsias internas dentro das comunidades científicas (LEITE, 2014; LEITE, 2015; ORESKES, 2018). Avançam na direção contrária às conclusões estabelecidas por pesquisadores(as) do mundo inteiro, levantando dúvidas, ataques pessoais e distorções, de forma proposital, visando desacreditar evidências científicas (LEITE, 2014; LEITE, 2015; ORESKES, 2018).

Apesar do movimento negacionista climático, há muitas evidências que apontam que as ações humanas são determinantes para essas mudanças (JACOBI et al., 2011). Ainda que existam controvérsias que permeiam o tema, tratando-se de uma questão complexa e que nem sempre possui as respostas precisas (JACOBI et al., 2011), elas não são suficientes para negar a existência e os efeitos do fenômeno (ORESQUES, 2018).

Em relação ao contexto educacional, frente a esse cenário, torna-se necessário pensar em possibilidades de aprendizagem para abordar esse tema complexo, cujas conjunturas futuras são preocupantes, como apontam os relatórios do IPCC (JACOBI et al., 2011), buscando criticidade, exercício da cidadania, emancipação, desenvolvimento da organização social e participação coletiva (MARQUES; XAVIER, 2019), fornecendo subsídios para que os e as estudantes sejam ativos no processo de construção do conhecimento científico e possam buscar ações em relação ao tema.

Desa forma, é fundamental considerar a Alfabetização Científica (AC) como objetivo no ensino de ciências, dado que ela possibilita uma visão mais ampla da Ciência, preocupada não somente com os conteúdos, mas também com aspectos do próprio fazer científico (SASSERON, 2018). A AC proporciona uma compreensão abrangente da ciência, englobando não apenas os conteúdos, mas também os aspectos intrínsecos ao processo científico, como os contextos sociais, culturais, históricos e ambientais (SASSERON, 2018).

Nesse contexto, a argumentação desempenha um papel crucial no pensamento e nos procedimentos científicos, sendo fundamental para avaliar e validar o processo de construção do conhecimento (SASSERON, 2018). Dessa forma, espera-se que os estudantes se envolvam em práticas científicas e epistêmicas, como a proposição, avaliação, legitimação e comunicação.

Isto posto, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar o processo de desenvolvimento de uma sequência de ensino e aprendizagem (SEA), que aborde a temática das Mudanças Climáticas, com o intuito de promover argumentação, buscando a construção de práticas científicas e práticas epistêmicas e, conseqüentemente, a Alfabetização Científica.

Com o intuito de verificar a presença das práticas, da argumentação e os indícios de Alfabetização Científica, propomos a avaliação exploratória do material dentro de um grupo focal, denominado Núcleo de Extensão e Estudos em Práticas Científicas e Epistêmicas em Situações de Ensino e Aprendizagem (PraCESE).

Este trabalho é composto por oito capítulos. Primeiramente, apresentamos a fundamentação teórica em que se discute as práticas científicas e epistêmicas, suas relações com a argumentação e como esses aspectos favorecem a Alfabetização Científica. No terceiro capítulo, discutimos o papel da comunidade científica acerca das controvérsias e consensos no meio científico. Ao longo do capítulo quatro, apresentamos os estudos realizados sobre as Mudanças Climáticas que fundamentaram a construção do material. No quinto e sexto capítulo, detalhamos os aspectos metodológicos utilizados para a construção da SEA e para sua avaliação dentro

do grupo focal. No sétimo capítulo, relatamos todo o processo de elaboração da SEA. Por fim, no oitavo capítulo, apresentamos nossas considerações finais, bem como as possibilidades de futuras pesquisas.

A sequência de ensino e aprendizagem, após a avaliação exploratória, está disposta no Apêndice A.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados os estudos que fundamentam a pesquisa, bem como as orientações para a sequência de ensino e aprendizagem. Destacamos a necessidade de que no ensino de ciências os e as estudantes estejam engajados em práticas científicas e epistêmicas, compreendendo o processo de construção do conhecimento científico por meio da comunidade científica. Para além disso, salientamos como o envolvimento com essas práticas pode favorecer a Alfabetização Científica e a argumentação.

2.1 Alfabetização Científicas e as Práticas Científicas e Epistêmicas

Estudos, como Sasseron e Carvalho (2011) e Sasseron (2013, 2015, 2018), indicam a necessidade do ensino não ser meramente voltado para a aquisição de conceitos (SASSERON; CARVALHO, 2011; SASSERON et al., 2013), sendo fundamental oferecer condições aos estudantes de ampliarem sua visão da Ciência e de sua natureza, possibilitando compreendê-la como uma construção humana, pautada por elementos sociais, culturais, históricos e políticos (SASSERON, 2015; SASSERON, 2018).

Compreender o espaço escolar como um ambiente sociocultural nos permite refletir sobre as diversas interações, relações e diálogos entre os sujeitos ali presentes, verificando suas influências na construção do conhecimento científico escolar (SASSERON, 2018; SILVA, 2015). Ao longo dessa construção, é importante estabelecer condições que permitam aos estudantes não apenas se apropriar de conceitos científicos, mas também de se engajar em práticas científicas e práticas epistêmicas (SASSERON, 2018).

No ensino de Ciências, as práticas científicas estão diretamente relacionadas a processos desempenhados durante a investigação, como por exemplo, à coleta, organização e comparação de informações; o levantamento de hipóteses; a construção de explicações; e a elaboração de justificativas (SASSERON, 2018). As práticas epistêmicas, por sua vez, envolvem a proposição, comunicação, avaliação e legitimação do conhecimento científico (SASSERON, 2018; KELLY; LICONA, 2018). Promover situações em que os estudantes estejam envolvidos em ambas as práticas, pode aproximá-los do fazer científico, bem como permiti-los se apropriarem da linguagem científica (OLIVEIRA et al., 2013; SASSERON, 2018).

Esses aspectos estão diretamente relacionados à Alfabetização Científica, processo que possibilita aos alunos e alunas discutirem temas científicos, permitindo-os perceber as relações

destes com a sociedade, tecnologia e ambiente, e identificar como essas relações estão presentes e influenciam suas vidas (SASSERON et al., 2013; SASSERON, 2015). Alfabetizar cientificamente os estudantes pode auxiliá-los, a partir de processos investigativos, a tomar decisões e/ou posicionamento em situações do cotidiano ou em questões sócio-científicas (SASSERON, 2015).

A argumentação está diretamente atrelada às práticas científicas e epistêmicas. Portanto, considerá-la no ensino de Ciências também pode favorecer a Alfabetização Científica (SASSERON et al., 2013; SASSERON, 2018). Enquanto prática, torna-se fundamental reconhecermos que a argumentação sustenta a construção do conhecimento científico, visto que em comunidades científicas, a proposição de enunciados, hipóteses e teorias, bem como suas conclusões, não são respaldadas por opiniões, pelo contrário, devem estar apoiadas em evidências e garantias (SASSERON, 2018; SASSERON; CARVALHO, 2011). Parte do processo de aprendizagem das ciências envolve a capacidade de construir e avaliar explicações fundamentadas em evidências (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; BROCOS, 2015).

Se por um lado a argumentação fundamenta a construção das ciências, por outro, é desejável que possa pautar o desenvolvimento de temas científicos em sala de aula (SASSERON, 2018). Nesse sentido, é crucial buscar estratégias que estimulem o surgimento da argumentação em sala de aula. Sasseron (2013) destaca que, para tal, se faz necessário propor atividades investigativas que busquem solucionar ou minimizar problemas pré-estabelecidos. Durante o desenvolvimento destas atividades, é fundamental que o professor promova situações em que os estudantes se envolvam em interações discursivas, possibilitando que surjam processos argumentativos (SASSERON et al., 2013).

A avaliação de proposições e explicações com base em evidências é uma prática essencial para a construção do conhecimento científico (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; CRUJEIRAS, 2017). A argumentação é um instrumento que permite essa avaliação do conhecimento (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2010), estabelecendo uma conexão entre as evidências disponíveis e a afirmação feita (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; CRUJEIRAS, 2017). A argumentação pode ser tanto um processo individual quanto uma construção coletiva, como é comumente desenvolvida no ensino de Ciências (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; BROCOS, 2015).

De acordo com Toulmin (2006) e Jiménez-Aleixandre e Brocos (2015), um argumento requer a presença de dados (evidências)¹ e/ou justificativas que sustentem a afirmação feita.

¹ Não fazemos distinção entre os termos dados e evidências, e nem de garantias e justificativas, tratamos como sinônimos. Utilizamos termos tanto do trabalho de Toulmin (2006) quanto da Jiménez-

Uma simples conclusão ou alegação não constitui um argumento válido. Nesse contexto, os dados ou provas podem ser tanto de natureza empírica quanto teórica, e são utilizados para determinar a veracidade ou falsidade de uma afirmação (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2010). No entanto, em algumas situações, os dados podem não ser suficientes para sustentar a conclusão proposta, sendo necessário o uso de justificativas, conforme Jiménez-Aleixandre (2010), ou garantias, segundo Toulmin (2006), para evidenciar a relação entre os dados e a conclusão. Toulmin (2006) destaca que:

Nesse ponto, portanto, precisa-se de afirmações gerais, hipotéticas, que sirvam como pontes, e autorizem o tipo de passo com o qual nos comprometemos em cada um dos nossos argumentos específicos. [...] Chamarei as proposições desse tipo de garantias (W), para distingui-las, por um lado, das conclusões, e, por outro, dos dados (TOULMIN, 2006, p. 141).

Nas aulas de Ciências que envolvem argumentação, é importante que os estudantes aprendam a distinguir evidências de justificativas, a fim de elaborar e avaliar explicações de maneira mais organizada e com maior qualidade (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2010; SASSE-
RON; CARVALHO, 2011).

Isto posto, uma abordagem promissora para fomentar a argumentação e engajar os estudantes em uma comunidade de práticas, por meio de interações discursivas, é o desenvolvimento de atividades que envolvam questões sociocientíficas, como é o caso das Mudanças Climáticas. Esse tema desperta interesse em nível global e apresenta uma complexidade que abrange diversas disciplinas científicas, tais como Física, Química e Biologia. Ao abordar essa temática, é possível explorar e analisar dados científicos, investigar as causas e consequências das Mudanças Climáticas e envolver os estudantes em situações que requerem o embasamento de dados, explicação de argumentos e refutação de ideias contrárias.

Aleixandre (2010). Tratamos dados e evidências como informações, de qualquer natureza, que corroboram com a declaração de conhecimento. Enquanto que para as garantias e justificativas, queremos evidenciar um elemento que sustente essas evidências, relacionando-a à declaração feita.

3 MUITOS CONSENSOS E NENHUMA CONTROVÉRSIA: UM BREVE OLHAR PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Este capítulo é dividido em três seções em que discutiremos o papel da comunidade científica para o estabelecimento do conhecimento científico, buscando o entendimento de como se estabelece controvérsias e consensos. Ao mesmo tempo, visamos enfatizar que o tema das Mudanças Climáticas é determinado como consenso dentro da comunidade científica, de modo que as controvérsias em relação ao assunto são ações e movimentos negacionistas que buscam, propositalmente, deslegitimar os trabalhos e pesquisas científicas.

3.1 Controvérsias e consensos na comunidade científica

Controvérsia é normalmente definida como uma discussão e/ou divergência acerca de um assunto sobre a qual várias pessoas divergem ¹. No meio científico, haver controvérsias e incertezas é completamente possível e esperado. Entretanto, na ciência, a comunidade científica tem um papel muito importante para decidir se determinado tema é uma controvérsia ou um consenso (JUNGES; MASSONI, 2018).

Simple disputas ou desacordos entre cientistas não são suficientes para constituir uma controvérsia científica. Elas só serão consideradas controvérsias quando as discordâncias forem uma disputa pública persistente e forem de conhecimento da comunidade científica em geral (JUNGES; MASSONI, 2018). Ou seja, quando a comunidade científica reconhece méritos nos argumentos de ambos os lados em disputa. Como a própria definição de controvérsia mostra, ela é essencialmente comunitária (JUNGES; MASSONI, 2018).

Nesse sentido, acerca das Mudanças Climáticas, há controvérsias? Certamente. Porém, precisamos entender que tipo de controvérsias são essas e quais são seus desdobramentos.

3.2 Agnotologia e as “controvérsias fabricadas”

No livro *Merchants Of Doubt*, de Naomi Oreskes e Eric Conway (2010), apresenta-se como a política e determinadas indústrias permearam os estudos científicos sobre as implicações do tabaco na saúde pública e sobre as mudanças climáticas. Na primeira parte da obra, os autores apresentam o caso do cientista do clima, Benjamin Santer, que sofreu ataques e acusa-

¹ Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/controversia/>>. Acesso em: 02 jun. 2021.

ções após, em 1995, o lançamento do segundo relatório do IPCC. Santer foi o responsável por fechar o oitavo capítulo do relatório que ressaltava a importância humana em relação ao aquecimento global. O físico Frederick Seitz, ex-presidente da National Academy of Sciences, atacou Santer através de jornais e veículos empresariais, acusando-o de modificar arbitrariamente o texto final do relatório para destacar a influência humana (LEITE, 2014).

Em 1998, foi publicado no meio científico, por Michael Mann, Raymond Bradley e Malcolm Hughes, um gráfico que reconstruiu a evolução da temperatura no hemisfério Norte a partir do ano 1000 em diante. O gráfico ficou conhecido pelo nome “taco de hóquei”, visto que a temperatura se manteve estável até início do século XX e, a partir de 1950, teve um súbito aumento, formando um desenho parecido com o objeto (LEITE, 2014). Como no caso de Santer, os cientistas foram acusados de ciência fraudulenta por físicos do Instituto Marshall e membros do governo e congresso norte-americano, desencadeando até investigações contra eles (LEITE, 2015).

A polêmica do “climategate” surgiu no final de 2009, após o servidor do Climate Research Unity (CRU), da University of East Anglia, na Inglaterra, ser hackeado e diversos e-mails serem difundidos por vários cantos da internet. Os críticos alegaram que os e-mails provavam que o aquecimento global era uma conspiração científica e que os cientistas manipulavam os dados. Várias comissões de investigação apuraram o caso, mas não encontraram sinais de má conduta científica (LEITE, 2015).

O que esses casos têm em comum? Todos são resultados de intervenções políticas e sociais, cujo objetivo é confundir a compreensão da população sobre determinados temas, lançando dúvidas sobre pesquisas científicas que estabelecem a conexão entre as ações humanas e o aumento da temperatura global (LEITE, 2014). O mesmo ocorreu com o tabaco e suas implicações na saúde pública, como mostrou Oreskes e Conway (2010), em que cientistas (os “mercadores da dúvida”, daí o nome do livro) foram empregados por empresas para levantarem suspeitas sobre a relação entre fumar e problemas de saúde, sendo essa estratégia denominada “estratégia do tabaco” (LEITE, 2014). Ou seja, a estratégia era “manter a controvérsia viva” para que essas indústrias escapassem de ter que adotar medidas restritivas ao fumo e outros processos que poderiam ferir seus interesses (LEITE, 2015).

Isso posto, os três eventos destacados tratam-se de ataques políticos e pessoais aos climatologistas, e não de controvérsias científicas. Todos com o objetivo de “manter a controvérsia viva” para evitar que indústrias, empresas e lobbies tivessem restrições em suas atividades

frente ao aquecimento global, que era cada vez mais evidenciado pelo IPCC e outros institutos (LEITE, 2014). Também, como no caso de Frederick Seitz, esses acadêmicos, não produzem nenhuma nova pesquisa ou evidência, mas atacam pessoalmente pesquisadores através de veículos de massa (ORESQUES, 2018). Ou seja, não atacam as ideias com ideias e muito menos nos corredores da ciência.

Para compreender melhor essa indução de dúvidas por parte de alguns setores da sociedade, Robert Proctor, historiador da ciência da Universidade de Stanford, criou o termo Agnotologia (do grego agnosis — não conhecimento), que visa, justamente, estudar a negação da ciência que tem como objetivo promover, conscientemente, a indução de dúvida e/ou ignorância (LEITE, 2014).

Como exposto anteriormente, para ser uma controvérsia científica, a comunidade científica precisa estar presente e ela delimitará se um determinado assunto é uma controvérsia ou um consenso científico. Os casos descritos não passaram por comunidades científicas, pelo contrário, aconteceram nos campos político e econômico. Por isso, se tratam de “controvérsias fabricadas”, visto que empresas, indústrias e lobbies aproveitaram das autoridades passadas de alguns cientistas e financiaram pesquisas que vão contra os resultados científicos disponíveis, em sua grande parte sistematizados pelo IPCC. “Manter a controvérsia viva” tem sido uma forma muito mais de negação da ciência do que um debate científico, remetendo-se à agnotologia (LEITE, 2014).

Para Ceccarelli (2011 apud Junges e Massoni (2018)) uma controvérsia científica é “fabricada” quando alguém alega que há um debate científico em questões que na verdade possuem um consenso científico muito claro.

Dessa maneira, se não há controvérsia científica, então a comunidade científica está de acordo que as ações humanas têm grande influência no clima? Há consenso científico acerca das mudanças climáticas antropogênicas?

3.3 Consenso científico e o aquecimento global antropogênico

O consenso científico é a posição mais aceita em relação a um determinado assunto dentro da comunidade científica. Ou seja, dentro dos meios científicos, alguma ideia ou hipótese que for muito bem aceita, explicada e corroborada por diversas pesquisas, sendo a melhor explicação para um determinado assunto até à luz de novas evidências, será considerada consenso.

Para isso, a todo momento, artigos publicados em periódicos científicos são revistos, reproduzidos e criticados por outros autores, geralmente da mesma área, para contribuir com a qualidade e credibilidade do trabalho — a chamada revisão por pares. Além disso, há discussões em centros de conferências, em departamentos das universidades e em outros institutos de pesquisa (ORESQUES, 2018).

Isso posto, Oreskes (2018), através do banco de dados da Web Of Science², analisou 928 resumos de artigos publicados em revistas científicas durante o período de 1993 a 2003, usando a palavra chave “global climate change” (mudança climática global). Os artigos foram divididos em categorias, sendo elas: (1) aqueles artigos que claramente aprovam a posição de consenso; (2) aqueles que claramente refutam a posição de consenso; (3) aqueles que discutem métodos e técnicas para medir, monitorar e prever mudanças climáticas; (4) aqueles que discutem o potencial ou documentam os reais impactos das mudanças climáticas; (5) aqueles que lidam com mudanças no paleoclima; e (6) aqueles que propõem estratégias de mitigação.

A maior parte dos artigos analisados entrou na categoria (4) que discute os impactos, passando dos quinhentos artigos; em seguida, os artigos que mais apareceram foram os que aprovam a posição de consenso (1) e os relacionados à métodos e técnicas (3); os que tratam de paleoclima (5) e mitigação (6) aparecem menos, abaixo dos 100 artigos. Porém, quando observado quantos artigos entraram na categoria (2), que refuta explicitamente a posição de consenso, o que temos é uma resposta clara da comunidade científica em relação ao peso, pelo menos em parte, das ações humanas no clima: nenhum artigo nesta categoria. Dessa forma, a mudança climática antropogênica, não é mais um assunto de debate na ciência (ORESQUES, 2018).

Além disso, os cientistas procuram consiliência de evidência. Proposto pelo filósofo inglês William Whewell, consiliência de evidência é um processo em que dados e evidências, independentes, convergem para um ponto em comum (ORESQUES, 2018). Quanto às mudanças climáticas, há consiliência de evidência, os dados são corroborados por registros de termômetros e outros instrumentos, por análises dos testemunhos de gelo (paleoclimatologia), análise dos recifes de corais, entre outros; e todos apontam para o mesmo ponto: o mundo está esquentando, principalmente a partir do final do século XX (ORESQUES, 2018).

Então se há consenso, todo mundo concorda e o assunto está resolvido? Não. Ainda há uma pequena porção de pessoas que divergem no assunto, porém, simplesmente haver pessoas

² Web of Science é um banco de dados de publicações científicas. Disponível em: <<https://clarivate.com/webofsciencelgroup/solutions/web-of-science/>>. Acesso em: 11 jun. 2021.

que discordam, não é o suficiente para derrubar a posição de consenso. E esses divergentes têm uma presença demasiada pequena na comunidade científica (ORESQUES, 2018). Além disso, mesmo que exista consenso sobre a realidade das mudanças climáticas, isso não nos diz o que fazer em relação a esse fenômeno (ORESQUES, 2018).

O paleontólogo estadunidense George Gaylord Simpson, no início do século XX, introduziu os conceitos de “tempo e modo” para descrever o quão rápido e de que maneira a evolução ocorria (ORESQUES, 2018). Acerca das mudanças climáticas temos uma situação parecida: os cientistas concordam que há mudanças climáticas antropogênicas, mas ainda temos incertezas relacionadas a tempo e modo (ORESQUES, 2018).

Nesse sentido, há mudanças climáticas causadas por ações humanas? O que devemos fazer a respeito? Que políticas públicas devem ser tomadas? Qual a velocidade dessas mudanças, e quais são suas consequências? Todas são importantes perguntas, mas bastante distintas e remetem-se a diferentes controvérsias (JUNGES; MASSONI, 2018).

Para Kitcher (2010), existem três tipos de controvérsias relacionadas às mudanças climáticas: primeiro em relação à causa; segundo em relação à velocidade e às consequências (tempo e modo); e terceiro em relação ao que fazer para mitigá-la.

A primeira questão já possui consenso científico e as controvérsias que a permeiam, como foi visto anteriormente, são as “controvérsias fabricadas”, que permanecem muito mais na esfera política do que científica. A segunda possui algumas incertezas, mas são naturais dentro do escopo científico, visto que é difícil estabelecer previsões precisas a longo prazo. Já a terceira, vai além de questões puramente científicas, ela está fortemente ligada às questões políticas, econômicas, sociais e até éticas, necessitando de um debate que inclua toda a sociedade (JUNGES; MASSONI, 2018).

É a respeito desse terceiro tópico que a estrutura híbrida do IPCC se manifesta e onde há controvérsias, dado que diferentes nações irão sofrer e lidar de maneiras distintas com as consequências das mudanças climáticas.

4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS: DEFINIÇÕES CONCEITUAIS

Neste capítulo serão apresentados os estudos realizados sobre o tema das Mudanças Climáticas, que subsidiaram a construção da sequência de ensino e aprendizagem. Os conteúdos e conceitos presentes neste capítulos são dedicados principalmente aos professores e professoras que se interessarem pelo trabalho, fornecendo uma base para o estudo do tema.

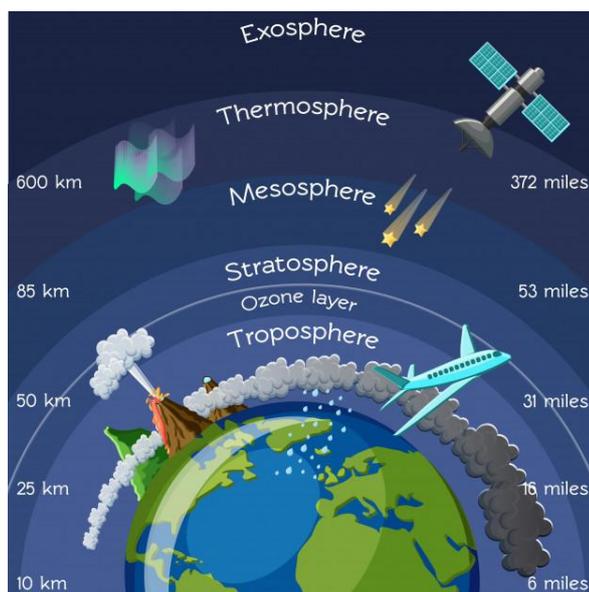
Vale ressaltar que as discussões expostas nas Subseção 4.7.1 e Subseção 4.7.3, foram utilizadas, na íntegra, em atividades na sequência de ensino e aprendizagem.

4.1 Conceitos básicos

Com o intuito de facilitar o entendimento do tema, serão definidos e elucidados alguns termos fundamentais. Primeiramente, é importante distinguirmos as palavras tempo e clima. O primeiro refere-se às condições meteorológicas que experimentamos diariamente, enquanto o segundo, representa a média do tempo ao longo de vários anos. Embora seja desafiador prever com precisão se amanhã fará sol ou se choverá, é possível compreender como o clima se comportará, em média, ao longo do tempo (IPCC, 2007).

Além disso, é essencial compreender o conceito de atmosfera, que é um termo recorrente neste trabalho. A atmosfera consiste em uma camada de gases que envolve a Terra e é mantida no lugar devido à ação da gravidade. Ela desempenha um papel fundamental na manutenção da vida no planeta, pois, além de regular a temperatura da Terra, também nos protege dos raios ultravioleta (UV) prejudiciais. A atmosfera terrestre pode ser dividida, em linhas gerais, em cinco camadas, conforme ilustrado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Camadas da atmosfera terrestre.



Fonte: Disponível

em:<https://br.freepik.com/vetores-premium/camadas-de-infografico-de-atmosfera_3048389.htm>.

Acesso em: 08 abr. 2021.

A primeira camada é a troposfera (tropos significa mudança), que é a mais próxima da superfície, possui cerca de 8 a 14 km de espessura, e é onde se encontram as nuvens e a maior parte dos gases de toda a atmosfera. Depois está a estratosfera, que está logo acima da troposfera, possui cerca de 35 km de espessura e é onde se encontra a camada de ozônio, que nos protege dos raios UV. Logo acima, está a mesosfera (meso significa meio), que possui cerca de 35 km de espessura, e é onde acontecem as queimas de meteoros. Em seguida, está a termosfera (termo significa calor), uma camada com cerca de 513 km de espessura, que é onde orbita a Estação Espacial Internacional e outros satélites. Por último, está a exosfera (exo significa exterior), que é a camada de maior espessura, cerca de 10.000 km, e mais externa da atmosfera, nos separando do espaço¹.

Estabelecidos esses conceitos, podemos adentrar no âmbito das Mudanças Climáticas. Portanto, em seguida, será explicado o balanço de energia terrestre.

¹ As informações sobre cada camada estão disponíveis em: <<https://spaceplace.nasa.gov/atmosphere/en/>>. Acesso em: 06, abr. 2021.

4.2 Balanço de energia terrestre

As interações de vários aspectos do clima, que envolvem a atmosfera, hidrosfera², criosfera³, litosfera⁴ e biosfera⁵, é chamado de sistema climático. Esse sistema sofre mudanças a partir de influências das suas próprias dinâmicas e dos forçamentos externos. Forçamentos externos são agentes que interferem no sistema climático, mas que não fazem parte deste sistema. Tanto fatores naturais como erupções vulcânicas e variações solares, quanto atividades antropogênicas são forçamentos externos (IPCC, 2013).

Um elemento muito importante no sistema climático, é a quantidade de energia que o planeta recebe do Sol. A cada segundo, cada metro quadrado tanto da superfície quanto da atmosfera terrestre, recebem, aproximadamente, 342 w/m^2 ⁶ de radiação solar. Uma parte disso é refletida diretamente de volta para o espaço pelas nuvens, aerossóis e outros gases; outra porção é refletida pela superfície, especialmente pelos desertos e regiões cobertas de gelo e neve (criosfera). Aproximadamente 240 w/m^2 são absorvidos pela superfície e pela atmosfera. Para termos a mesma quantidade de energia saindo do planeta, a Terra deve reemitir esses 240 w/m^2 de volta para o espaço. Entretanto, se dependesse apenas desse mecanismo, a energia retida na superfície terrestre seria mínima, de modo que a temperatura ficaria, aproximadamente, -19°C , inviabilizando a maior parte da vida (IPCC, 2007).

Na Figura 4.2, podemos visualizar melhor todo o processo do balanço energético médio do planeta.

² Compreende todas as categorias de águas do planeta Terra.

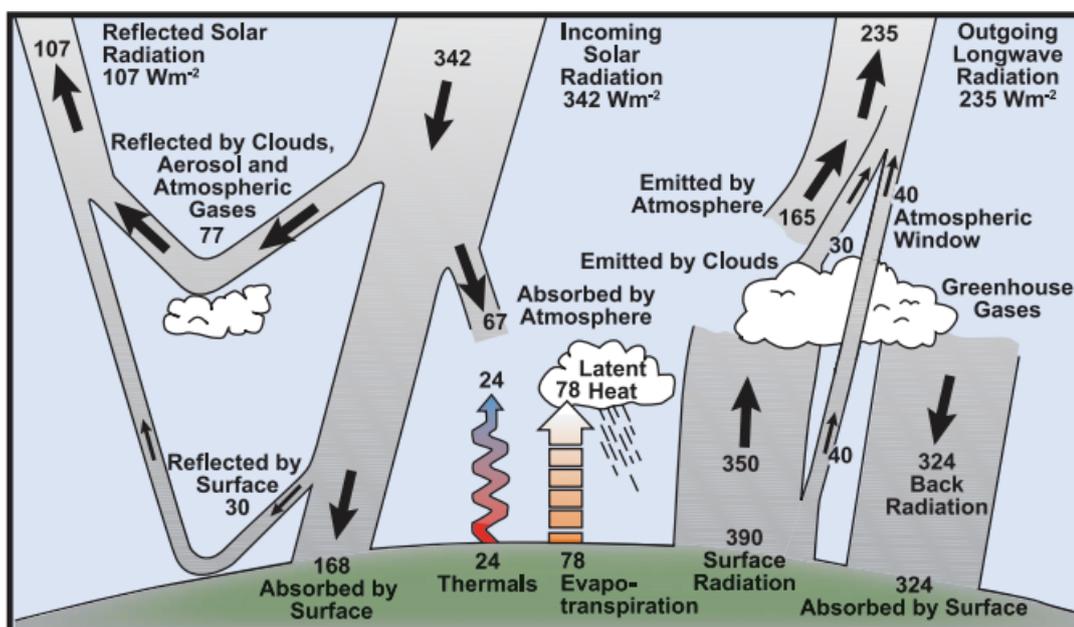
³ São todas as regiões e partes terrestres que possuem coberturas de gelo e neve.

⁴ São as camadas constituídas de rochas e solo, como a crosta continental ou crosta oceânica.

⁵ Conjunto de todos os ecossistemas da Terra.

⁶ Watt por metro quadrado é uma medida da taxa de irradiância, ou seja, o fluxo de energia que chega ao ponto considerado na superfície.

Figura 4.2 – Estimativa do balanço energético médio anual e global da Terra.



Fonte: IPCC (2007, p. 96)

Nesse sentido, o que permite a Terra permanecer com uma temperatura média de 14°C é a atmosfera, em especial os gases que estão presentes nela: os chamados gases de efeito estufa. Esses gases absorvem muito bem a radiação infravermelha e a reemitem em várias direções, inclusive, de volta para a superfície terrestre, esquentando-a e mantendo o planeta habitável. Este evento é o que conhecemos como efeito estufa. É um elemento extremamente importante para a manutenção da vida. Entretanto, várias atividades humanas como queima de combustíveis fósseis e desmatamentos, intensificaram o efeito estufa, causando o que chamamos de aquecimento global (IPCC, 2007).

É importante compreendermos os fatores que podem alterar esse balanço de energia. Nesse sentido, as alterações no balanço radiativo podem ser de três tipos: variações na quantidade de radiação solar que entra no planeta; variações na fração de radiação solar que é refletida (chamado albedo); e mudanças no efeito estufa. Estas podem ser tanto naturais, quanto antropogênicas, como veremos.

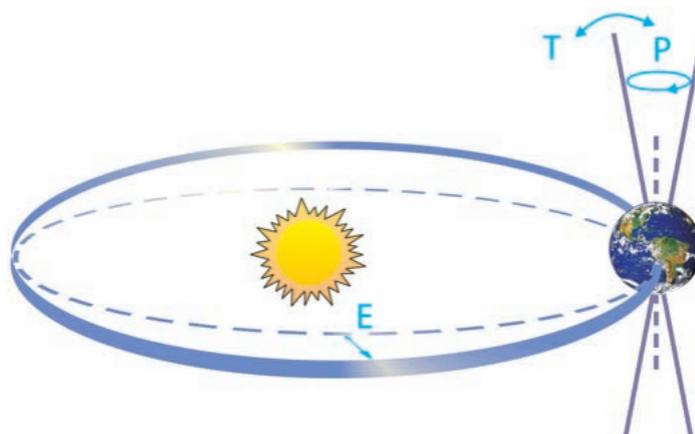
O primeiro fator a ser abordado será a quantidade de radiação solar que chega ao planeta. Para isso, precisaremos conhecer mais sobre os Ciclos de Milankovitch, que relacionam o clima no longo prazo e as eras glaciais, aos movimentos orbitais da Terra.

4.3 Ciclos de Milankovitch

De acordo com o cientista Milutin Milankovitch (1879-1958), os períodos glaciais estão relacionados a alterações na insolação⁷ recebida pelo planeta, devido a movimentos orbitais que a Terra realiza em torno do Sol.

Basicamente, os Ciclos de Milankovitch relacionam os três elementos da órbita da Terra: precessão (P), excentricidade (E) e obliquidade (T), e nos ajudam a entender a quantidade de radiação que a Terra recebe do Sol (IPCC, 2007). Na Figura 4.3 é apresentado um esquema que nos auxilia a compreendê-los.

Figura 4.3 – Esquema dos Ciclos de Milankovitch. A letra P representa a precessão; a letra E representa a excentricidade e T a inclinação (obliquidade).



Fonte: IPCC (2007, p. 56)

A precessão (P) está relacionada à lenta oscilação do eixo de rotação da Terra enquanto orbita o Sol, um movimento igual ao de um pião. Sua periodicidade é irregular e varia de aproximadamente 19.000 a 23.000 anos. Dessa maneira, a posição e a duração das estações são alteradas, mudando o nível de insolação (IPCC, 2007).

A excentricidade (E) é a forma da órbita em torno do Sol, sendo mais excêntrica à medida que essa órbita se torna mais elíptica. Sua periodicidade também é irregular, variando entre 100.000 e 400.000 anos. Alterações nesse fenômeno têm poucos impactos na insolação (IPCC, 2007).

⁷ Quantidade de energia média que atinge uma unidade de área na Terra. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/insolacao.htm>>.

Já a obliquidade (T) se refere à inclinação do eixo da Terra, que varia entre 22° a 24,5° em uma periodicidade irregular de 41.000 anos, mas atualmente está em aproximadamente 23°. Esta variação é o que ocasiona as estações anuais, mudando a insolação média local de acordo com a latitude. Não há efeitos sobre a insolação média global (IPCC, 2007).

Esses três elementos somados, têm colocado e tirado a Terra de períodos glaciares. Mas, ainda há outros fatores que alteram o balanço de energia. Assim, o próximo que será abordado é o efeito albedo.

4.4 O efeito albedo e o papel das nuvens

A reflexibilidade de uma superfície ou objeto, é o que conhecemos como albedo. O termo albedo vem da expressão em latim para “brancura” de um material, que tem a propriedade de refletir a luz. É expresso em porcentagem, sendo medido em uma escala que vai de 0 a 1, sendo 0 uma superfície perfeitamente negra, que não reflete nada, e 1, uma superfície branca com reflexão perfeita.

As superfícies cobertas de neve têm um albedo bastante alto (refletem muita luz), o albedo dos solos é variado e as superfícies cobertas de vegetação e os oceanos têm um albedo baixo (absorvem bastante calor) (IPCC, 2013).

No livro “A Espiral da Morte”, Angelo (2016), explica como o efeito albedo pode ser uma faca de dois gumes. Segundo ele, o albedo pode sofrer um mecanismo de retroalimentação, conhecido como *feedback*⁸ do albedo do gelo. Assim, se a temperatura média diminuir, mais neve terá e mais luz será refletida, o resultado será mais gelo. Entretanto, se a temperatura média aumentar e as coberturas de gelo diminuírem, menos luz será refletida e mais mar aberto será exposto a radiação solar. E já que os oceanos têm mais facilidade em absorver do que refletir a radiação infravermelha, mais quente irá ficar na superfície. Isso, por sua vez, derrete mais gelo, reforçando todo o ciclo.

Angelo (2016) explica que as nuvens também possuem esse mecanismo de *feedback*. Quando os oceanos e o ar ficam mais quentes, mais água é evaporada, logo, terá mais vapor de água na atmosfera, o que favorece a formação de nuvens. Essas nuvens (observar a Figura 4.2), refletem uma parte da radiação solar que chega e também retêm calor irradiado pelas superfícies,

⁸ Feedback no clima são processos de retroalimentação em que uma perturbação inicial provoca uma segunda perturbação, e essa, por sua vez, altera a perturbação inicial. Essa alteração é positiva se ela intensifica a perturbação inicial; e negativa se ela reduz a perturbação inicial (IPCC, 2013).

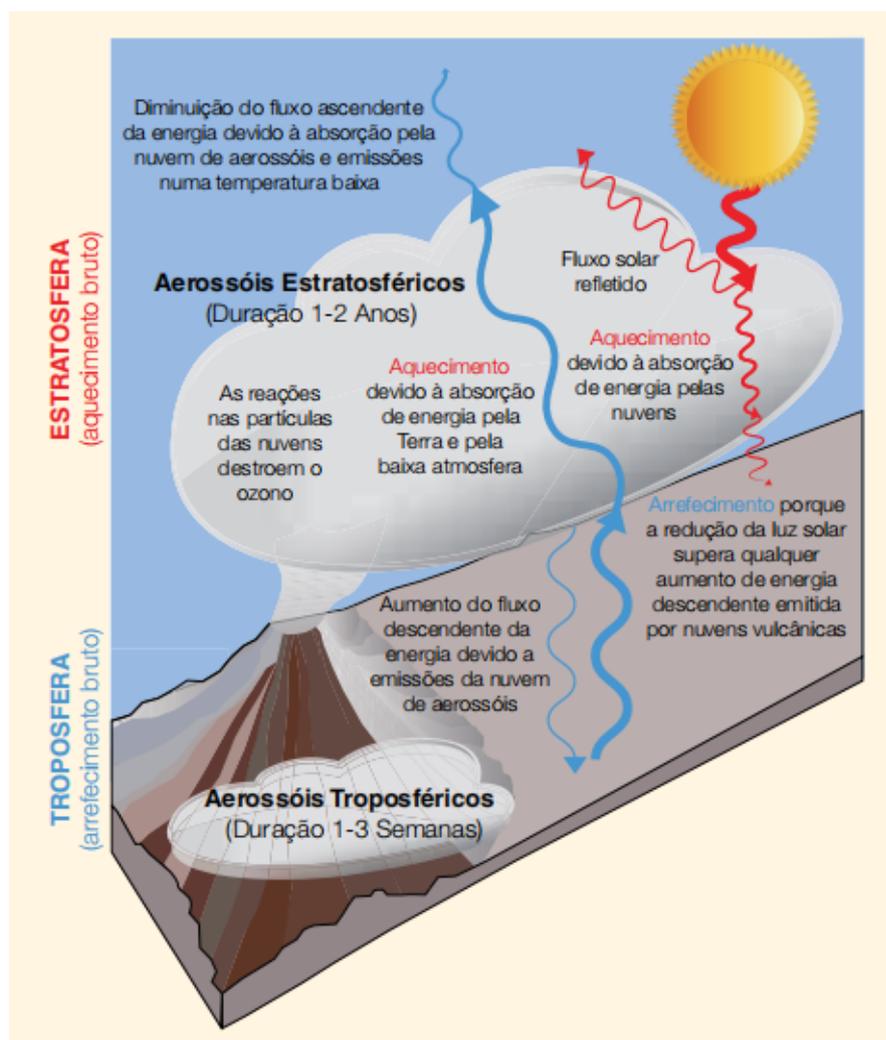
umentando a temperatura. Além disso, o vapor de água liberado é um forte gás de efeito estufa, o que contribui mais ainda para o aquecimento.

O próximo elemento que será abordado e que pode causar alterações no balanço de energia, são as erupções vulcânicas.

4.5 Erupções vulcânicas

As erupções vulcânicas também são um fator natural que podem afetar o clima, porém estão ligadas ao resfriamento da Terra. Os vulcões quando entram em erupção liberam grandes quantidades de dióxido de enxofre (SO_2) na estratosfera, esse gás reage com água para formar nuvens de gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Esta formação de nuvens permite a reflexão dos raios solares, o que faz com que a superfície terrestre receba menos energia, arrefecendo-a. Já na estratosfera acontece um aquecimento, pois o calor que a Terra irradia e parte dos raios solares são absorvidos por essas nuvens de ácido sulfúrico (IPCC, 2013). Podemos observar melhor esses processos através da Figura 4.4.

Figura 4.4 – Esquema dos efeitos das erupções vulcânicas na atmosfera.



Fonte: IPCC (2013, p. 165)

Apesar da liberação de gases de efeito estufa na atmosfera e de outras partículas que destroem o ozônio, as erupções vulcânicas também podem causar arrefecimento da troposfera, dado a grande quantidade de nuvens liberadas na estratosfera, possibilitando que a maior parte dos raios solares incidentes sejam refletidos de volta para o espaço.

Os efeitos são mais significativos localmente do que globalmente já que as nuvens formadas na estratosfera duram apenas alguns meses e seus efeitos também não são duradouros (IPCC, 2013).

Mas há ressalvas para grandes erupções como a do Monte Pinatubo, localizada nas Filipinas, em 1991. Segundo dados do IPCC (2013) cerca de 20 milhões de toneladas de dióxido

de enxofre foram emitidas na estratosfera, causando um resfriamento na Terra em aproximadamente 0.5 °C por até um ano.

Angelo (2016) destaca que erupções vulcânicas não acontecem o tempo todo e muito menos nessas proporções e, por isso, têm sido incapazes de causar grandes mudanças no balanço de energia da Terra ao longo das últimas décadas. Essa tarefa, segundo ele, tem cabido aos fatores antropogênicos, sendo o principal deles a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera.

Dessa maneira, na próxima seção, será abordado o efeito estufa e os principais gases que podem intensificá-lo.

4.6 Efeito estufa

Como visto anteriormente, o efeito estufa é um fenômeno extremamente importante para a Terra, pois a mantém aquecida colaborando para a manutenção da vida. Entretanto, se este processo for intensificado, ou seja, se a quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera aumentar descontroladamente, temos o que chamamos de aquecimento global.

Dessa maneira, observando a composição da atmosfera, podemos entender quais os principais gases que absorvem a radiação emitida pela superfície contribuindo com o aquecimento do planeta.

A atmosfera é composta principalmente por nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), que compõem 78,08% e 20,95% dela, respectivamente⁹. Vários outros gases também estão presentes, porém em pequenas quantidades, medidos em partes por milhão (ppm) ou partes por bilhão (ppb). Tanto o nitrogênio quanto o oxigênio praticamente não interferem no efeito estufa, conforme o relatório do IPCC (2007).

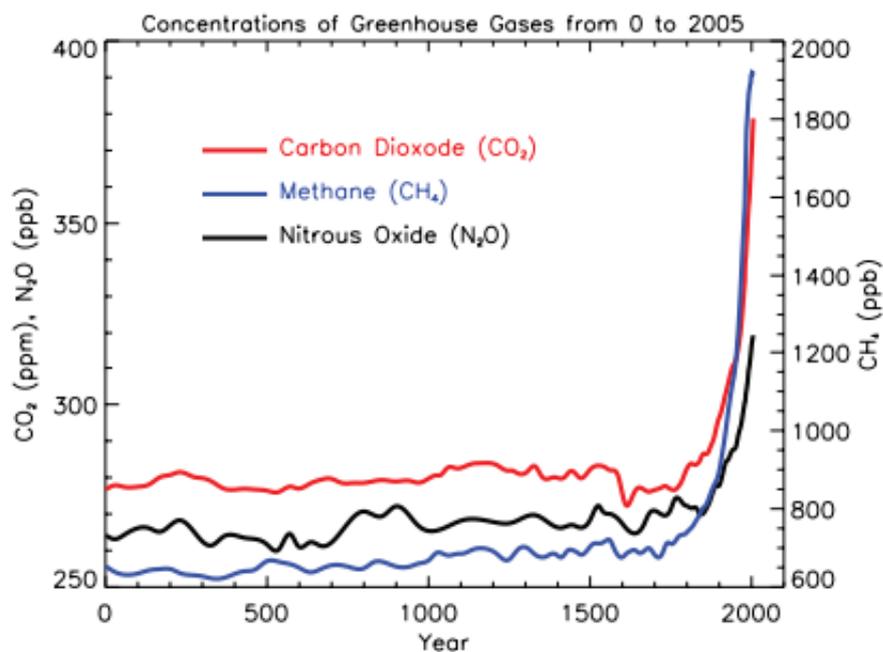
Os principais gases que contribuem para esse efeito são: dióxido de carbono (CO_2), óxido nítrico (N_2O), ozônio (O_3), vapor de água (H_2O) e metano (CH_4). Esses gases, por absorverem facilmente a radiação infravermelha, são conhecidos como gases de efeito estufa.

Muitos desses gases são liberados de forma natural, através de erupções vulcânicas, decomposição de matéria orgânica, evaporação e processos de fotossíntese. Entretanto, desde as revoluções industriais (por volta de 1750), os humanos estiveram lançando grandes quantidades de gases de efeito estufa na atmosfera, excedendo em muito as quantidades liberadas por processos naturais.

⁹ Disponível em: <<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>>. Acesso em: 06, abr. 2021.

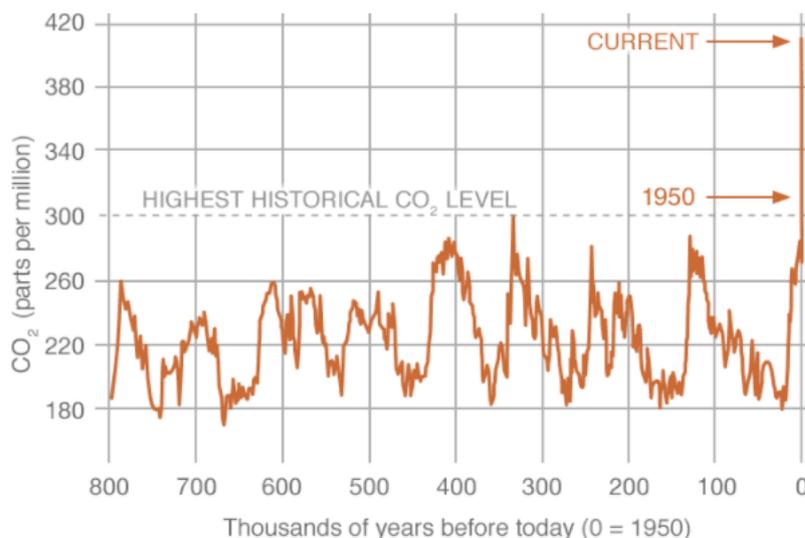
Na Figura 4.5, podemos observar a evolução temporal da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera e na Figura 4.6, a concentração, especificamente, do CO_2 na atmosfera ao longo de 800.000 anos.

Figura 4.5 – Concentração de gases de efeito estufa na atmosfera ao longo dos últimos 2000 anos. Devido às atividades humanas, a partir do século XVIII, houve um aumento acentuado, principalmente de dióxido de carbono e metano.



Fonte: IPCC (2007, p. 135)

Figura 4.6 – Observação da concentração de CO_2 na atmosfera ao longo dos últimos 800.000 anos.



Fonte: Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>>. Acesso em: 14 set. 2021.

No momento, a quantidade de CO_2 na atmosfera está em cerca de 420 ppm¹⁰. E, como podemos perceber na Figura 4.6, os valores do período atual são extremamente maiores (praticamente o dobro) do que a média observada nos últimos 800.000 anos. A única forma de explicar o grande aumento da concentração de gases de efeito estufa, observadas na Figura 4.5 e Figura 4.6, é levar em conta as emissões realizadas por ações humanas, intensificadas a partir do século XVIII.

Angelo (2016) comenta que em 2010 as emissões globais de CO_2 atingiram cerca de 50 bilhões de toneladas, e em uma taxa de crescimento três vezes maior nessa primeira década do que nos anos de 1990. E também enfatiza que a influência humana no balanço de energia da Terra equivale a cerca de 2,29 w/m². O mesmo, por analogia, conforme Angelo (2016), que colocássemos 5 lâmpadas de árvores de Natal por metro quadrado em toda a superfície terrestre.

Na sequência apresentaremos alguns detalhes sobre os principais gases de efeito estufa. Todas as informações referentes a esses gases foram retiradas do IPCC (2007)

O dióxido de carbono (CO_2) é liberado principalmente pela queima de combustíveis fósseis como gás natural, carvão mineral e petróleo, e são usados para abastecer veículos, locomotivas e outros meios de transporte; para geração de energia em usinas, e para vários outros

¹⁰ Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

processos industriais. Desmatamentos também liberam CO_2 , reduzindo a captação por parte das plantas.

O metano (CH_4) é liberado principalmente por atividades de agricultura e pecuária, gás natural e por aterros. O metano não permanece na atmosfera tanto quanto o dióxido de carbono, mas mesmo assim, contribui para o efeito estufa.

Óxido nitroso (N_2O) pode ser emitido pelos solos através do uso excessivo de fertilizantes e também é muito utilizado para melhorar o desempenho de veículos.

Os halocarbonos, incluindo os CFC's (clorofluorcarbonetos), muito usados em processos de refrigeração e aerossóis, tiveram contribuições significativas para o aquecimento global e a diminuição da camada de ozônio. Essas substâncias, quando suspensas na atmosfera, reagem com os raios ultravioletas liberando cloro (Cl). Por sua vez, o cloro reage com ozônio (O_3) e libera oxigênio (O_2), que não protege a Terra de raios UV¹¹. Porém, as quantidades emitidas vêm sendo diminuídas desde a Convenção de Viena de 1985 e o Protocolo de Montreal ocorrido em 1987, que reuniu diversas nações para promover maneiras de diminuir a emissão de substâncias que destroem a camada de ozônio.

O vapor de água (H_2O) é o principal e mais abundante gás de efeito estufa. Entretanto, atividades humanas têm pouca influência direta na quantidade de vapor de água na atmosfera. Indiretamente, aumentamos sua quantidade na atmosfera através da presença de outros gases de efeito estufa, como metano e, principalmente, dióxido de carbono.

O ozônio (O_3), na estratosfera, tem um papel essencial que é o de proteger a Terra de raios ultravioleta, através da camada de ozônio (observar a Figura 4.1). Na troposfera, ele é bastante presente, dado que outros gases, emitidos por atividades humanas, reagem com os raios ultravioleta produzindo ozônio. É um gás poluente, assim, pode trazer danos à saúde, e também é um gás de efeito estufa, contribuindo com o aquecimento global.

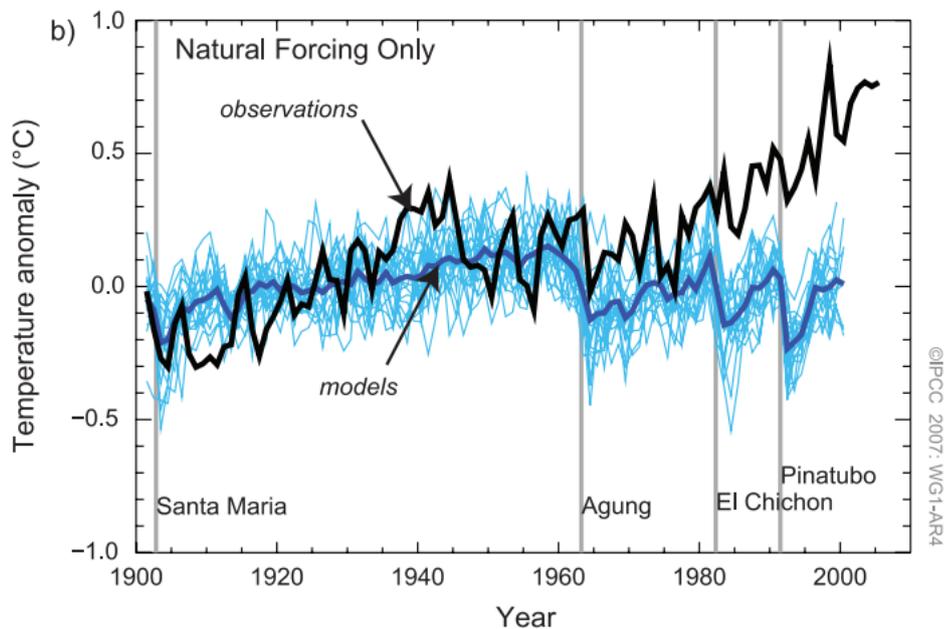
Foram apresentados os principais fatores que podem alterar o balanço de energia da Terra, podendo esquentá-la ou até resfriá-la. Nessa “investigação” para encontrar o responsável por trás das Mudanças Climáticas, o principal “suspeito” dentre todos que foram abordados — como o Sol, erupções vulcânicas, variações no albedo e forçamentos antrópicos — certamente são as atividades humanas. De fato todos os tópicos abordados são elementos importantes e se relacionam entre si, porém sozinhas, variações naturais não explicam o aquecimento e outras

¹¹ Disponível em: <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/camada_ozonio/>. Acesso em: 04 mar, 2021.

alterações climáticas que estamos sofrendo, as ações humanas são muito mais consistentes e determinantes.

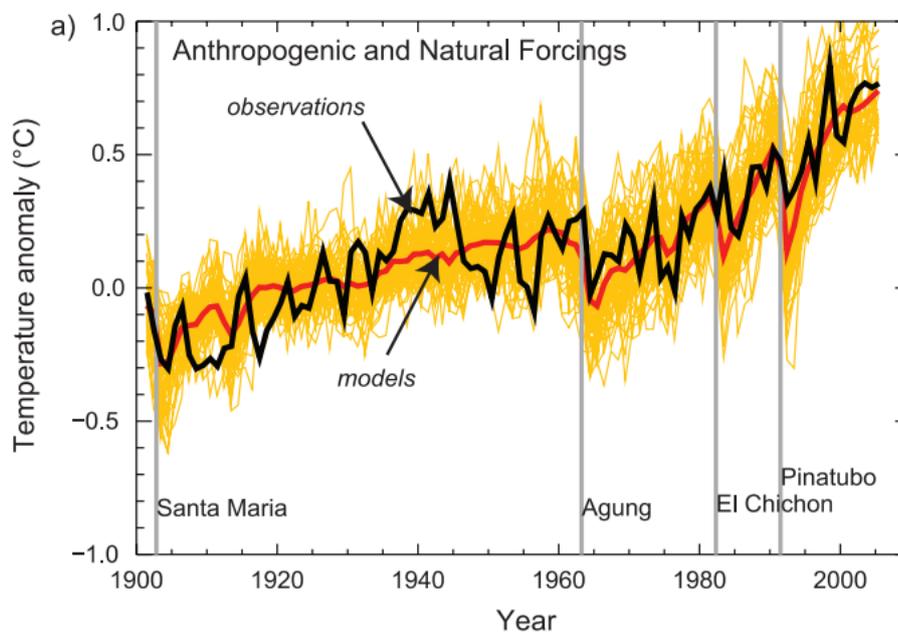
Para ilustrar isso, abaixo é apresentado dois gráficos disponibilizados no relatório do IPCC (2007) que comparam modelos climáticos às observações feitas através de termômetros e satélites para verificar as variações na temperatura média (°C) da Terra. Porém, em um dos gráficos (Figura 4.7), os modelos climáticos levam em conta apenas as forças naturais; e no outro (Figura 4.8), os modelos contabilizam tanto as forças naturais quanto antropogênicas.

Figura 4.7 – Apenas forças naturais. A curva em preto são os dados obtidos pelas observações. A curva em azul são os dados obtidos pelos modelos. As linhas cinzas na vertical datam o último grande vulcão que entrou em erupção.



Fonte: IPCC (2007, p. 62)

Figura 4.8 – Forças naturais e antropogênicas. A curva em preto são os dados obtidos por observações. A curva em vermelho são os dados obtidos pelos modelos. As linhas cinzas verticais datam o último grande vulcão que entrou em erupção.



Fonte: IPCC (2007, p. 62)

Analisando os gráficos, podemos ver que as observações feitas medem um aumento de quase 1°C no final do século XX. Entretanto, quando analisamos a eficiência dos modelos climáticos em se aproximar das observações por termômetros e satélites, o que se observa é que quando se contabilizam somente os forçamentos naturais (Figura 4.7), os modelos indicam que a Terra estaria mais fria do que hoje, mantendo uma temperatura média sem grandes variações.

É somente quando colocamos os forçamentos antropogênicos na equação (Figura 4.8), que as curvas começam a andar juntas. Ou seja, o aumento da temperatura só é explicado, quando levamos em conta as forças antrópicas. O que demonstra o valor dos modelos e o peso das ações humanas no clima da Terra.

4.7 Perguntas Frequentes

Inspirado nas perguntas frequentes (*FAQ - Frequently Asked Question*) do IPCC (2007 e 2013) organizamos quatro perguntas¹² (Como sabemos que o mundo aqueceu?; A quantidade

¹² A escolha das perguntas foi baseada no interesse por cada tópico. As perguntas apresentadas são as mesmas dos documentos, porém, em algumas delas, modificamos a escrita. O conteúdo de cada tópico foi construído a partir de várias fontes, incluindo as informações presentes nas FAQ's.

de neve e gelo está diminuindo no planeta?; O nível do mar está subindo?; Estamos entrando em uma nova era do gelo?) que serão respondidas, de forma breve, na sequência. Contudo, não se pretende fechar tais discussões, mas sim apresentar o que há de consenso sobre tais questões.

4.7.1 Como sabemos que o mundo aqueceu?

Existem vários indicadores que mostram que o planeta aqueceu depois do século XIX. Um deles são as medições por termômetros e satélites das temperaturas da superfície, oceânicas e atmosféricas, feitas em vários cantos do mundo. Mas, também podemos olhar para alterações nos: glaciares¹³; manto de gelo¹⁴; gelo marinho¹⁵; nível do mar e vapor de água atmosférico. Verificando esses indícios independentes, podemos estabelecer que o mundo tem aquecido desde as revoluções industriais.

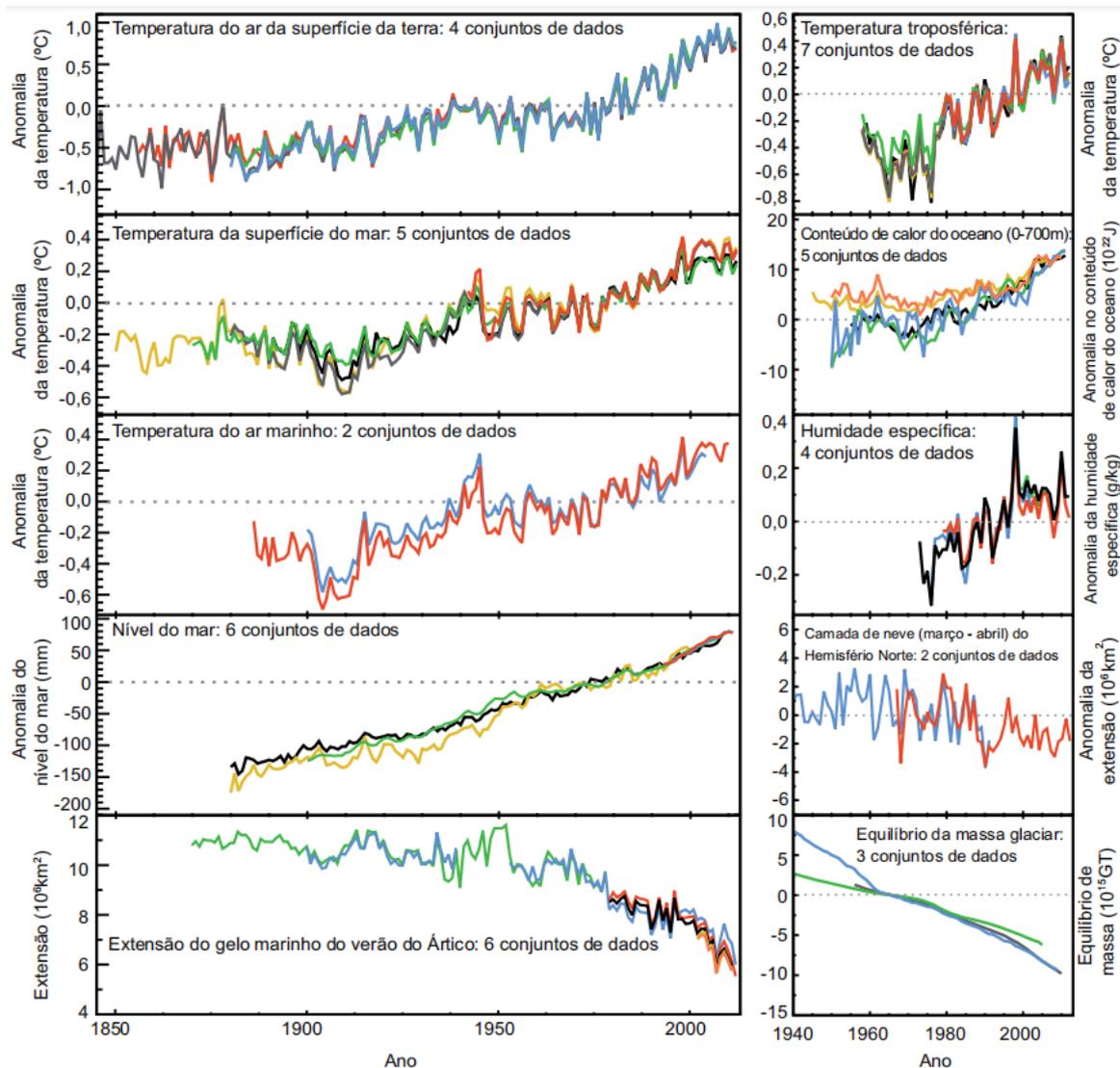
A Figura 4.9 apresenta o compilado de dados das medições feitas de vários indicadores diferentes.

¹³ Glaciares são massas de gelo terrestre formadas através da neve compactada ao longo de milhares de anos, no qual a acumulação de neve é superior ao degelo (IPCC, 2013).

¹⁴ Mantos de gelo são massas de gelo com a mesma origem que os glaciares, porém de dimensões continentais (Antártica e Groenlândia são os únicos no planeta) (IPCC, 2013).

¹⁵ Gelo encontrado na superfície do mar através do congelamento da água. Também conhecidas como banquisas (IPCC, 2013).

Figura 4.9 – Vários indicadores independentes mostram o aumento da temperatura global



Fonte: IPCC (2013, p. 38)

Analisando os dados coletados e compilados, observa-se que todos apontam para um aquecimento acentuado¹⁶ da Terra a partir do final do século XIX e, principalmente, no século XXI.

A partir da observação destes gráficos, podemos constatar que, a partir do século XVIII:

- A temperatura do ar da superfície terrestre aumentou praticamente 1°C;

¹⁶ A alteração de 1°C pode parecer pouco, mas significa um aumento expressivo no calor acumulado. É necessária uma enorme quantidade de energia térmica para aquecer todos os oceanos, a atmosfera e as massas de terra. A mudança de apenas 1°C na temperatura média global da Terra são suficientes para causar grandes impactos, proporcionando eventos climáticos extremos, bem como processos de retroalimentação no clima.

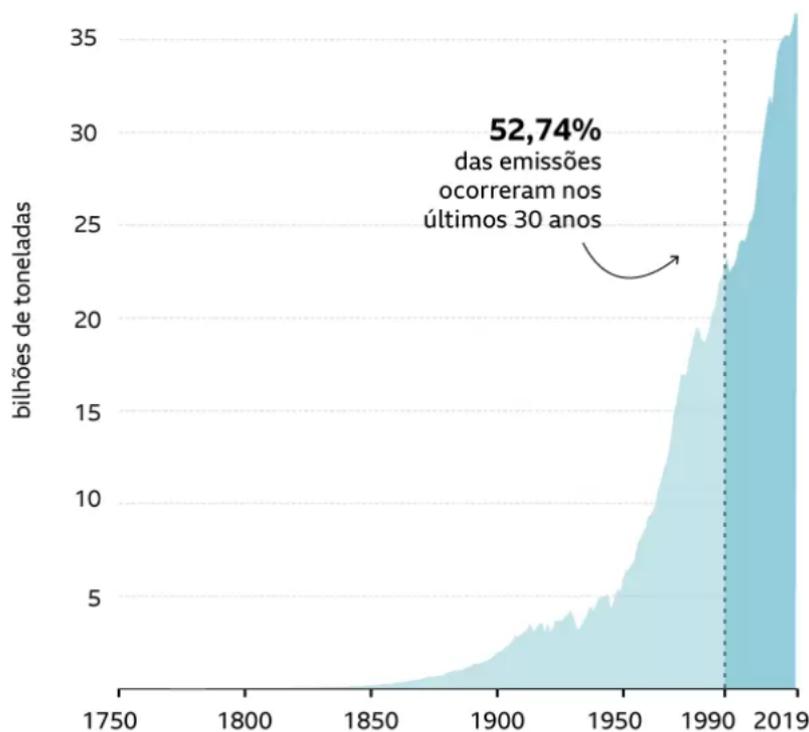
- A temperatura dos oceanos subiu em aproximadamente 0.4°C , contribuindo tanto para o aumento do nível do mar (expansão da água), quanto para a quantidade de vapor de água na atmosfera — podendo intensificar o efeito estufa;
- Uma grande diminuição da extensão do gelo marinho do verão no Ártico, ou seja, está ocorrendo mais degelo e escoamento no verão do que acúmulo de neve no inverno.

Os cientistas de todo o mundo verificaram, de forma independente, a presença destes indícios muitas vezes. Desde as revoluções industriais, as ações humanas tornaram o mundo mais quente, principalmente através da queima de combustíveis fósseis, atividade dominante a partir desse período IPCC (2013).

Ao observarmos as taxas atuais de emissões e concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, é bastante provável que o mundo irá aquecer ainda mais. A Figura 4.10 ilustra como, a cada ano, emitimos cada vez mais bilhões de toneladas de dióxido de carbono na atmosfera.

Figura 4.10 – Evolução temporal das emissões de CO_2 .

Emissões totais de CO_2 por ano



Fonte: Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-59013520>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

De acordo com esse gráfico (Figura 4.10), em 2019, o mundo emitiu aproximadamente 35 bilhões de toneladas de dióxido de carbono. Dados do Global Carbon Project¹⁷, apontam que, aproximadamente, 90% das emissões de CO_2 vêm da queima de combustíveis fósseis. O restante é proveniente, principalmente, de desmatamentos e queimadas.

Como apresentado na Figura 4.5, a concentração dos principais gases de efeito estufa na atmosfera — dióxido de carbono, metano e óxido nitroso — é extremamente alta em comparação ao observado ao longo dos últimos 2000 mil anos.

Devido às atividades humanas, a partir do século XVIII, houve um aumento acentuado nas concentrações de dióxido de carbono e metano na atmosfera. Observa-se que, até as revoluções industriais, as concentrações desses gases permaneceram praticamente constantes, com pouquíssimas variações ao longo dos anos — Figura 4.5.

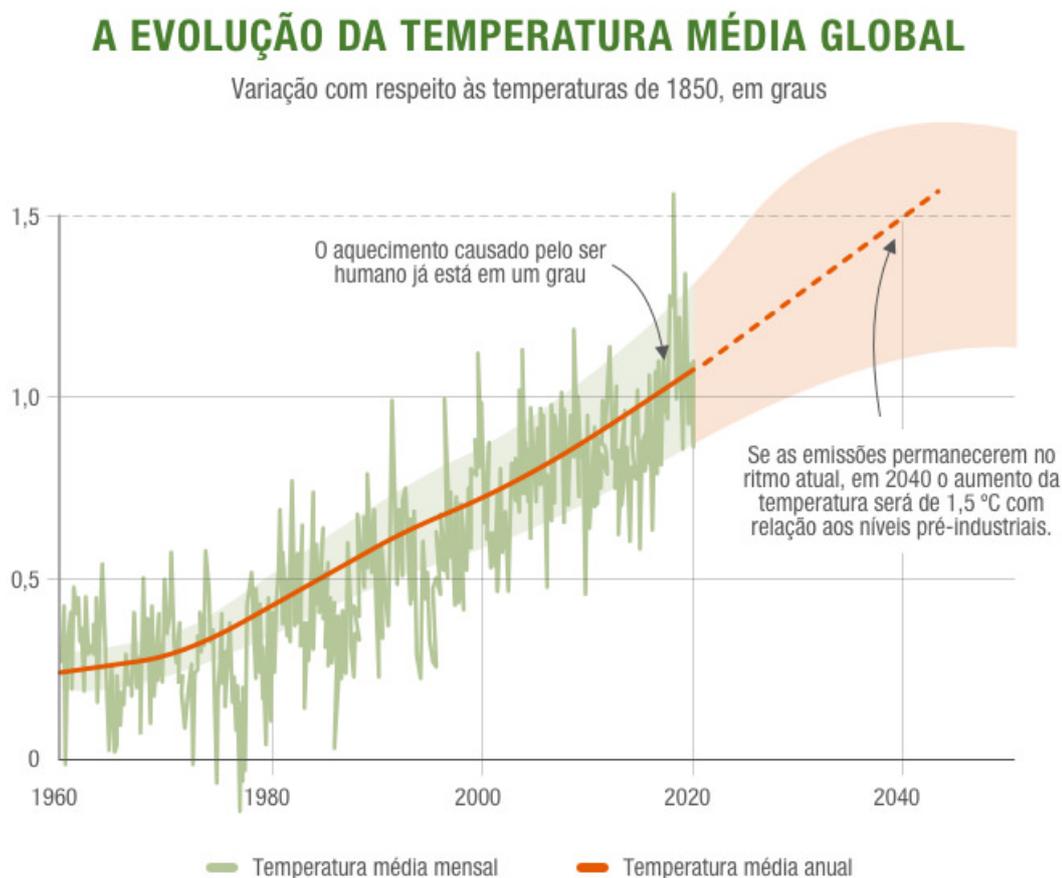
No ano de 2022, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera alcançou a marca de 420 ppm; a de metano chegou aos 1908 ppb; e a de óxido nitroso 335 ppb¹⁸. Se a humanidade continuar emitindo grandes quantidades desses gases, a concentração na atmosfera continuará subindo, logo, a temperatura média global também, sendo provável chegar a 2°C acima dos níveis pré-industriais ao final deste século (IPCC, 2013).

Na Figura 4.11, podemos observar a evolução da temperatura média global desde meados do século XX até o início do século XXI. A linha tracejada apresenta as previsões para as próximas décadas para a temperatura média global, caso as emissões de gases de efeito estufa continuarem na taxa atual.

¹⁷ Disponível em: <<http://cms2018a.globalcarbonatlas.org/en/content/global-carbon-budget>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

¹⁸ Dados disponíveis em: <<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Figura 4.11 – Evolução da temperatura média global a partir de meados do século XX



Fonte: <<https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/aumento-da-temperatura-da-terra>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Conforme a Figura 4.11, é bastante provável que o aquecimento global atinja 1,5°C por volta dos anos 2040, caso continue a aumentar no ritmo atual. Por isso, se faz necessário que os compromissos traçados no Acordo de Paris, em 2015, sejam cumpridos e que outros tratados e convenções possam ser realizadas, buscando a diminuição da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Individualmente, qualquer análise única poderá ser pouco convincente, mas a análise de diferentes indicadores e conjuntos de dados independentes — providas por diferentes grupos de pesquisa — apontam para a mesma direção: o mundo aqueceu desde o final do século XIX.

4.7.2 O nível do mar está subindo?

Para medir o nível do mar, temos dois principais métodos: um é usando o marégrafo, que mede a altura da superfície do mar em relação a pontos de referência na costa, mas que deve-se ter o cuidado com as mudanças na altura do terreno, devido a processos geológicos; o outro é por altimetria de satélite, que estuda a variabilidade do nível dos oceanos, calculando as distâncias da superfície até o satélite (IPCC, 2007).

Nesse sentido, temos que o nível global do mar está subindo, e suas principais causas são a expansão térmica dos oceanos e o derretimento dos glaciares e mantos de gelo.

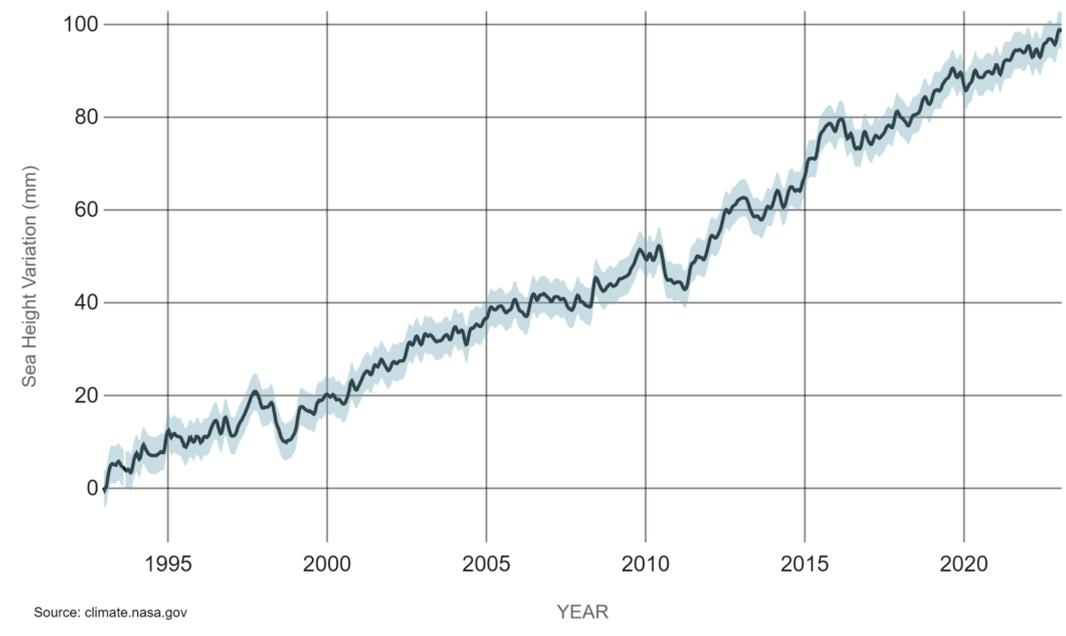
O nível global do mar cresceu em aproximadamente 120 metros durante os vários milênios após o fim da última era do gelo (por volta de 21.000 anos atrás), e se estabilizando nos últimos três milênios, ou seja, não havendo mudanças significativas até o final do século XIX. No século XX inteiro, o nível global do mar cresceu a uma taxa de aproximadamente 1,7 mm/yr (milímetros por ano) (IPCC, 2013).

Esse crescimento não é uniforme ao redor do mundo. Em algumas regiões as taxas estão acima da média global, e em outros, abaixo da média. Dessa maneira, esse evento pode ser uma ameaça para as habitações e ambientes costeiros (IPCC, 2013).

Vale destacar, que o gelo do Ártico, quando derretido, não afeta o nível do mar. Para exemplificar, Angelo (2016) faz uso de uma metáfora para explicar quais eventos causam ou não o aumento do nível do mar. A metáfora consiste em pedras de gelo num copo de água. Quando colocadas, as pedras elevam o nível do líquido, porém, o volume não muda quando os cubos de gelo derretem. A banquisa do Ártico são as pedras já no copo. O que acontece na Groenlândia e Antártica, por exemplo, é que as massas de gelo que estão hoje sobre terra firme, quando derretidas e escoadas, são acrescentadas ao copo de água gigante, o oceano. E estas sim, aumentam o nível do mar.

Na Figura 4.12, podemos observar o aumento do nível do mar medido por satélites desde o início dos anos 1990.

Figura 4.12 – Mudanças no nível do mar registradas por satélites desde 1993 até 2020.



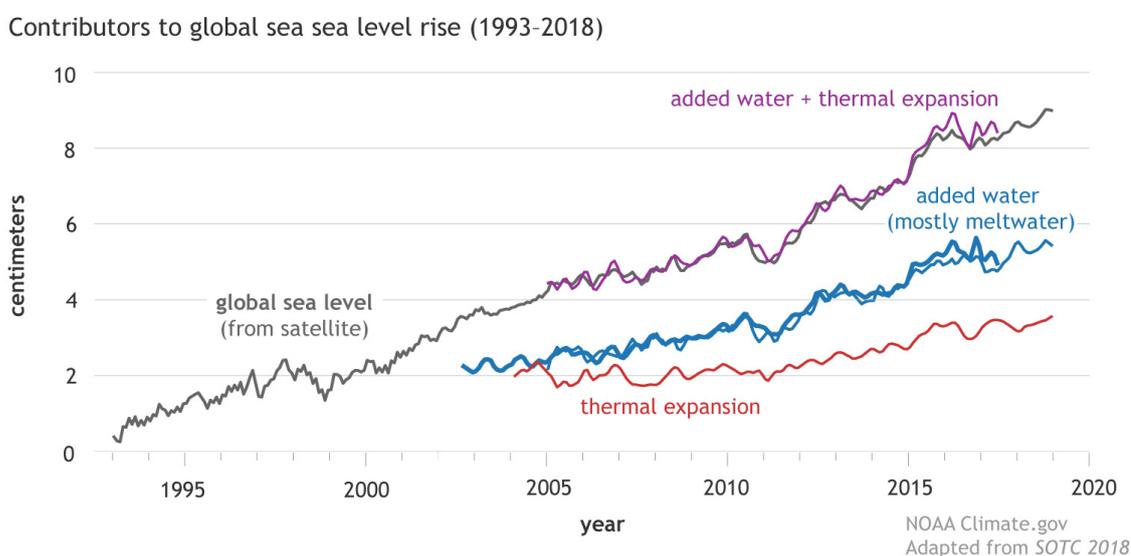
Fonte: Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

Segundo dados da NASA¹⁹, a taxa de mudança atual está a $3,3 \pm 0,4$ mm/yr. E, como podemos ver no gráfico (Figura 4.12), desde 1993, o nível do mar aumentou em cerca de 99 milímetros até 2020. A atual taxa de alteração do nível médio global do mar é incomum em relação ao observado e/ou estimado durante os últimos dois milênios (IPCC, 2013).

A Figura 4.13 apresenta as contribuições tanto da expansão térmica dos oceanos quanto do derretimento de glaciares e mantos de gelo, para o aumento do nível do mar.

¹⁹ Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Figura 4.13 – Contribuições para o aumento do nível do mar (em cm) de 1993-2018. A linha preta representa a mudança no nível global do mar ao longo do tempo. A linha vermelha representa estimativa da contribuição da expansão térmica e a linha azul a estimativa da contribuição dada principalmente por derretimento de glaciares. A linha roxa mostra ambas as contribuições somadas.



Fonte: Disponível em:

<<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level>>.

Acesso em: 30 jul. 2023.

O derretimento de glaciares e mantos de gelo contribuíram em $0,77 \pm 0,22$ mm/yr para o aumento do nível do mar entre 1991 e 2004 (IPCC, 2007). Atualmente, esta contribuição está numa taxa de $2,1 \pm 0,3$ mm/yr²⁰. Já a contribuição da expansão térmica dos oceanos, está numa taxa atual de $1,3 \pm 0,2$ mm/yr²¹.

Observando a Figura 4.13, percebemos as estimativas das contribuições de cada fator para o aumento do nível do mar e que esses fatores, quando somados, aproximam-se muito bem dos valores medidos para o nível do mar.

Com o aumento do nível do mar, o risco de inundações costeiras também aumenta. Essas enchentes em áreas costeiras baixas estão forçando as pessoas a migrar para terras mais altas, e milhões estão vulneráveis ao risco de enchentes e outros efeitos das Mudanças Climáticas²².

²⁰ Disponível em: <<https://sealevel.nasa.gov/understanding-sea-level/key-indicators/ocean-mass>>
Acesso em: 30 jul. 2023.

²¹ Disponível em: <<https://sealevel.nasa.gov/understanding-sea-level/key-indicators/steric-height>>
Acesso em: 30 jul. 2023.

²² Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/climate-change-drives-migration-crisis-in-bangladesh-from-dhaka-sundabans>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

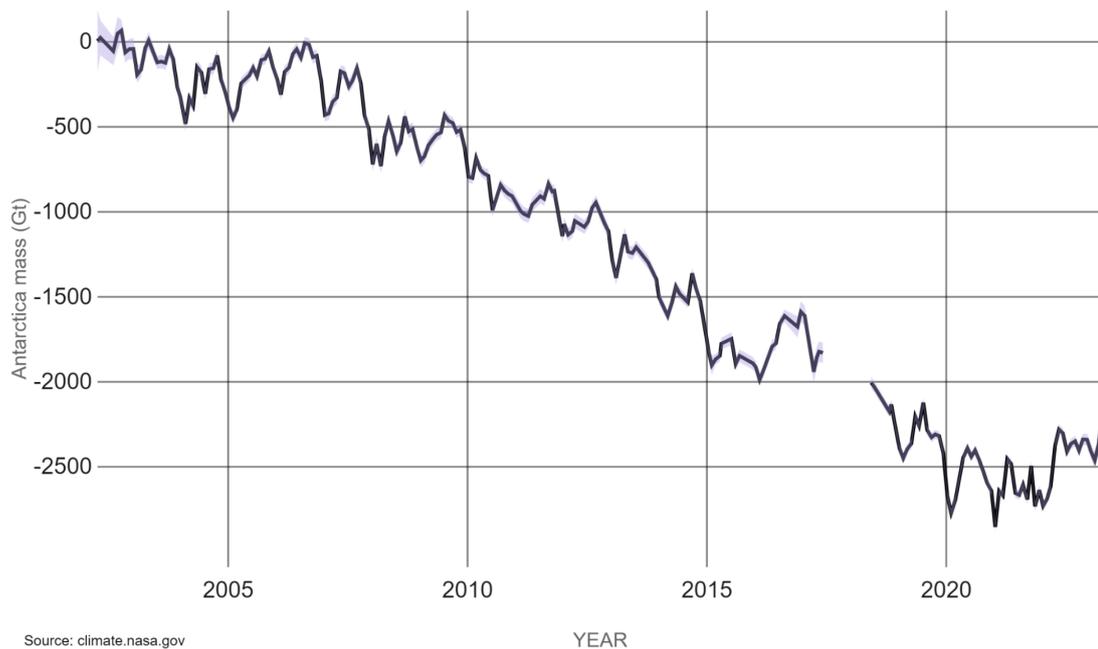
4.7.3 A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?

Ao longo das últimas décadas, os mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica têm perdido grandes quantidades de gelo; os glaciares continuam a diminuir em quase todo o mundo; e a extensão do gelo marinho do Ártico também está cada vez menor (IPCC, 2013).

As observações mostram que, especialmente, desde 1980, o gelo e a neve estão diminuindo em escala global. Muitos glaciares em regiões montanhosas estão ficando menores. Regiões costeiras do manto de gelo da Groenlândia e do oeste da Antártica, e geleiras da Península da Antártica, estão diminuindo, contribuindo para o aumento do nível do mar (IPCC, 2007).

Dados da NASA ²³ mostram que a taxa atual de perda de massas de gelo, na Antártica, está em 151 gigatoneladas por ano. Além disso, como observa-se na Figura 4.14, a Antártica perdeu mais 2500 gigatoneladas de massas de gelo, desde o ano de 2002.

Figura 4.14 – Variação de massa (em gigatoneladas) na Antártica desde 2002. A lacuna representa um tempo entre as operações.

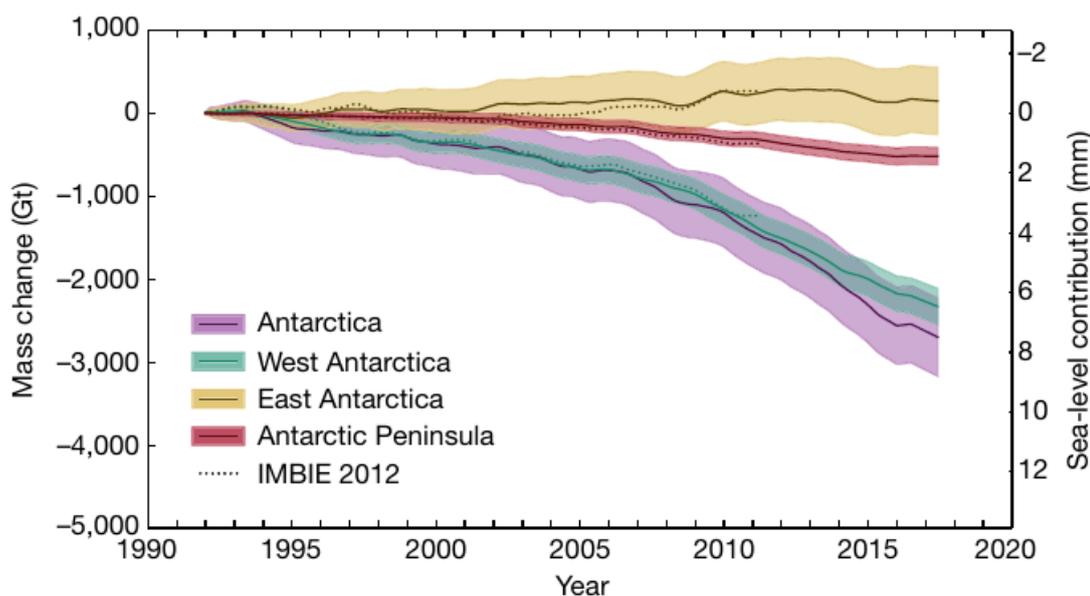


Fonte: Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

²³ Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>>. Acesso em: 22 abr. 2021.

Como foi explicado, a principal causa do aumento do nível do mar é o derretimento dos mantos de gelo e glaciares. Na Figura 4.15, podemos observar como o derretimento da Antártica tem contribuído para este impacto.

Figura 4.15 – Mudanças totais do gelo terrestre da Antártica e contribuições aproximadas para o nível do mar. As áreas sombreadas representam as incertezas das medidas.

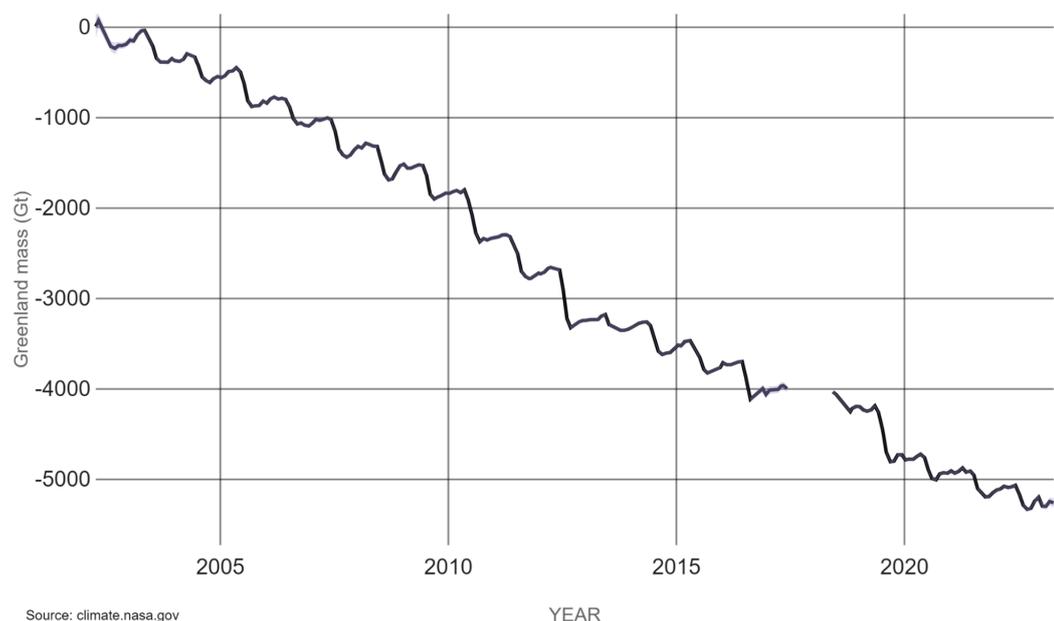


Fonte: IMBIE (2018)

A Antártica tem perdido grandes quantidades de massa de gelo, se aproximando dos quase 3000 gigatoneladas perdidos desde o início de 1990, e contribuindo para o aumento de cerca de 8 milímetros no nível do mar, conforme mostra a Figura 4.15.

Entretanto, não é apenas a Antártica que está perdendo grandes quantidades de gelo e contribuindo para o aumento do nível do mar. A Groenlândia também participa desse processo, e não contribui pouco, como podemos observar na Figura 4.16.

Figura 4.16 – Variação de massa de gelo (em gigatoneladas) na Groenlândia desde 2002. A lacuna representa um tempo entre as missões.



Fonte: Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>>. Acesso em: 03 jul. 2023

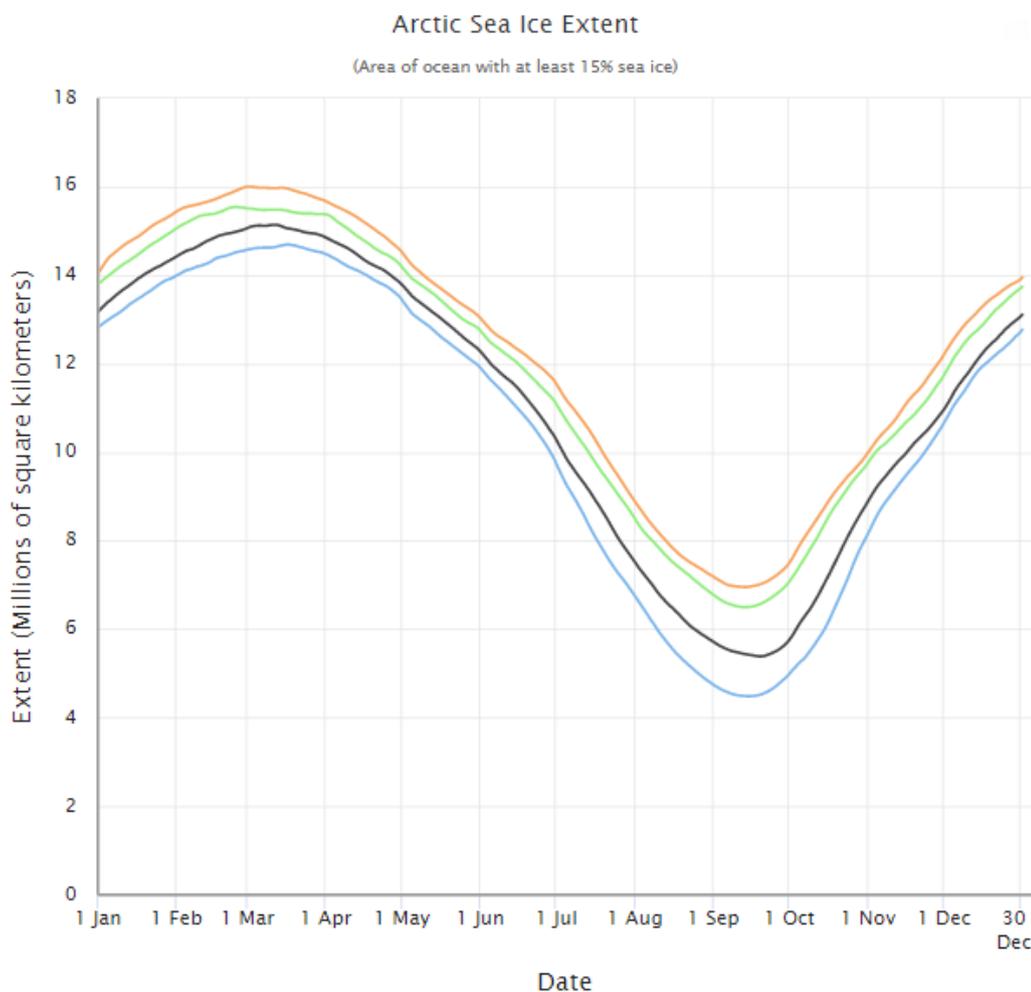
Desde 2002, a Groenlândia perdeu quase 5000 gigatoneladas de massa de gelo, como observado na Figura 4.16. E, atualmente, está perdendo gelo numa taxa de 278 gigatoneladas por ano ²⁴.

O Ártico também está derretendo. Dados de satélites mostram que desde de 1978 até o início do século XXI, a média anual da extensão de gelo marinho diminuiu em $2,7 \pm 0,6\%$ por década, enquanto a extensão de gelo marinho de verão, diminuiu em $7,4 \pm 2,4\%$ por década. Atualmente esta taxa de perda está em $13,1\%$ por década ²⁵. Os resultados não mostraram nenhuma tendência significativa para o gelo marinho na Antártica (IPCC, 2007). A Figura 4.17 ilustra esse evento no Ártico.

²⁴ Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>>. Acesso em: 22 abr. 2021.

²⁵ Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>>. Acesso em: 16 set. 2021.

Figura 4.17 – Extensão do gelo marinho no Ártico. As linhas representam as médias de extensão do gelo marinho em milhões de km², ao longo de todas as estações do ano. A linha laranja representa a média entre os anos de 1979-1990; a linha verde de 1991-2000; a linha azul escura de 2001-2010; e a linha azul clara de 2011-2020.



Fonte: Disponível em: <<https://nsidc.org/arcticseaicenews/charctic-interactive-sea-ice-graph/>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Do final do século XX até 2019, tanto o gelo de verão como o do inverno, foram reduzidos drasticamente. O período de 2011-2019 (linha azul clara) teve, no final do verão, quase 3 milhões de km² de extensão a menos do que no final do verão de 1979-1990 (linha laranja).

Além disso, apesar do Ártico não contribuir com o aumento do nível do mar — conferir Subseção 4.7.2 — mudanças nessa região trazem outro problema: o derretimento do permafrost. Permafrost é qualquer solo que permanece completamente congelado a ou abaixo dos 0°C por pelo menos dois anos seguidos (IPCC, 2013). Estão presentes, majoritariamente, no hemisfério Norte em regiões do Canadá, Groenlândia, Alasca e Sibéria.

O permafrost guarda em suas camadas muita matéria orgânica. Quando congelado, essa matéria orgânica não entra em decomposição e não apodrece. Porém, quando derretido, começa a ser decomposta, liberando gigatoneladas de gases de efeito estufa na atmosfera como dióxido de carbono e metano, contribuindo para o aquecimento do planeta, que por sua vez, pode derreter mais permafrost — criando um feedback positivo. Alterações no permafrost, não estão somente ligadas ao aumento de temperatura, mas também à espessura das coberturas de neve.

Muitas comunidades são construídas em cima de permafrost no hemisfério Norte. Contudo, se ele derreter, casas e outras infraestruturas, nessas comunidades, podem ser destruídas²⁶. Segundo os dados disponíveis no documento do IPCC(2013), até o final do século XXI, prevê-se que a área de permafrost próximo à superfície diminua entre 37% e 81%.

4.7.4 Estamos entrando em uma nova Era do Gelo?

Como explicado anteriormente, na Seção 4.3, os ciclos de Milankovitch — precessão, excentricidade e inclinação — têm colocado a Terra em eras do gelo que surgem e desaparecem em períodos regulares há milhões de anos (IPCC, 2007).

Esses ciclos interferem na radiação solar que chega na Terra, e mais especificamente, a quantidade que atinge cada latitude em cada estação. Segundo o relatório do IPCC (2007), a fração de radiação que atinge o hemisfério Norte no verão, tem um papel fundamental nesse processo de eras glaciais: se essa fração ficar abaixo de um valor crítico, a neve formada no inverno passado não derrete no verão e progressivamente, mais e mais neve vai se acumulando (IPCC, 2007).

O dióxido de carbono (CO_2) também possui um papel importante nas eras glaciais. Os testemunhos de gelo²⁷ da Antártica mostraram que a concentração de CO_2 nas eras glaciais era de aproximadamente 190 ppm, e que nos períodos interglaciais²⁸, a concentração de CO_2 na atmosfera era cerca de 280 ppm (IPCC, 2007). Ou seja, temos uma conexão praticamente direta

²⁶ Disponível em: <<https://climatekids.nasa.gov/permafrost/>>. Acesso em: 22 abr. 2021.

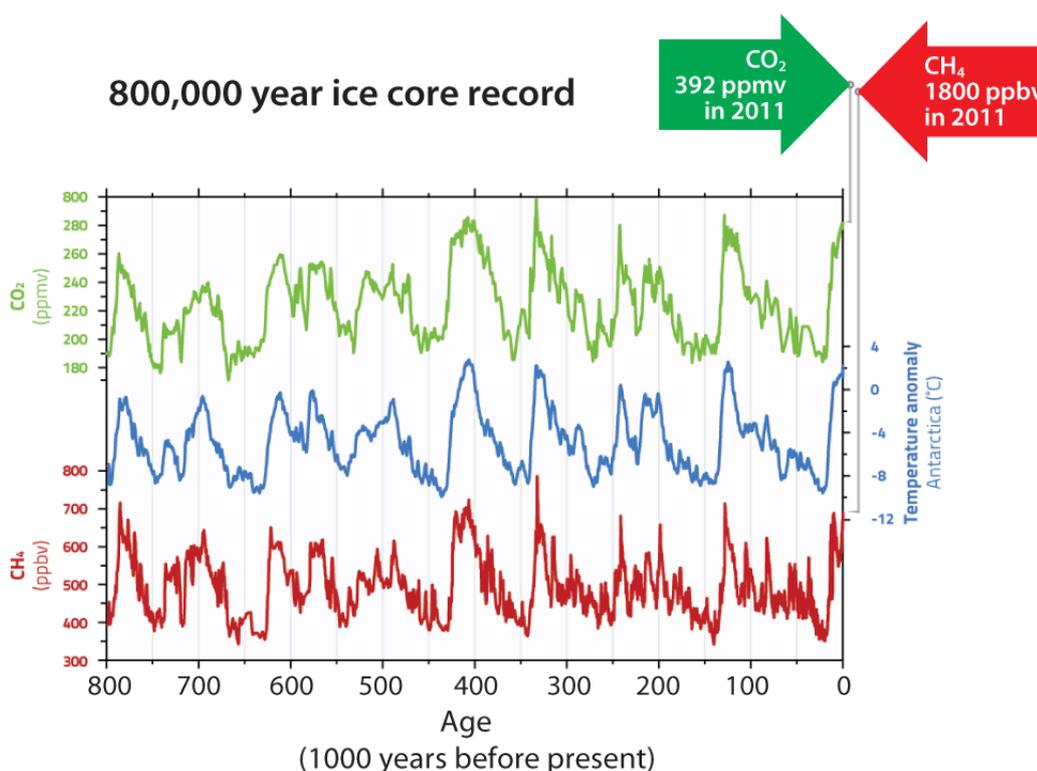
²⁷ Testemunhos de gelo são cilindros congelados retirados dos mantos de gelo e glaciares. Analisar sua composição e suas camadas permite aos cientistas reconstruírem o clima do passado. Cada camada corresponde a uma quantidade de anos. O topo do cilindro corresponde à uma formação mais recente, enquanto o fundo corresponde a centenas e até milhares de anos atrás.

²⁸ Período de aquecimento da Terra que dura cerca de 11.000 anos. Vivemos atualmente em um período interglacial, conhecido como Holoceno.

entre momentos mais quentes e uma maior concentração de CO_2 (outros gases de efeito estufa também) na atmosfera, e vice-versa.

Na Figura 4.18, é apresentado o registro climático de Vostok²⁹ na Antártica, obtido através da análise de testemunho de gelo da região, que ilustra bem essa correlação.

Figura 4.18 – Registro de testemunho de gelo de Vostok na Antártica dos últimos 800.000 anos. A linha verde representa a concentração de CO_2 na atmosfera em ppm. A linha vermelha representa a concentração de CH_4 na atmosfera. A linha azul representa a variação de temperatura. Os grandes picos de temperatura representam os períodos interglaciais



Fonte: International Geosphere-Biosphere Programme, modificado de Loulergue et al. 2008.

Podemos observar no gráfico da Figura 4.18 como a temperatura varia em sincronia com a variação da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente dióxido de carbono e o metano. Os níveis de CO_2 e CH_4 aumentaram em períodos quentes e caíram em períodos frios (ANGELO, 2016).

Isto posto, quando olhamos para as atuais concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera (conferir Figura 4.6) e quando verificamos que os mantos de gelo estão derretendo em taxa acelerada (Figura 4.14 e Figura 4.16), torna-se bastante difícil pensar em uma nova era do gelo.

²⁹ Estação polar russa na Antártica, inaugurada em dezembro de 1957.

5 A CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Nas seções a seguir serão apresentadas: a Pesquisa Baseada em Design (Design-Based Research - DBR), que orientará o desenvolvimento da Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA); e o Padrão Argumentativo de Toulmin, que será o modelo utilizado para a construção dos argumentos que serão trabalhados na sequência didática.

5.1 A Pesquisa Baseada em Design e a proposição da Sequência de Ensino e Aprendizagem

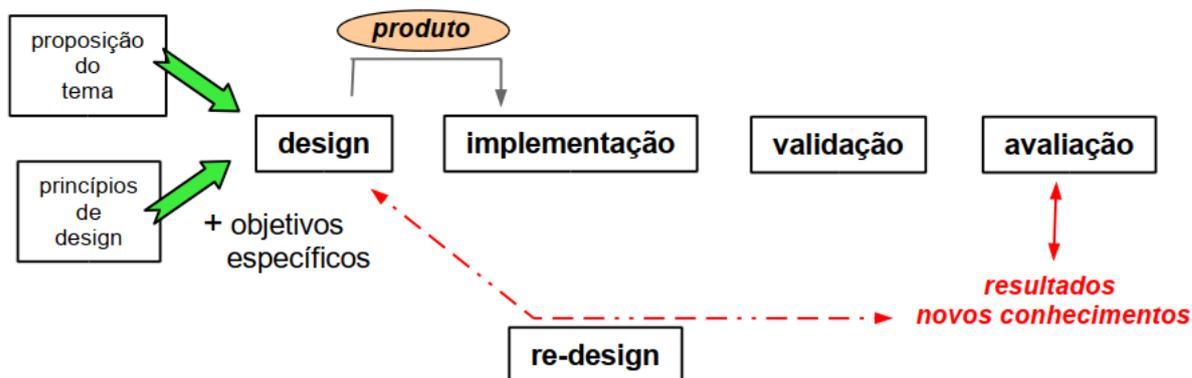
Em busca de inovações metodológicas, surgiu na década de 1990 uma nova abordagem conhecida como Pesquisa Baseada em Design (Design-Based Research - DBR). Essa metodologia busca integrar teoria e prática, combinando uma perspectiva teórica com aplicações práticas no contexto educacional (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017).

A DBR tem sido amplamente utilizada para o desenvolvimento e aprimoramento de sequências de ensino e aprendizagem (SEA). Os projetos que adotam a metodologia DBR são geralmente realizados em colaboração entre professores e pesquisadores da área educacional. A presença dos professores é fundamental, pois eles possuem um conhecimento prático dos desafios enfrentados no contexto escolar (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017).

Uma característica essencial da DBR é a sua execução em ciclos. Isso significa que os resultados obtidos a partir da aplicação da DBR permitem o enriquecimento do material. Assim, a DBR se dedica tanto à análise do processo de design quanto a elaboração do produto (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017).

O processo de desenvolvimento das SEA, a partir da metodologia DBR, envolve cinco etapas principais: a escolha do tema e dos princípios de design, o design propriamente dito, a implementação, a avaliação e o re-design. A Figura 5.1 ilustra um esquema que apresenta todas essas etapas.

Figura 5.1 – Esquema da metodologia baseada em design



Fonte: (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017, p. 10)

Na primeira etapa, são estabelecidos os princípios de design que servirão como guias para todo o processo de elaboração e intervenção da pesquisa. Esses princípios podem ser teóricos, didáticos, axiológicos ou de aprendizagem, e devem estar alinhados com os objetivos específicos da SEA em termos de conteúdo e habilidades a serem desenvolvidas.

Na segunda etapa, ocorre a elaboração da SEA, com a formação de uma equipe responsável pelo design. A participação de professores é essencial, principalmente de professores que atuam no contexto em que a SEA será desenvolvida. Ao final desta etapa, a equipe terá em mãos um produto, um material didático que será utilizado pelo professor.

A implementação da SEA é realizada na terceira etapa, preferencialmente por um ou mais professores que participaram do design. É nessa etapa que serão coletados os dados e realizada análise do que foi produzido, visando o re-design.

Em seguida, tem-se a etapa da avaliação em que se pretende analisar aspectos como validade, efetividade e praticidade da SEA, em relação aos objetivos estabelecidos e os princípios de design.

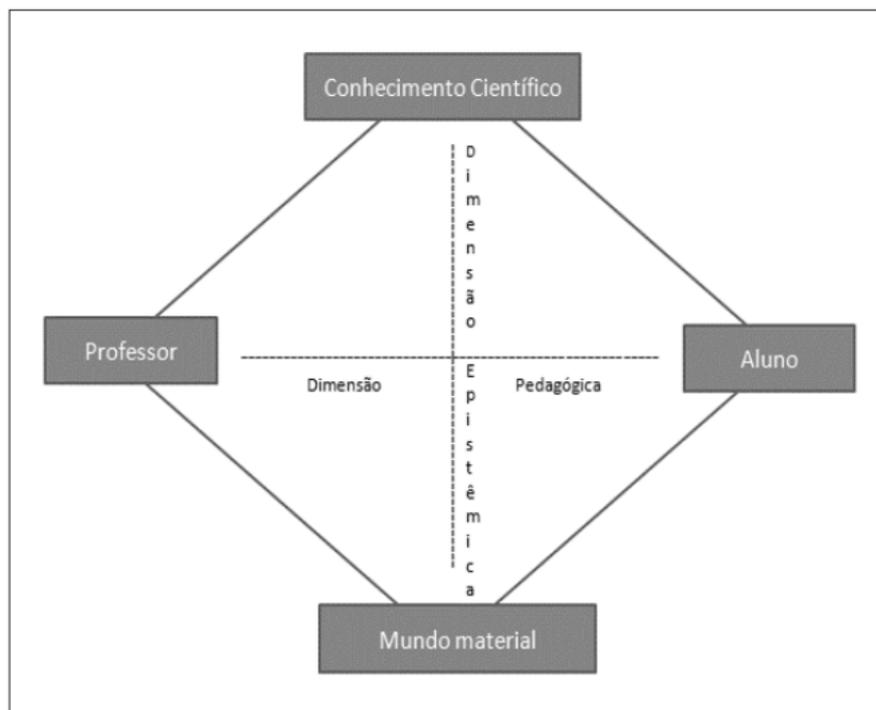
Por fim, temos a etapa de re-design, na qual a SEA é re-planejada com base nos resultados da avaliação. Nesta etapa, são feitas as correções e alterações necessárias para melhorar a SEA, levando em consideração os pontos positivos e negativos identificados. Essa abordagem cíclica da DBR permite que o projeto seja revisado e implementado novamente, quantas vezes forem necessárias, visando aprimorar continuamente o trabalho (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017).

Como forma de fundamentar e orientar o processo de construção e análise da SEA, defendemos o uso do Losango Didático (LD), apresentado por Méheut e Psillos (2004), corroborando com Junior e Silva (2020) e Silva e Wartha (2018). Buscando um ensino que aproxime a ciência da realidade dos estudantes, de modo a evidenciar como o conhecimento científico contribui para a sociedade (JUNIOR; SILVA, 2020), compreende-se a importância de entender as relações epistêmicas e sociais que permeiam os indivíduos durante o processo de aprendizagem (SILVA; WARTHA, 2018).

Nesse sentido, reconhecendo as relações existentes entre os saberes dos(as) alunos(as) com o conhecimento científico e com os saberes do mundo material (SILVA; WARTHA, 2018), Méheut e Psillos (2004) identificam, para o processo de design de uma SEA, duas dimensões fundamentais: epistêmicas e pedagógicas. Na primeira, estabelece-se uma relação entre o mundo material (contextual) e o conhecimento científico (conceitual), considerando as influências mútuas entre as Ciências e o contexto histórico-social; e na segunda, identifica-se uma relação entre professor e estudante, levando em conta os diálogos e interações tanto de professor/aluno quanto de aluno/aluno (SILVA; WARTHA, 2018).

As dimensões epistêmicas e pedagógicas, bem como as inter-relações entre os vértices alunos(as), professor(a), mundo material e conhecimento científico — configurando-se no losango didático —, podem ser visualizados a partir da Figura 5.1.

Figura 5.2 – Losango didático: relações epistêmicas e pedagógicas.



Fonte: Junior e Silva (2020, p. 3)

Entretanto, conforme Junior e Silva (2020), o LD carece de um caráter instrumental que possibilite relacionar, de forma clara e utilitária, as variáveis envolvidas no processo de ensino e aprendizagem. Por isso, os autores propuseram outra maneira de empregar o losango didático, estabelecendo relações articuladoras (RA), de modo a viabilizar seu uso como instrumento.

A promoção do caráter instrumental do losango didático pode possibilitar aos professores uma atualização de suas práticas, visando um ensino menos disciplinar, menos centralizado(a) no(a) professor(a) e que favoreça a participação ativa dos(as) estudantes (JUNIOR; SILVA, 2020).

Junior e Silva (2020, p.5) apresentam as relações articuladoras (RA) como meios pelos quais o professor organiza sua prática cotidiana com um enfoque nos construtos do losango didático. Essas relações articuladoras podem ser entendidas como entidades nas arestas do LD, em uma intrínseca relação de comunicação com suas vertentes didática e epistêmica. Deste modo, as RA articulam os vértices professor-mundo material, professor-conhecimento científico, aluno-mundo material e aluno-conhecimento científico, ao longo das arestas do LD (JUNIOR; SILVA, 2020).

Baseado nas relações articuladoras propostas por Junior e Silva (2020), e considerando o ensino por investigação buscando interações discursivas, estruturamos as nossas próprias RA:

- 1. Relação articuladora 1 [Professor-Aluno (PA)]:** O professor atua como mediador e facilitador do processo investigativo, orientando os alunos, fornecendo suporte e promovendo a reflexão sobre os resultados obtidos.
- 2. Relação articuladora 2 [Aluno-Aluno (AA)]:** Os alunos interagem entre si, compartilham ideias, discutem os resultados de suas investigações, promovendo a construção coletiva do conhecimento.
- 3. Relação articuladora 3 [Aluno-Mundo Material (AMM)]:** Os alunos estabelecem uma conexão direta com o mundo material, realizando experimentos, coletando dados, observando fenômenos e investigando situações reais para construir o conhecimento.
- 4. Relação articuladora 4 [Aluno-Conhecimento Científico (ACC)]:** Os alunos utilizam conhecimentos científicos, teorias, conceitos e metodologias para embasar suas investigações, interpretar os resultados e ampliar sua compreensão sobre o tema em estudo.
- 5. Relação articuladora 5 [Mundo Material-Conhecimento Científico (MMC)]:** Os alunos relacionam o conhecimento científico adquirido com as situações concretas do mundo material, aplicando conceitos e teorias para entender fenômenos, explicar ocorrências e resolver problemas.
- 6. Relação articuladora 6 [Professor-Mundo Material (PM)]:** O professor estabelece uma conexão entre os conteúdos e conceitos abordados em sala de aula com situações do mundo material, trazendo exemplos, experimentos ou materiais para enriquecer a investigação dos alunos.
- 7. Relação articuladora 7 [Professor-Conhecimento Científico (PC)]:** O professor utiliza o conhecimento científico como base para orientar as investigações dos alunos, fornecendo informações teóricas, conceitos e teorias relevantes para a compreensão do tema em estudo.

Em nosso estudo, nos concentramos nas duas primeiras etapas da DBR, que consistem na proposição dos princípios de design e no próprio processo de design. Na proposição dos princípios de design, buscamos estabelecer diretrizes teóricas e didáticas que servirão como base para o desenvolvimento da SEA. Esses princípios serão fundamentais para orientar a concepção da sequência, garantindo sua coerência e alinhamento com os objetivos educacionais estabelecidos.

No processo de design, nosso foco será aprimorar a SEA por meio de iterações e refinamentos sucessivos, constituindo o Design ampliado. Pretendemos adotar uma abordagem cíclica, na qual iremos avaliar continuamente o design proposto, coletar feedbacks relevantes e realizar ajustes necessários. Dessa forma, esperamos aperfeiçoar a qualidade e a efetividade da SEA, de modo a atender às necessidades e demandas dos estudantes e do contexto educacional.

5.2 Dos Princípios de Design ao Design ampliado da SEA

Tendo como pressuposto as duas primeiras etapas da Pesquisa Baseada em Design (DBR) e utilizando o Losango Didático como elemento estruturante para os princípios de design, um relacionado à dimensão epistêmica e outro à dimensão pedagógica, construiu-se a SEA, a partir das seguintes etapas:

1. Escrita dos princípios de design relacionados às dimensões epistêmica e pedagógica

Para a construção da SEA, estabelecemos os seguintes princípios de design:

Dimensão Epistêmica - Para a construção dos conhecimentos científicos envolvendo as Mudanças Climáticas foi necessário a proposição de modelos teóricos, apoiados por dados e evidências, de forma a sustentar as hipóteses levantadas e justificar a necessidade de tomar ações acerca das ações humanas no meio ambiente;

Dimensão Pedagógica - Favorecer interações em grupos, e destes com o professor, de modo que a construção do conhecimento seja coletiva, possibilitando aos estudantes a apropriação de práticas científicas e epistêmicas como proposição, avaliação, legitimação e comunicação de conhecimento, bem como de interações discursivas, principalmente a argumentação.

2. Delimitação do tema e identificação de uma problematização, com foco na dimensão epistêmica.

Compreensão das Mudanças Climáticas, objetivando identificar situações-problemas, que propiciem a necessidade de buscar conhecimentos científicos que respondam à problematização. Um pouco deste resultado é apresentado na seção 4.

3. Construção de argumento padrão, com foco na dimensão epistêmica/pedagógica.

O Padrão Argumentativo de Toulmin (TOULMIN, 2006) — do inglês *Toulmin's Argument Pattern* (TAP) — fornece a estrutura de um argumento e seus elementos, permitindo identificar as relações entre os conteúdos, bem como momentos de argumentação e explicação na SEA. Assim, as nossas alegações ou conclusões, que na estrutura de Toulmin é simbolizada por (C), necessitam de dados (D) que fundamentem essas alegações. Para que possamos relacionar esses dados à conclusão, se faz necessário o uso de um elemento que sirva como ponte entre eles. Esse elemento é chamado pelo autor de garantias (W), que basicamente são afirmações gerais, que nos autorizam a passar dos dados para a conclusão.

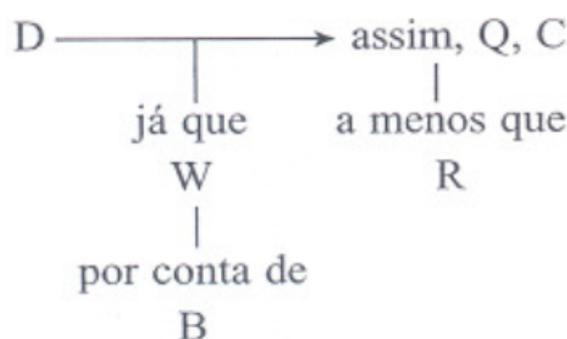
Podemos incluir nessa estrutura um qualificador modal (Q), que especifica as condições necessárias para que a garantia ainda seja válida, ou seja, estabelece qual o limite da aplicação

dessa garantia. Da mesma forma, podemos acrescentar uma condição de exceção ou refutação (R), que são condições excepcionais que colocam as garantias à prova (TOULMIN, 2006).

Por fim, ainda pode-se adicionar um último elemento à estrutura argumentativa. Muitas das vezes, necessitaremos de sustentar nossas garantias. Para isso, temos o apoio (B), que é um conhecimento básico baseado em alguma autoridade, lei jurídica ou científica, usado para fundamentar a garantia (TOULMIN, 2006).

A Figura 5.3 ilustra essa estrutura, identificando os elementos que compõem o TAP.

Figura 5.3 – Padrão Argumentativo de Toulmin: dados (D), garantias (W), apoio (B), qualificador (Q), condição de refutação (R), conclusão (C).



Fonte: Toulmin (2006, p. 150)

Reconhecendo a importância da estrutura dos argumentos e buscando planejar atividades que favoreçam o surgimento de argumentos e da argumentação em sala de aula, organizamos um conjunto de argumentos de referências que serão considerados no planejamento da sequência de ensino e aprendizagem.

Os argumentos de referência foram construídos tomando como base as quatro FAQ 's apresentadas e explicadas na Seção 4.7. Assim, a partir dos dados lá apontados, foram estruturados argumentos que buscam sustentar afirmações relacionadas às perguntas. Cada argumento possui quatro elementos, sendo eles: dados, garantias, apoio e conclusão — baseados no Padrão Argumentativo de Toulmin, mostrado anteriormente. Para além dos argumentos de referência, foi elaborado um argumento geral, o qual contempla todos os outros argumentos, constituindo-se como referência para o planejamento da SEA.

Quadro 5.1 – Argumentos de referência que fundamentaram a construção da SEA

1. Como sabemos que a temperatura média global vem aumentando ao longo dos anos?

Continua na próxima página

Quadro 5.0 – Continuação da página anterior

Afirmação de conhecimento: A temperatura média global vem aumentando ao longo dos anos.

Evidências: Aumento da temperatura em praticamente 1°C na temperatura do ar da superfície terrestre, a partir do século XX. Aumento da temperatura no ar marinho, da superfície do mar e do ar troposférico. Aumento do nível do mar. Diminuição da extensão do gelo marinho de verão no Ártico a cada ano. Perda de massas de gelo em regiões da Antártica, Ártico e Groenlândia.

Justificativas: A concentração de dióxido de carbono na atmosfera alcançou a marca de 420 ppm. É quase o dobro do valor observado nos períodos interglaciais, ao longo dos últimos 800.000 anos.

Apoio: O CO_2 interage muito bem com a radiação infravermelha, sendo, portanto, um gás de efeito estufa, favorecendo a retenção de calor na Terra.

2. O nível do mar está subindo?

Afirmação de conhecimento: O nível do mar está subindo em decorrência do aumento da temperatura média global.

Continua na próxima página

Quadro 5.0 – Continuação da página anterior

Evidências: As medições feitas por satélites desde 1993 mostram que o nível do mar está subindo a uma taxa atual de aproximadamente 3.3 mm/yr. Desde 1993 o nível do mar aumentou cerca de 9,9 centímetros. A contribuição estimada da expansão térmica da água, atualmente, é cerca de 1,2 mm/yr. Por sua vez, a contribuição estimada para o derretimento dos glaciares e mantos de gelo, atualmente, é cerca de 2,1 mm/yr.

Justificativas: O aumento da temperatura média global leva à expansão térmica da água dos oceanos, o que contribui para o aumento do nível do mar. Quando observamos as estimativas das contribuições, percebemos que elas estão de acordo com os valores medidos para o nível do mar. A elevação incomum do nível do mar está relacionada ao aquecimento global e ao aumento da temperatura média global. Essa taxa de mudança atual é incomum em relação ao observado durante os últimos 2000 anos. O derretimento dos glaciares e mantos de gelo ocorre devido ao aumento da temperatura média global, que resulta em mais água proveniente do gelo sendo adicionada aos oceanos. A taxa de mudança do nível do mar dobrou em relação ao medido no século XX.

Apoio: Acontece devido a mudança de fase (fusão), ou seja, passagem do estado sólido para o líquido. A água dilata ao ser aquecida, ocupando um volume maior. O volume do mar aumenta, pois mais conteúdo externo (água derretida dos glaciares) é adicionado ao sistema (mar).

3. A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?

Continua na próxima página

Quadro 5.0 – Continuação da página anterior

Afirmção de conhecimento: A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta em decorrência do aumento de temperatura média global.

Evidências: A Antártica perdeu aproximadamente 3000 gigatoneladas de massas de gelo desde o início de 1990, e está perdendo, atualmente, a uma taxa de 151 gigatoneladas por ano. A Groenlândia, por sua vez, perdeu cerca de 5000 gigatoneladas de massas de gelo desde 2002, e está perdendo, atualmente, uma taxa de 278 gigatoneladas por ano. No Ártico, no período de 2011-2019 teve, no final do verão, quase 3 milhões de km² de extensão de gelo a menos do que no final do verão de 1979-1990. Exposição de matéria orgânica nas regiões de Permafrost.

Justificativas: O aumento da temperatura média global tem contribuído para o derretimento acelerado das geleiras na Antártica e na Groenlândia, conforme evidenciado pelas perdas significativas de massa de gelo nessas regiões. O declínio da extensão de gelo no Ártico está diretamente associado ao aquecimento global, que congela cada vez menos após cada verão. A exposição de matéria orgânica nas regiões de Permafrost é um indicador da degradação do gelo perene, resultado do aumento das temperaturas do solo causado pelo aquecimento global.

Apoio: Acontece devido a mudança de fase (fusão), ou seja, passagem do estado sólido para o líquido.

4. Estamos entrando em uma nova era do Gelo?

Afirmção de conhecimento: É extremamente improvável que estejamos entrando em uma nova era do gelo, devido ao aumento na temperatura média global.

Evidências: As concentrações de CO_2 se mantiveram relativamente estáveis ao longo de 800.000 anos. Os valores aumentaram demasiadamente após as revoluções industriais.

Justificativas: Há uma correlação entre a variação de temperatura e a variação da concentração dos gases de efeito estufa. Nas fases interglaciais, a concentração não passava de, aproximadamente, 280 ppm. Os níveis de CO_2 e CH_4 subiam em períodos quentes e caíam em períodos frios. Como as concentrações desses gases estão altas, logo, a temperatura também está maior.

Continua na próxima página

Quadro 5.0 – Continuação da página anterior

Apoio: CO_2 e CH_4 são dois dos principais gases de efeito estufa, que possuem facilidade de interação com a radiação infravermelha, retendo calor na Terra.

Fonte: Próprio Autor (2023).

Baseado nos argumentos padrões elaborados a partir das FAQ's, construímos uma situação problema para a SEA, ou seja, a passagem da dimensão epistêmica para a pedagógica, visando a elaboração de um argumento geral, que contemplasse todos os outros argumentos, de modo a enfatizar que as ações humanas são as responsáveis pelas Mudanças Climáticas.

Quadro 5.2 – Argumento Padrão utilizado para o planejamento da SEA

Afirmção de conhecimento: A humanidade é a principal responsável pelas mudanças climáticas.

Evidências: Alterações físico-químicas observadas em diversos pontos: nível do mar, que está subindo a uma taxa atual de aproximadamente 3.3 mm/yr. Esta taxa é incomum com relação ao observado durante os últimos 2000 anos; temperatura média global, dado o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera a partir do século XIX, estando o CO_2 com uma concentração atual de 420 ppm, o CH_4 com 1920 ppb e o N_2O com 335 ppb, além do aumento da temperatura em quase 1°C no mesmo período; quantidade de neve e gelo, que está diminuindo numa taxa atual 420 gigatoneladas por ano (somando as taxas da Groenlândia e Antártica), além de observarmos uma extensão de gelo marinho no Ártico, no período do verão, cada vez menor.

Justificativas: As alterações mencionadas convergem para o mesmo resultado, ou seja, todos podem ser explicados devido a variação positiva da temperatura, que está relacionada à intensificação das atividades industriais a partir do século XVIII e XIX.

Apoio: Os gases CO_2 , CH_4 e N_2O possuem facilidade de absorver e reemitir a radiação infravermelha; há uma relação direta entre o aumento de concentração desses gases com o aumento de temperatura na superfície da Terra, pois mais calor será retido; temperaturas mais altas facilitam o derretimento — mudança de fase — das coberturas de neve no planeta; a neve derretida pode escoar para os oceanos, contribuindo para o aumento do nível do mar.

Continua na próxima página

Fonte: Próprio Autor (2023).

3. Proposição das atividades que compõem a SEA, com foco na dimensão pedagógica/epistemológica.

A partir dos princípios de design e levando em conta o argumento padrão construído na primeira etapa, são propostas as atividades que compõem a SEA. Para cada conteúdo, são elaboradas situações-problema e definidas as intenções das atividades, juntamente com a descrição de como serão implementadas em sala de aula. Nesse processo, a argumentação é considerada um elemento transversal que permeia todos os princípios de design.

4. Avaliação exploratória coletiva da SEA

No PraCESE, nem todos os membros participam da construção coletiva de todas as SEAs, devido a diferentes objetivos de pesquisa e aprendizagem. Portanto, é desenvolvido uma avaliação exploratória, na qual, ao finalizar a etapa de design, todos os membros se reúnem para analisar a SEA.

5. Segundo momento do Design da SEA

Com base nos resultados da avaliação exploratória da SEA, o material será submetido a ajustes no processo de Design. Após o Design ampliado, constituído especialmente dos tópicos 1 à 5, caso não sejam identificadas inconsistências ou incoerências, a SEA estará pronta para avançar para as próximas fases do processo, que incluem implementação, validação, avaliação e, se necessário, um novo (re)Design. Essas etapas seguem o processo descrito anteriormente e representado na Figura 5.3. O resultado desta etapa é apresentado no Apêndice A.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo adota uma abordagem qualitativa, que tem como objetivo aprofundar a compreensão do design da SEA focada nas Mudanças Climáticas. O objetivo principal é investigar como essa sequência pode promover a argumentação, facilitar o surgimento de práticas científicas e práticas epistêmicas, e promover a Alfabetização Científica.

Para validar e aprimorar o design da SEA, utilizamos o espaço do Núcleo de Extensão e Estudos em Práticas Científicas e Epistêmicas em Situações de Ensino e Aprendizagem (PraCESE). Esse núcleo é composto por licenciados e licenciandos em Física, bem como por professores do Ensino Superior que possuem expertise na área. Utilizamos o método do grupo focal como uma estratégia de coleta de dados para a avaliação exploratória do design.

O grupo focal é formado por um conjunto de participantes selecionados pelos pesquisadores, com o objetivo de realizar discussões aprofundadas sobre o tema de pesquisa. Durante essas discussões, consideramos as experiências pessoais dos participantes, buscando reunir conceitos, atitudes, experiências e reações que possam contribuir para o desenvolvimento do projeto de pesquisa (GATTI, 2005).

Por meio do grupo focal, criamos um ambiente propício para diálogos e reflexões, permitindo que os participantes avaliem a viabilidade, a praticidade e a qualidade da sequência de ensino e aprendizagem proposta. Buscamos ativamente a contribuição dos integrantes do grupo focal, incentivando a apresentação de melhorias, ideias e soluções que possam enriquecer o material, sempre levando em consideração os objetivos e princípios de design estabelecidos.

A utilização do grupo focal nos permite obter uma diversidade de perspectivas e ampliar nosso entendimento sobre a sequência de ensino e aprendizagem proposta. Ao promover um ambiente colaborativo, a troca de ideias e pontos de vista enriquece o projeto de pesquisa e nos permite obter informações valiosas em um curto período de tempo (GATTI, 2005).

Dessa forma, a inclusão do grupo focal como parte do processo de validação interna do design da SEA contribui para o aprimoramento e aperfeiçoamento do material, garantindo sua efetividade e alinhamento com os objetivos e princípios estabelecidos. Durante a avaliação do design da SEA, analisamos diversos aspectos, como a coerência interna do planejamento, a sequência lógica das atividades propostas, a integração dos conceitos científicos e a qualidade dos materiais didáticos utilizados.

Além disso, buscamos compreender como a sequência promove a argumentação e estimula o desenvolvimento de práticas científicas e práticas epistêmicas, considerando a interação

entre os estudantes, as estratégias de ensino adotadas e o contexto educacional. Essa abordagem analítica nos permite uma avaliação detalhada do design da SEA e sua adequação aos objetivos estabelecidos.

O grupo focal foi realizado em três encontros, com duração de noventa minutos cada. No primeiro encontro, os participantes foram convidados a realizar as atividades propostas na SEA. No segundo encontro, eles analisaram a estrutura da sequência de ensino e aprendizagem, levando em consideração critérios de validação relacionados à consistência, coerência e possíveis problemas de implementação. No terceiro encontro, os participantes utilizaram um instrumento específico presente no Quadro 6.1 para a análise da sequência. É importante ressaltar que todas as reuniões foram gravadas, o que facilitou o processo de correção e permitiu um registro preciso do que foi discutido durante os encontros.

Quadro 6.1 – Critérios de validação interna da Sequência de Ensino e Aprendizagem utilizados no Núcleo de Estudos e Extensão PraCESE

O processo de validação interna no PraCESE é fundamental para garantir que as atividades propostas nas SEAs atinjam seus objetivos de forma consistente e coerente com os princípios de design adotados. Para isso, foram definidos três critérios que são avaliados por todos os componentes ao final da etapa de design.

1. Consistência da Sequência de Ensino e Aprendizagem:

(Avaliar se a Sequência de Ensino e Aprendizagem está em conformidade com os princípios de design, com o público-alvo, se apresenta uma sequência lógica e se favorece o desenvolvimento de ambientes de interações).

- a) As atividades das SEA estão alinhadas aos princípios de design definidos?
- b) A organização da SEA segue uma sequência lógica, interligadas e coerentes entre si, ou seja, favorecendo a construção de um ambiente de interações?
- c) A SEA foi planejada de acordo com as características do público-alvo?

2. Coerência interna das atividades:

(Avalia se a atividade permite que os estudantes possam seguir uma linha de raciocínio e construir conhecimento de forma progressiva e sistemática).

- a) Os objetivos de cada atividade estão claros e relacionados ao objetivo geral?
- b) Os objetivos da atividade podem ser atingidos pelos estudantes? Se necessário, apresente sugestão para cumprir tais objetivos?

Continua na próxima página

Quadro 6.1 – Continuação da página anterior

- c) Os conteúdos específicos de cada atividade estão organizados de forma progressiva e sistemática?
- d) As estratégias e recursos pedagógicos utilizados são adequados e contribuem para alcançar os objetivos específicos? Existe algum outro recurso que poderia ser utilizado, buscando facilitar que os objetivos sejam alcançados?

3. Possíveis problemas na implementação:

(Buscar antecipar dificuldades que podem surgir durante a execução da SEA e propor possíveis soluções para minimizá-las. Assim, busca-se garantir que as atividades possam ser implementadas de forma efetiva e sem contratempos).

- a) Vocês identificam obstáculos que possam prejudicar a realização das atividades, tais como espaço físico e dos recursos disponíveis?
- b) As orientações para a implementação da SEA estão explicitadas e suficientemente detalhadas?

Fonte: Próprio Autor (2023).

Com o propósito de elucidar o processo de design e a implementação do grupo focal, este estudo apresentará os resultados e discussões por meio de um relato de experiência (RE), uma abordagem que visa identificar as alterações que impactaram o design. De acordo com Daltro e Faria (2019), o relato de experiência é uma forma de narrativa científica que envolve processos e produções subjetivas. Durante sua construção, o autor do relato emprega suas habilidades reflexivas e associativas, bem como suas crenças e posicionamentos como sujeito no mundo, sendo, portanto, um trabalho de linguagem em que a singularidade é narrada (DALTRO; FARIA, 2019).

Para alcançar esse objetivo, a pesquisa utiliza o histórico dos documentos que subsidiaram a construção da SEA e as gravações das reuniões do grupo focal, a fim de obter dados e informações relevantes para a análise. Essa abordagem permite uma compreensão mais abrangente do processo de design da sequência de ensino e aprendizagem, assim como das contribuições e percepções do grupo focal. Ao adotar a narrativa do relato de experiência como metodologia, o estudo proporciona uma visão mais rica e detalhada do processo de design e implementação da SEA, ao passo que considera a subjetividade dos envolvidos e o contexto em que a sequência foi desenvolvida.

7 RELATO DA CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A construção da SEA esteve, a todo momento, diretamente relacionada à estrutura utilizada para explicar as Mudanças Climáticas apresentada no Capítulo 4. A construção do material se deu ao longo de três versões, nas quais serão discutidas e comparadas ao longo deste capítulo. Como fonte de dados e informações, utilizamos o histórico de versões dos documentos do *Google*.

Vale destacar que o material apresentado no grupo focal foi a segunda versão. A versão final da SEA é o produto das discussões e orientações apontadas ao longo das reuniões.

7.1 Primeira versão da Sequência de Ensino e Aprendizagem

Para a construção da SEA, a referência eram os conteúdos presentes no Capítulo 4. Não haviam muitos materiais na literatura que propunham sequências de ensino ou propostas de atividades didáticas sobre mudanças climáticas — normalmente o que surge são propostas mais específicas: efeito estufa, camada de ozônio e aquecimento global —, muito menos propostas que, simultaneamente, buscassem o surgimento de interações discursivas e argumentação.

Assim, o desafio foi propor atividades que tratassem sobre as mudanças climáticas de uma forma ampla, abordando não só o aumento de temperatura, mas também outras consequências e tópicos, como: derretimento de coberturas de neve e gelo, aumento do nível do mar, efeito albedo e a possibilidade de uma nova era do gelo; e que, ao longo das atividades, os alunos e alunas pudessem estar envolvidos em práticas científicas e epistêmicas, bem como em interações discursivas.

Baseado nisso, analisando a primeira orientação estruturada para a SEA — Quadro 7.1¹ —, fica bastante evidente a semelhança com a fundamentação teórica, além das ações pedagógicas estarem bastante focadas no(a) professor(a).

¹ Este esboço foi retirado, na íntegra, do histórico de versões dos documentos do Google. Este trecho é de janeiro de 2022.

Quadro 7.1 – Primeiros esboços da SEA

A ideia seria, no início, dar uma base das Mudanças Climáticas, no sentido de compreenderem que existe um balanço entre a energia que entra na Terra e a energia que sai, e identificarem ou conhecerem alguns atores/agentes, sejam eles naturais ou antrópicos, que podem alterar esse balanço e causar distúrbios, como por exemplo, aquecimento global.

Depois, a ideia seria passar por alguns desses fatores e elementos relacionados, e mostrar evidências de quem de fato contribui para as Mudanças Climáticas, trazendo gráficos e dados que demonstram isso. O Objetivo geral, então, seria destacar o papel da força antrópica nessa questão, mostrando que sua contribuição é de longe, a maior.

Os fatores/agentes, a partir do meu trabalho, são: Ciclos de Milankovitch, Efeito Albedo e o Papel das Nuvens, Erupções Vulcânicas, Concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Fonte: Próprio Autor (2023).

É possível perceber um direcionamento inicial do trabalho em evidenciar que as ações humanas são as responsáveis pelos problemas e impactos observados, de modo a investigar e levantar as evidências que apontam para isso. Esta orientação foi a base da construção da primeira versão da SEA e, conseqüentemente, acaba aparecendo, em alguma medida, nas próximas versões. Nesse sentido, a fim de facilitar essa construção, e não ter uma preocupação inicial com número de aulas, a SEA foi dividida em etapas, sendo cada uma composta por uma, duas ou três aulas de 50 minutos.

De início, para contemplar toda a estrutura apresentada no Quadro 7.1, a seqüência foi dividida em sete etapas. Em conversas com o orientador, ficou decidido que seria importante que, na primeira etapa, houvesse um momento para investigar as concepções prévias e alternativas dos estudantes. Em meio a dificuldades de propor alguma atividade para tal, optou-se por trabalhar com questionários prévios. Não estava claro as maneiras de se buscar concepções prévias, e uma das poucas formas conhecidas, era através de questionários.

A princípio, o questionário era composto por oito perguntas que versavam sobre aspectos gerais das mudanças climáticas. Os tópicos presentes neste questionário, iriam, em alguma

medida, aparecer ao longo das outras atividades, portanto, não estava planejado algo como um pós-teste. As perguntas desse questionário inicial estão dispostas no Quadro 7.2.

Quadro 7.2 – Versão inicial do questionário prévio

1. *Que fatores podem influenciar na temperatura da Terra? Justifique.*
2. *Para todos os fatores listados anteriormente, diga se ele é natural, que acontece sem a ação humana, ou antropogênico, que é causado por ações humanas. Não se esqueça de justificar sua resposta.*
3. *Caso já tenha ouvido falar no efeito estufa, utilize o espaço abaixo para explicá-lo.*
4. *Qual a importância do efeito estufa para a Terra e conseqüentemente para nós?*
5. *As mudanças climáticas são causadas por ações humanas, que ações dos humanos são responsáveis pelas mudanças climáticas?*
6. *Que informações (dados) você utilizaria para justificar a existência das mudanças climáticas causadas pelos humanos, também chamada de mudanças climáticas antropogênicas?*
7. *Você saberia explicar como os cientistas conseguiram obter informações sobre o clima do passado?*
8. *Qual a diferença entre Clima e Tempo?*

Fevereiro de 2022

Fonte: Próprio Autor (2023).

Percebe-se que as perguntas estão diretamente relacionadas ao conteúdo em si, dificultando até mesmo para que os estudantes exponham suas concepções prévias. Além disso, essas perguntas, do modo como estão construídas, abrem bastante espaço para respostas como “Não sei”, “Não”, “Sim” e outras pelas quais os estudantes podem se esquivar do questionamento.

Buscando uma maneira de evitar esse tipo de resposta, tentamos adicionar outras etapas a cada uma das perguntas. Então, após responder cada pergunta, haveria um breve momento de socialização das respostas entre toda a turma e, em seguida, cada um deveria responder novamente a pergunta, podendo manter ou alterar a resposta baseada nas discussões realizadas. Caso houvesse uma mudança na resposta, os e as estudantes deveriam justificar o porquê da alteração.

Também buscávamos, com essas mudanças, construir um ambiente em que as respostas dos estudantes fossem debatidas e que eles pudessem apresentar justificativas para identificar e/ou complementar suas respostas anteriores.

Este processo deveria acontecer para cada pergunta, porém, iria gastar muito tempo, pensando em um contexto escolar com poucas aulas disponíveis. Para isso, algumas perguntas foram retiradas. No Quadro 7.3, é apresentada uma das perguntas da versão final do questionário.

Quadro 7.3 – Versão final do questionário prévio

<p>1. <i>Para você, que fatores podem influenciar no clima da Terra? Justifique.</i></p> <p>1A. <i>Depois de interagir com a turma, responda novamente a questão 1.</i></p> <p>1B. <i>Apresente os motivos/justificativas que levaram você a alterar sua resposta de 1A para 1B.</i></p> <p style="text-align: right;">Junho de 2022</p>
--

Fonte: Próprio Autor (2023).

Em relação às outras etapas, nesta primeira versão, nem todas tinham atividades e orientações descritas e detalhadas, somente algumas, como foi o caso da atividade da primeira etapa.

Na segunda etapa, a intenção era apresentar, de forma expositiva, os fatores que podem alterar o balanço energético da Terra: erupções vulcânicas; efeito albedo e as nuvens; efeito estufa; e os ciclos de Milankovitch. Para as aulas dessa etapa, haviam ideias de apresentar um vídeo do canal *Nerdologia*² sobre o tema, buscando introduzir algumas informações; realizar um experimento sobre o efeito estufa, com o intuito de enfatizar a interferência do CO_2 na temperatura; e realizar uma atividade sobre o efeito albedo, que permitisse aos estudantes identificar como as superfícies brancas refletem mais a luz.

Em conversas com o orientador e coorientador, percebemos que esta etapa ficaria extremamente extensa e que havia muito conteúdo a ser discutido. Portanto, decidimos separar as discussões sobre o efeito estufa em uma etapa à parte. Entendíamos que dedicar uma etapa focada no efeito estufa fosse mais proveitoso, visto que é um fenômeno bastante conhecido e importante para o entendimento das Mudanças Climáticas.

² “Aquecimento Global”; disponível em: <<https://youtu.be/8sovsUzYZFM>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Então, na terceira etapa, seria discutido o efeito estufa. A principal atividade para ser desenvolvida, era a realização de um experimento³ que enfatizasse a relação do CO_2 com a temperatura. Após o experimento, haveria um texto para leitura em grupo sobre os gases de efeito estufa, as principais origens de suas emissões e como o aumento de sua concentração pode agravar o fenômeno. Para finalizar, seria entregue um roteiro de perguntas para os alunos e alunas responderem. Neste roteiro, apareceriam algumas das perguntas usadas no questionário prévio, ou seja, haveria uma retomada dessas questões após as discussões sobre o tema.

Para a quarta etapa, a princípio, seriam discutidas as evidências que apontam para a elevação da temperatura média do planeta, utilizando um dos textos produzidos na fundamentação do trabalho — “*Como sabemos que o mundo aqueceu?*”, presente na seção ???. Entretanto, ao refletir sobre a estrutura e continuidade da SEA, percebemos a necessidade de deslocá-la para uma das últimas etapas, pois como as evidências da elevação de temperatura estão diretamente ligadas às alterações observadas nos oceanos e na criosfera, faria mais sentido discuti-las após o desenvolvimento dos outros dois temas.

Assim, as discussões dessa etapa passaram a ser sobre degelo da criosfera. Neste momento, inicia-se o uso dos textos (Seção 4.7) e argumentos construídos na Seção 5.2. Os e as estudantes deveriam ler o texto “*A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?*” e realizar uma atividade para identificar evidências no texto e construir justificativas. Esta é a primeira atividade em que há uma tentativa de que apareça, explicitamente, a argumentação.

Baseado em trabalhos da Jiménez-Aleixandre et al. (2009), foi elaborada uma tabela em que há várias afirmações “menores” — pois estão todas contidas dentro da afirmação “maior” —, em que os alunos e alunas devem identificar os dados que corroboram com essas afirmações e elaborar justificativas para esses dados. As evidências e justificativas elencadas em cada afirmação menor, contribuiriam para responder à afirmação maior. Esta atividade está apresentada no Quadro 7.4.

³ Disponível em: <www.babysits.com.br/materiais-da-comunidade/2569/experimentos-para-crianças-sobre-mudanças-climáticas/>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Quadro 7.4 – Primeira atividade sobre argumentação.

<i>A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta (degelo da criosfera)</i>		
Afirmção de conhecimento	Evidências	Justificativas
<i>A Antártica tem perdido grandes quantidades de massas de gelo</i>		
<i>A Groenlândia tem perdido grandes quantidades de massas de gelo</i>		
<i>Ártico está derretendo</i>		
<i>A extensão de gelo marinho de verão no Ártico está cada vez menor</i>		

Fonte: Próprio Autor (2023).

A estrutura relacionada à argumentação apresentada no Quadro 7.4 também aparece, inicialmente, em outras atividades, pois se acreditava que a argumentação deveria aparecer, claramente, em todas as etapas.

Quanto à quinta etapa, seria feita uma discussão sobre o aumento do nível do mar. O intuito desta etapa, desde o começo, era discutir as principais maneiras pelas quais o nível do mar pode aumentar, isto é: pelo derretimento de geleiras, entendendo o porquê determinadas regiões do planeta contribuem, enquanto outras não; e pela expansão térmica da água, discutindo-se sobre dilatação dos líquidos.

Buscando essas discussões, seria realizada a leitura do texto — “*O nível do mar está subindo?*” —, para em seguida, realizar uma tarefa bastante parecida com a da etapa anterior sobre argumentação. Ou seja, seria utilizada uma tabela para se elencar dados e justificativas, porém, dessa vez, também seria necessário apresentar um apoio que sustentasse as justificativas.

Depois, haveria um outro momento para que se realizasse um experimento sobre volume ocupado na água, buscando discutir quais regiões da criosfera contribuem ou não para o aumento do nível do mar. Então, teria uma tarefa relacionada ao experimento, de modo que a argumentação aparecesse — novamente em uma estrutura muito parecida com a do Quadro 7.4.

Sobre a sexta etapa, teríamos as discussões sobre elevação de temperatura e as evidências que corroboram para esse fato, utilizando o texto “*Como sabemos que o mundo aqueceu?*”. Após a leitura, os alunos e alunas deveriam realizar uma atividade de identificar as evidências no texto e justificar se elas são suficientes ou não, para podermos afirmar que a temperatura na Terra está aumentando. Esta atividade pode ser verificada no Quadro 7.5.

Quadro 7.5 – Atividade sobre elevação da temperatura na Terra

Após ler o texto, apresente as evidências mencionadas que explicitam que a temperatura da Terra está aumentando.

Evidências a partir do texto:

Você considera que há evidências suficientes para afirmar que o planeta está esquentando?

Sim () Não () Estou com dúvidas ()

Justifique sua resposta.

Fonte: Próprio Autor (2023).

Vale destacar que esta atividade foi a única que permaneceu inalterada desde a primeira versão da SEA. Houve mudanças nos objetivos, nas orientações e descrições da aula, porém, na atividade em si, não houve alterações. Esta atividade foi baseada na dissertação de Alves (2013, p.124).

Ao longo da sétima etapa, seria realizada uma discussão sobre a possibilidade de estarmos entrando em uma nova era do gelo. Para tal, seriam abordadas questões sobre paleoclimatologia, principalmente sobre os testemunhos de gelo, a fim de entender como eram as condições climáticas no passado.

Havia o intuito de explicar, expositivamente, as maneiras pelas quais podemos olhar para o clima do passado. Por outro lado, a principal atividade⁴ desta etapa, seria a análise de

⁴ Esta atividade foi inspirada nos materiais encontrados no seguinte endereço: <<https://byrd.osu.edu/create-classroom-ice-cores>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

um testemunho de gelo caseiro, buscando com que os estudantes percebessem as diferentes camadas presentes no material, inferindo as características climáticas de cada período.

Por fim, quanto à oitava etapa, ainda não se tinha, nesta versão, uma atividade estabelecida e detalhada, apenas a intenção de se realizar um fechamento para a SEA, buscando sistematizar tudo o que foi discutido e enfatizar, propriamente, o porquê as mudanças climáticas são causadas pelas ações humanas.

Antes de seguir para a elaboração da segunda versão da SEA, gostaria de apresentar alguns dos objetivos específicos das etapas descritas, pois acredito que seja importante comparar e discutir os objetivos presentes em cada versão, identificando as mudanças ocorridas. Os objetivos específicos de algumas etapas da primeira versão da SEA estão apresentados no Quadro 7.6.

Quadro 7.6 – Alguns dos objetivos específicos para a primeira versão da SEA.

Etapa	Objetivos específicos
4	Compreender que a Terra está perdendo suas coberturas de neve e gelo, devido às Mudanças Climáticas.
6	Compreender que a Terra esquentou demasiadamente a partir do final do século XX; Compreender que os humanos têm grande responsabilidade em relação ao aquecimento observado.
7	Compreender como podemos analisar e conhecer o passado do clima da Terra; Compreender a importância dos testemunhos de gelo para o estudo das Mudanças Climáticas; Identificar os diversos elementos presentes nos testemunhos; Entender o que esses elementos representam.

Fonte: Próprio Autor (2023).

Estes objetivos serão discutidos somente quando forem apresentados os objetivos presentes na segunda versão, facilitando o movimento de comparação e identificação de mudanças.

Com o intuito de sintetizar o que foi discutido e relatado nesta versão, bem como apresentar a estrutura da SEA até este momento, no Quadro 7.7, está presente uma breve descrição

das ações que seriam desenvolvidas em cada etapa. Destaco, mais uma vez, que nem todas as etapas tinham descrições e ações razoavelmente bem delimitadas, para estas, colocarei as intenções pretendidas com a etapa.

Quadro 7.7 – Síntese da primeira versão da SEA.

Nº	Etapa	Breve descrição das ações que serão desenvolvidas em cada etapa
1	Concepções prévias e Engajamento	Entrega de um questionário prévio, buscando as concepções prévias dos estudantes.
2	Forçamentos Externos	Apresentação e discussão de um vídeo do Nerdologia para introduzir o tema das Mudanças Climáticas; Explicações no quadro sobre as contribuições de fenômenos naturais para o clima: Ciclos de Milankovitch e Erupções Vulcânicas; Experimento sobre efeito albedo;
3	Efeito Estufa	Entrega de um texto para leitura sobre o fenômeno do efeito estufa e os principais gases contribuintes; Experimento para perceber a relação da temperatura com o CO_2 ; Entrega de um questionário sobre o fenômeno para ser respondida após o experimento e as discussões.
4	Degelo da Criosfera	Entrega do texto “ <i>A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?</i> ” para leitura; Atividade relacionada ao texto, em que se deve elencar as evidências presentes no texto e construir justificativas para relacionar a afirmação de conhecimento aos dados elencados.
5	Nível do Mar	Entrega do texto “ <i>O nível do mar está subindo?</i> ” para leitura; Atividade relacionada ao texto, em que se deve elencar dados, construir justificativas e um apoio, que sustente as justificativas; Experimento sobre o nível da água e volume ocupado; Atividade relacionada ao experimento;
6	Elevação da Temperatura	Entrega do texto “ <i>Como sabemos que o mundo aqueceu?</i> ” para leitura; Atividade sobre o texto, em que se deve identificar as evidências no texto e justificar se elas são suficientes ou não.
7	Nova Era do Gelo	Discussão de termos e conceitos sobre paleoclimatologia; Atividade de análise de um testemunho de gelo caseiro;
8	Fechamento	Não há atividades para esta etapa. A intenção é de um fechamento para a sequência didática, buscando sistematizar o que foi discutido e responder à pergunta: “ <i>Como sabemos que as Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas?</i> ”.

Fonte: Próprio Autor (2023).

7.2 Construção da segunda versão da Sequência de Ensino e Aprendizagem

Ao longo da construção da segunda versão da SEA, as etapas foram sendo melhor organizadas e detalhadas. Ainda que tenhamos usado uma estrutura para organizar a SEA desde o início, é somente nesta versão que ela começa a aparecer efetivamente, separando e descrevendo cada elemento adequadamente. Ao final desta versão, os objetivos também ficaram mais explícitos e melhores descritos. O Quadro 7.8 apresenta a estrutura organizacional que se estabelece ao fim desta versão.

Quadro 7.8 – Estrutura e organização para a SEA.

Conteúdos	Conteúdos que serão desenvolvidos ao longo da etapa.
Objetivos Específicos	Resultados, ações, comportamentos e procedimentos esperados dos alunos e alunas.
Recursos Didáticos	Materiais necessários para o desenvolvimento da etapa.
Descrição das ações em sala de aula	Orientações e explicações para o que deverá ser feito em cada momento. Também há ações esperadas para o(a) professor(a) e para os e as estudantes.
Intencionalidade e Comentários	O que se buscou com o desenvolvimento da etapa e das atividades, além de observações sobre suas construções.
Materiais para os estudantes	Atividades e textos que serão entregues e/ou apresentados aos estudantes ao longo da etapa.

Fonte: Próprio Autor (2023).

Por outro lado, a partir desta segunda versão, serão empregadas as relações articuladoras construídas na Seção 5.1, buscando uma comparação e articulação entre as etapas da primeira e da segunda versão da SEA e, conseqüentemente, da versão final.

A respeito da construção da SEA, nesta versão, há mudanças na quantidade de etapas e no tópico de algumas delas. Primeiramente, vou comentar sobre os temas que foram retirados, e em seguida, vou discutir cada etapa — em ordem —, como foi realizado para a primeira versão.

O primeiro tema retirado foi sobre os forçamentos externos. Como explicado anteriormente, para esta etapa, se tinha a intenção de discutir os fatores naturais que contribuem para alterar o balanço de energia da Terra, utilizando de explicações expositivas sobre o tema; vídeo; e um experimento.

Um dos motivos para a retirada deste tópico, é pelo movimento de se evitar aulas expositivas, no qual o professor(a) é o foco das relações presentes em sala de aula — relações entre o professor(a) e os(as) alunos(as), e destes com o conhecimento científico e mundo material, conforme os trabalhos de Junior e Silva (2020) e Silva e Wartha (2018). Este movimento também busca uma coerência com os objetivos e princípios do trabalho, em que se almeja um ambiente de sala de aula nos quais os e as estudantes sejam sujeitos e possam estar diretamente envolvidos na construção do conhecimento, bem como em interações, de modo que seja possível verificar indícios de Alfabetização Científica. Destaco que este processo, aparece somente neste momento, ao longo desta versão, muito pelo contato e um relativo aprofundamento nas discussões sobre planejamento de aulas, durante o desenvolvimento de algumas disciplinas na universidade.

O outro motivo, para além das dificuldades de se pensar em atividades para este momento, está relacionado à reflexão sobre a necessidade de se ter uma etapa inteiramente focada nestes tópicos. Logo, percebemos que seria mais interessante focar em outro tema — como o efeito estufa —, de modo que, se for necessário, os tópicos ciclos de Milankovitch, erupções vulcânicas e efeito albedo possam aparecer, em alguma medida, dentro das discussões de outros temas, seja por meio de perguntas dos e das estudantes ou de uma necessidade de pontua-los, buscando facilitar essas discussões.

O segundo e último tema retirado, foi sobre a nova era do gelo. Nesta etapa, tinha-se a pretensão de discutir sobre a possibilidade de estarmos entrando em uma nova era do gelo, apropriando-se, principalmente, de conteúdos relacionados à paleoclimatologia. E havia, como atividade notória, a análise de um testemunho de gelo construído em casa, buscando entender como são realizadas as investigações de composição da atmosfera e contagens de tempo para as camadas presentes no cilindro.

A principal dificuldade em relação a esta etapa foi em pensar e elaborar uma atividade sobre o tema, muito no sentido de como seria a orientação dessa atividade. Qual o objetivo com a atividade? O que deveríamos propor como investigação? Que perguntas deveríamos propor

para guiar as discussões? Ao não conseguir responder esses questionamentos, somado à falta de materiais disponíveis, retiramos este tema do desenvolvimento da SEA.

Em relação às demais etapas, todas elas vão conter atividades em grupos — em alguns momentos duplas e em outros, grupos de quatro pessoas —, na expectativa de que haja discussões, interações e negociações internas, ao longo da investigação do problema ou da questão posta naquela etapa. Haverá também um momento (ou mais) específico para socialização das atividades, buscando estabelecer, de forma conjunta, um consenso sobre o que está sendo discutido. Por outro lado, este momento também é importante para que os e as estudantes apresentem seus materiais, registros e conclusões, em um processo de comunicar o que elaboraram. Visamos que a relação articuladora Aluno-Aluno (AA) esteja sempre presente, favorecendo construções coletivas.

Serão raros os momentos em que o(a) professor(a) será o centro das discussões e atividades. Esse movimento pode acontecer durante as sistematizações. Portanto, espera-se que o(a) docente, durante a realização das tarefas, auxilie os grupos, sugerindo ideias, realizando questionamentos, estimulando-os a refletir sobre o problema posto e mediando as discussões internas. Do mesmo modo, espera-se que medie as discussões e interações, durante o momento de socialização das atividades — relação articuladora Professor-Aluno (PA).

Nessa direção, sobre a primeira etapa desta versão, ela foi completamente alterada. Buscava-se, através de questionários prévios, conhecer as concepções prévias dos e das estudantes. Entretanto, o uso de questionários acabou nos parecendo um pouco limitador. Não permitia tanta liberdade para que os alunos e alunas expressassem suas concepções sobre a temática, além de ser um processo fechado que implica em respostas certas e erradas. O papel esperado dos alunos(as) se encerra na resposta das questões, não havendo um momento de reflexão, discussão e interação com o(a) professor(a) e com os demais colegas, sobre o tema. Apesar da tentativa de minimizar essas contradições, como demonstrado no Quadro 7.3, em que aparece um momento para interação, a relação presente ainda é focada no(a) professor(a) como detentor do conhecimento, que estabelece as respostas erradas e certas.

Na tentativa de dar mais espaço aos estudantes, de modo que o foco das relações não fosse o(a) professor(a), mas sim Aluno-Conhecimento Científico (ACC), foi proposto o uso de mapas conceituais. Baseado no trabalho de Aguiar e Correia (2013), a construção dos mapas facilita a representação das ideias e de como cada informação, fenômeno ou conceito estão

relacionados entre si, além de possuir um caráter dinâmico, permitindo que sejam revisitados e reconstruídos.

Dessa maneira, seria entregue um roteiro explicando o que é e sugestões para a construção de um mapa conceitual aos estudantes que, em grupos, deveriam elaborar seu próprio material, levando em conta o tema das mudanças climáticas. Ao longo da elaboração, era esperado que os alunos e alunas discutissem entre si e com o(a) professor(a), buscando a melhor maneira de organizar e expor as ideias do grupo no formato do mapa. Ao final, cada grupo deveria apresentar seus mapas, identificando os elementos presentes e justificando as relações estabelecidas.

Como o assunto sobre forçamentos externos acabou sendo retirado, o tema de efeito estufa tornou-se a segunda etapa a ser trabalhada. Da mesma forma, esta etapa foi totalmente alterada. Visando com que os e as estudantes tenham um papel mais ativo dentro de sala de aula e que possam estar envolvidos em investigações, o questionário sobre o tema foi retirado. Optou-se, também, por não utilizar o experimento, preferindo usar simuladores computacionais — o experimento não permitia uma visualização ampla do fenômeno.

Os simuladores utilizados foram do PhET: “Moléculas e Luz”, buscando-se discutir a interação da radiação com os gases; e “Efeito Estufa”, para discutir a relação entre temperatura e concentração de gases de efeito estufa — para cada um, há uma tarefa para ser realizada. Antes do uso destes simuladores, há leitura de um infográfico sobre o efeito estufa, buscando discutir o fenômeno em linhas gerais, permitindo, posteriormente, realizar discussões mais particulares. Identificamos a presença as relações articuladoras Aluno-Conhecimento Científico (ACC); Professor-Conhecimento Científico (PC) e Professor-Mundo Material (PM).

As discussões sobre efeito albedo — que estavam na etapa sobre forçamentos externos —, formaram a terceira etapa. Para discutir este tema, utiliza-se um fragmento de texto do documento do IPCC, explicando o que é o efeito albedo, e um experimento simples, que busca constatar a diferença de temperatura entre superfícies claras e escuras. O foco deste momento está, principalmente, em discutir os efeitos de retroalimentação que podem ser gerados no clima. Para compreender o fenômeno os alunos e alunas devem se apropriar dos materiais fornecidos pelo(a) professor(a) e dos conteúdos discutidos na etapa anterior, a fim de construir um entendimento sobre o efeito albedo. Portanto, identifica-se a presença das relações Aluno-Conhecimento Científico (ACC), Professor-Conhecimento Científico (PC), Professor-Mundo Material (PM) e Aluno-Mundo Material (AMM).

Para a quarta etapa, o assunto discutido será sobre a elevação de temperatura. Na primeira versão, este tema aparecia somente na sexta etapa. Entretanto, buscando deixar a estrutura e organização dos assuntos da sequência mais coesa, de modo que as discussões sobre as evidências de um mundo mais quente ocorram logo depois do entendimento físico-químico pelo qual o planeta se aquece, optei por retornar esta etapa para cima. Por outro lado, essa mudança também facilita o seguimento das discussões posteriores, em que serão abordadas as consequências do aumento de temperatura na Terra.

As atividades e discussões para esta etapa, não foram alteradas. Há a leitura de um texto e depois uma tarefa relacionada a ele. As mudanças ocorridas foram buscando melhorar e detalhar as orientações e ações que serão desenvolvidas. Refletindo o porquê esta etapa não foi alterada ao longo das versões — já adianto que também não haverá mudanças para a terceira versão —, acreditamos que se deve ao fato de que, desde o início, a dimensão pedagógica está direcionada aos estudantes, de tal maneira que são eles que devem ler, discutir, verificar, identificar e justificar se as evidências no texto são suficientes ou não para responder ao problema. Enquanto que o(a) professor(a), deve estar engajado em auxiliar e mediar as discussões dos grupos, sugerindo caminhos, alternativas, e promovendo questionamentos. Julgamos que neste caso, as relações predominantes são ACC, PC e PM.

Quanto à quinta etapa, sobre degelo, houve poucas mudanças. Para o desenvolvimento, seria realizada a leitura de um texto, para em seguida ser feita uma atividade de identificar dados e construir justificativas das afirmações “menores”, buscando, ao final, responder à afirmação “maior”. Em discussão com o orientador e coorientador, foi proposta a retirada dessas afirmações “menores”, visto que todas elas teriam as mesmas justificativas e que cada uma poderia ser uma evidência da afirmação “maior”. Ou seja, seria mais fácil elencar as evidências e construir justificativas, considerando somente a declaração principal, de modo que as “menores” acabem surgindo eventualmente nesse processo. O Quadro 7.9 apresenta o modelo final da atividade. Durante as discussões sobre o texto, foi inserido um infográfico sobre o derretimento do permafrost, de maneira que os alunos e alunas pudessem elencá-lo como mais uma evidência ao fazer a tarefa.

Sobre as RAs, como os e as estudantes devem elencar as evidências do texto e construir justificativas, baseado nos materiais e discussões proporcionado pelo(a) professor(a), consideramos a presença das relações ACC e PC.

Quadro 7.9 – Atividade sobre o degelo da criosfera.

Afirmação de conhecimento	Evidências	Justificativas
<i>A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta.</i>		

Fonte: Próprio Autor (2023).

Para a sexta etapa, em que é abordado o aumento do nível do mar, pretendia-se ler um texto e, posteriormente, realizar um experimento. Em ambas as práticas, haveria uma atividade para elencar evidências e construir justificativas — como apresentado no Quadro 7.9, adicionando-se o elemento apoio. Entretanto, para evitar que as aulas fiquem repetitivas, em que há leitura de um texto e depois uma tarefa de construir um argumento, optei por retirar tanto o texto, quanto este tipo de atividade.

Portanto, permaneceu o experimento, contendo uma tarefa investigativa. Acredito que o experimento dialoga diretamente com a proposta de se investigar e discutir o porquê determinadas regiões, quando derretidas, contribuem para o aumento do nível do mar, enquanto outras, não. Por isso sua permanência, acompanhada de uma tarefa que oriente essa investigação. Devido a presença do experimento, acreditamos que, para além das relações articuladoras ACC e PC, também aparecem as AMM e PM.

Com relação a última etapa, buscando um fechamento para as discussões, propus o retorno aos mapas conceituais elaborados na primeira aula. Com dificuldades de pensar em atividades, optou-se por revisitar os mapas elaborados, com o intuito de que os e as estudantes identifiquem possíveis mudanças em seus materiais, no sentido de elencar o que faltou, o que poderia ser acrescentado e que outras relações poderiam ser estabelecidas, agora que eles têm um entendimento mais amplo sobre o tema. Nesta parte, identificamos somente a relação articuladora ACC.

Antes de encerrar os comentários desta versão, acredito que vale comparar os objetivos específicos da primeira (Quadro 7.6) com a segunda versão, verificando-se as alterações. No Quadro 7.10, apresento alguns dos objetivos elaborados ao longo desta versão.

Quadro 7.10 – Alguns objetivos específicos para a segunda versão da SEA.

Etapa	Objetivos específicos
4	Reconhecer que as ações humanas têm grande responsabilidade em relação ao aquecimento observado, comparando as taxas de CO_2 e CH_4 na atmosfera antes e depois do início das revoluções industriais; Identificar as principais atividades que emitem grandes quantidades de gases de efeito estufa na atmosfera, listando quais são; Relacionar os gráficos presentes no texto, inferindo que a Terra está ficando cada vez mais quente; Analisar e interpretar os gráficos presentes no texto, identificando informações relevantes que apontam para um planeta mais quente;
5	Selecionar evidências através do texto, reunindo dados que enfatizam que o planeta Terra está perdendo camadas de neve e gelo; Analisar e interpretar os gráficos presentes no texto, percebendo como as regiões do Ártico e Antártica são bastante afetadas pelo aquecimento global; Elaborar um argumento que sustente a afirmação de conhecimento, explicitando os dados e as justificativas.

Fonte: Próprio Autor (2023).

Em conversa com o orientador, foi sugerido a leitura do trabalho de Ferraz e Belhot (2010), com o intuito de rever a escrita dos objetivos — antes de formular os objetivos apresentados no Quadro 7.10. Ao compararmos as finalidades apresentadas em ambas as versões, percebe-se que, na primeira, está pouco detalhado, não explicando como o objetivo pode ser alcançado; há um excesso dos verbos “compreender” e “entender”; faltam objetivos atitudinais e procedimentais; e não contempla todas as intencionalidades e ações descritas nas atividades.

No Quadro 7.11, está presente uma síntese das atividades propostas para a segunda versão da SEA. Na seção seguinte, serão apresentadas as discussões e alterações para a versão final do material didático, que foi construída ao longo das reuniões do grupo do PraCESE.

Quadro 7.11 – Síntese da segunda versão da SEA.

Etapa	Breve descrição das ações que serão desenvolvidas em cada etapa
1 - Concepções prévias e Engajamento	Elaboração e apresentação de um mapa conceitual, buscando as concepções prévias e alternativas dos estudantes.
2 - Efeito Estufa	Leitura e discussão de um infográfico sobre o efeito estufa; Atividades utilizando dois simuladores do PhET: “Moléculas e Luz” e “Efeito Estufa”, buscando investigar a interação da radiação solar com a matéria e a relação entre a concentração de gases de efeito estufa e temperatura;
3 - Efeito Albedo	Leitura de um fragmento de texto sobre efeito albedo; Um breve experimento e tarefas associadas ao texto;
4 - Elevação de Temperatura	Leitura e discussão do texto “ <i>Como sabemos que o mundo aqueceu?</i> ”; Atividade sobre o texto, em que se deve identificar as evidências no texto e justificar se elas são suficientes ou não.
5 - Degelo da Criosfera	Leitura do texto “ <i>A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?</i> ”; Atividade relacionada ao texto, em que se deve elencar as evidências presentes no texto e construir justificativas para relacionar a afirmação de conhecimento aos dados elencados.
6 - Nível do Mar	Experimento sobre volume ocupado na água; Atividade investigativa que busca relacionar o experimento às discussões sobre contribuição para o aumento do nível do mar.
7 - Fechamento	Elaboração de um novo mapa conceitual, buscando revisitar e comparar com o material elaborado na primeira etapa.

Fonte: Próprio Autor (2023).

7.3 Construção da versão final da Sequência de Ensino e Aprendizagem

A construção da versão final da SEA, esteve diretamente associada às discussões ocorridas dentro do grupo do PraCESE. Com o objetivo de realizar, conjuntamente, uma avaliação exploratória da proposta, apresentamos a segunda versão para o grupo. Portanto, esta versão final conta com as correções e orientações sugeridas pelos integrantes, ao longo das reuniões.

Quadro 7.12 – Dinâmica para as discussões no PraCESE.

<p>Primeiro encontro (24/05/2023)</p>	<p>Apresentação dos princípios de design, dos objetivos de cada etapa, e das atividades. Verificar se as atividades contemplam os objetivos e os princípios.</p>
<p>Segundo encontro (31/05/2023)</p>	<p>Apresentação do contexto e detalhes da construção da SEA. Verificar o quanto o contexto potencializa e complementa os princípios. Proposição de adequações a SEA.</p>
<p>Terceiro encontro (07/06/2023)</p>	<p>Avaliação coletiva, verificando-se os critérios propostos.</p>

Fonte: Próprio Autor (2023).

No Quadro 7.12, é apresentado o cronograma das reuniões do grupo, buscando-se discutir a proposta didática. No primeiro encontro, propomos conversar somente sobre as atividades, sem as orientações do plano de aula, procurando verificar o quanto elas favorecem o surgimento de interações e se estão alinhadas aos objetivos e princípios de design estabelecidos.

Para o segundo, foi apresentado todo o plano de aula, contendo as orientações, intencionalidades e comentários acerca de cada etapa, verificando o quanto as ações pedagógicas potencializam e integram os princípios, os objetivos e as próprias atividades.

Por fim, no último encontro, analisamos toda a SEA a partir de critérios previamente elaborados pelo grupo, buscando validar o material. Os critérios de validação produzidos — dispostos no Quadro 6.1 —, levam em conta, principalmente, a consistência, coerência e possíveis problemas de implementação da sequência de ensino e aprendizagem. Vale ressaltar, que

todas as reuniões foram gravadas, facilitando o processo de correção e de relato do que foi discutido.

Em relação às correções sugeridas, as grandes alterações ocorreram na primeira e última etapa. Contudo, antes de relatar e discutir essas etapas, vou comentar, brevemente, sobre as demais mudanças, que versam sobre objetivos específicos, ações específicas esperadas do(a) professor(a) durante o desenvolvimento das aulas, mudanças nas atividades e na estrutura da sequência.

Havia alguns objetivos atitudinais e/ou procedimentais que se repetiam em todas as etapas, são eles: “Dialogar respeitosamente com o(a) professor(a) e os demais colegas” e “Socializar os registros das atividades com toda a turma, apresentando as escolhas e justificativas do grupo”. A fim de evitar essa repetição, foi sugerido que houvesse um momento, anterior ao plano de aula, elucidando aos leitores que se espera determinados comportamentos e atitudes dos alunos e alunas, ao longo do desenvolvimento da SEA.

Por outro lado, também foi apontado que as ações do(a) professor(a), enquanto os grupos realizam as tarefas solicitadas, deveriam estar mais explícitas, esclarecendo aos leitores as ações pedagógicas esperadas para o(a) docente. Durante as discussões da etapa sobre derretimento da criosfera, foi sugerido que se levasse toda a discussão sobre o aumento do nível do mar (etapa 6), para ser realizada depois da leitura do texto “*A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?*”, de modo a juntar as duas etapas, visto que o texto levanta discussões sobre nível do mar. Logo, foi realizada a junção das etapas, buscando melhorar a continuidade e coesão das atividades e discussões.

Em relação à primeira e última etapa, ambas referentes à elaboração de mapas conceituais, elas foram completamente alteradas. No decorrer das conversas no grupo, ficou bastante evidente que o uso dos mapas conceituais não contemplava as discussões pretendidas com o trabalho. Os mapas são ferramentas mais pertinentes para articular e correlacionar pequenas informações, termos e conceitos. Pensando no processo argumentativo que buscamos, principalmente no uso do argumento padrão proposto, esse instrumento acaba sendo insuficiente. Pensando em uma ação final, em que se espera que os e as estudantes sustentem a afirmação de que são as ações humanas que causam as Mudanças Climáticas e possam tomar decisões e/ou posicionar-se diante desse cenário — buscando com que a relação articuladora Mundo Material-Conhecimento Científico (MMC) apareça —, a utilização dos mapas precisou ser repensada.

Dessa maneira, para a primeira etapa — de concepções prévias —, o grupo propõe uma atividade de elencar cinco termos e/ou questões sobre a temática. Inicialmente, propõe-se que a atividade seja feita de forma individual e, em seguida, em grupos, buscando o surgimento de interações e negociações entre os integrantes, para decidir quais termos devem ser escolhidos. Por fim, no momento de socialização, toda a sala, de forma conjunta, também deverá elencar cinco termos. Em todas as condições, seja individual, em grupo ou em conjunto, os alunos e alunas devem justificar a escolha dos termos ou questões. Acreditamos que a RA presente é a PM, em que o(a) docente deve buscar as concepções dos e das estudantes.

Na última etapa, buscando uma articulação e sistematização de tudo o que foi discutido e produzido, propomos duas novas atividades. Primeiramente, os grupos devem elaborar um argumento padrão que busca responder a seguinte questão: “*As Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas?*”. Ou seja, um momento para sistematizar as evidências e justificativas identificadas e construídas ao longo de toda a SEA. Esta atividade é praticamente a mesma da exibida no Quadro 7.9, entretanto, as afirmações investigadas nas demais etapas — “O nível do mar está aumentando”; “A quantidade de neve e gelo está diminuindo”; “A temperatura está aumentando” —, tornam-se agora, evidências.

Para a segunda atividade, buscando um momento de tomada de decisão por parte dos grupos, propomos a leitura de publicações e falas negacionistas climáticas de figuras públicas e políticas para que em seguida, cada grupo possa se posicionar diante desse movimento, elaborando um material contestando-as. Há uma breve história para contextualizar esse processo, apresentado no Quadro 7.13. Com os materiais elaborados, esperamos que seja possível exibi-los em murais ou em eventos da escola, buscando dialogar também com a comunidade escolar.

Logo, as RAs identificadas são a ACC, PC e MMC, pois o conhecimento deve ser sistematizado e, a partir disso, os alunos e alunas devem posicionar-se diante do que foi exposto, utilizando-se do conhecimento científico construído. Há um retorno ao mundo material, de modo a tentar resolver os problemas e/ou questões postas.

Quadro 7.13 – Atividade final da SEA

Imaginem que vocês façam parte de uma equipe vinculada ao IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), e estão preocupados com a disseminação de informações falsas e negacionismo climático, principalmente por parte de figuras políticas, que têm o poder de tomar decisões e propor políticas públicas.

Diante desse contexto, vocês estão bastante descontentes com os discursos apresentados por esses políticos, visto que estas falas têm a capacidade de alcançar milhões de pessoas, legitimando manifestações anti-ciência.

A equipe, portanto, decidiu elaborar materiais e/ou instrumentos com o intuito de contestar esses discursos, buscando enfatizar que há um consenso muito bem estabelecido pela comunidade científica sobre o tema das Mudanças Climáticas e que esta posição não é baseada em opiniões, mas sim, em evidências. Além disso, a equipe julgou que seria relevante que os materiais elaborados fossem o mais didáticos possível, buscando dialogar com a população, explicando, em alguma medida, o impacto que falas negacionistas podem trazer à sociedade.

Fonte: Próprio Autor (2023).

No Quadro 7.14, é apresentada a síntese da versão final da SEA, levando em conta todas as alterações e apontamentos sugeridos pelo grupo do PraCESE.

Quadro 7.14 – Síntese da terceira versão da SEA.

Etapa	Breve descrição das ações que serão desenvolvidas em cada etapa
1 - Concepções prévias e Engajamento	Atividade para elencar termos e/ou questões sobre as Mudanças Climáticas, buscando um ambiente de interações, além de conhecer as concepções prévias dos e das estudantes.
2 - Efeito Estufa	Leitura e discussão de um infográfico sobre o efeito estufa; Atividades utilizando dois simuladores do PhET: “Moléculas e Luz” e “Efeito Estufa”, buscando investigar a interação da radiação solar com a matéria e a relação entre a concentração de gases de efeito estufa e temperatura;
3 - Efeito albedo: O Papel das Nuvens	Leitura de um fragmento de texto sobre efeito albedo; Um breve experimento e tarefas associadas ao texto;
4 - Elevação de Temperatura: O mundo está ficando mais quente?	Leitura e discussão do texto “ <i>Como sabemos que o mundo aqueceu?</i> ”; Atividade sobre o texto, em que se deve identificar as evidências no texto e justificar se elas são suficientes ou não.
5 - Consequências de um mundo mais quente: o derretimento das geleiras e o aumento do nível do mar	Entrega do texto “ <i>A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?</i> ” para leitura; Atividade e discussão sobre o aumento do nível do mar, a partir de um experimento; Atividade relacionada ao texto, em que se deve elencar evidências presentes no texto e construir justificativas para relacionar a afirmação de conhecimento aos dados elencados.
6 - Fechamento: As Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas?	Atividade de sistematização dos argumentos, buscando responder a questão: “ <i>As Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas?</i> ”; Leitura de publicações e falas negacionistas de figuras políticas; Atividade de elaboração de um material que conteste essas falas, buscando um posicionamento dos alunos e alunas.

Fonte: Próprio Autor (2023).

Procurando a validação coletiva da SEA, no último encontro do núcleo, foi realizada uma avaliação do material, baseada nos critérios construídos previamente, conforme o Quadro 6.1.

Sendo assim, considerando o critério de consistência para a SEA, verificou-se a importância de haver um momento de tomada de decisão por parte dos e das estudantes, buscando coerência com os objetivos e princípios de design estabelecidos. Por outro lado, constatou-se que a SEA está de acordo com o público alvo e segue uma ordem lógica e coerente, possibilitando um ambiente de interações.

Quanto à coerência das atividades, foi pontuada a necessidade de se rever alguns objetivos específicos, de modo que estivessem mais detalhados, explicitando-se o que se pretende e espera, tanto dos(as) alunos(os) quanto do(a) professor(a). Ademais, foi sugerido se evitar repetições de alguns desses objetivos, ao longo das etapas, permitindo uma leitura mais fluida do material. Portanto, como comentado anteriormente, explica-se, no início da SEA, que há determinados comportamentos e atitudes esperadas para todos os constituintes dentro de sala de aula.

Finalmente, ponderando sobre possíveis problemas e obstáculos de implementação do material, o grupo acordou que uma das poucas adversidades possíveis era em relação ao uso dos simuladores, tendo em vista a possibilidade do ambiente escolar não dispor de uma sala de informática. Contudo, na própria descrição e orientação das etapas na SEA, são sugeridas alternativas para se conseguir utilizar os simuladores, frente a este cenário.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da consolidação desse consenso na comunidade científica, algumas vezes negacionistas ainda contestam as Mudanças Climáticas, perpetuando um debate desnecessário e deslegitimado no cenário científico. Nesse contexto, a presente pesquisa se propôs a enfrentar o desafio de discutir as evidências que apontam para as responsabilidades humanas em relação ao tema, contribuindo para a disseminação do conhecimento científico, a promoção da argumentação embasada em evidências e a formação de cidadãos críticos e conscientes sobre a importância do cuidado com o meio ambiente.

O presente estudo buscou explorar detalhadamente o processo de construção de uma sequência de ensino e aprendizagem voltada para abordar a temática das Mudanças Climáticas, com foco na promoção da argumentação, construção de práticas científicas e práticas epistêmicas, além de estimular a Alfabetização Científica entre os estudantes.

A adoção da metodologia DBR, especialmente do Design ampliado, possibilitou uma abordagem reflexiva e iterativa no desenvolvimento da sequência de ensino e aprendizagem, permitindo a adaptação e aprimoramento contínuo com base nos dados obtidos ao longo do processo. A construção da SEA foi um empreendimento colaborativo, envolvendo professores-pesquisadores e licenciandos em uma dinâmica que incentivou um ambiente de aprendizado colaborativo e significativo.

Entendemos que a SEA elaborada pode ser efetiva em promover a argumentação, engajar práticas científicas e epistêmicas e estimular o pensamento científico entre os e as estudantes. Isso porque, a todo momento, eles estão envolvidos em discussões, interações e negociações, buscando a construção coletiva do conhecimento.

As etapas do Design ampliado foram fundamentais para permitir ajustes e melhorias no material, visando aprimorar sua eficácia em relação aos objetivos educacionais e princípios de design propostos.

Considero que a pesquisa foi bastante importante para minha formação acadêmica e profissional, uma vez que realizei um longo estudo sobre as Mudanças Climáticas, tanto em relação aos conceitos científicos quanto ao seu caráter político-social. Além disso, tive a oportunidade de refletir e elaborar um material didático sobre o tema, contribuindo para as minhas futuras práticas em sala de aula.

Contudo, é importante reconhecer que este estudo representa apenas o início do processo de implementação da SEA. Nesse sentido, esperamos, em futuras pesquisas, explorar a aplica-

ção da SEA em diferentes contextos educacionais, analisando as práticas científicas, práticas epistêmicas e a qualidade da argumentação resultante da sua realização. A realização de etapas posteriores da metodologia DBR será fundamental para a validação e refinamento contínuo do material, buscando torná-lo ainda mais efetivo e adaptado às necessidades dos estudantes e educadores.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. G. d.; CORREIA, P. R. M. Como fazer bons mapas conceituais? estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 2, p. 141–157, 2013.
- ALVES, J. D. S. **Qualidade do desempenho argumentativo de alunos do 9º ano de escolaridade no âmbito da temática Destruição da Camada de Ozono**. Tese (Doutorado) — Universidade de Minho, Braga, Portugal, 2013.
- ANGELO, C. **A espiral da morte: como a humanidade alterou a máquina do clima**. [S.l.]: Editora Companhia das Letras, 2016.
- CARVALHO, A. M. P. d. et al. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. [S.l.]: Cengage Learning, 2013. v. 1, p. 1–19.
- CECCARELLI, L. Manufactured scientific controversy: Science, rhetoric, and public debate. **Rhetoric Public Affairs**, v. 14, n. 2, p. 195–228, 2011.
- DALTRO, M. R.; FARIA, A. A. D. Relato de experiência: Uma narrativa científica na pós-modernidade. **Estudos e pesquisas em psicologia**, v. 19, n. 1, p. 223–237, 2019.
- FERRAZ, A. P. d. C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gestão Produção**, v. 17, p. 421–431, 2010.
- GATTI, B. A. **Grupo focal na pesquisa em Ciências Sociais e Humanas**. Brasília: Liber Livro, 2005.
- IMBIE. Mass balance of the antarctic ice sheet from 1992 to 2017. **Nature**, v. 558, n. 7709, p. 219–222, 2018. ISSN 1476-4687.
- IPCC, C. C. **The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [S.l.], 2007. v. 996. Acesso: 18 jun. 2021. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>>.
- IPCC, C. C. **The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. [S.l.], 2013. 159-254 p.
- JACOBI, P. R. et al. Mudanças climáticas globais: a resposta da educação. **Revista brasileira de educação**, v. 16, p. 135–148, 2011.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. **10 Ideas Clave: Competencias En Argumentación Y Uso De Pruebas**. 12ª. ed. Barcelona: Graó, 2010.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; BROCOS, P. Desafios metodológicos na pesquisa da argumentação em ensino de ciências. **Revista Ensaio**, v. 17, n. Especial, p. 139–159, 2015.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; CRUJEIRAS, B. Epistemic practices and scientific practices in science education. **Science Education**, p. 69–80, 2017.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. et al. **Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias**. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela, 2009.

JUNGES, A. L.; MASSONI, N. T. O consenso científico sobre aquecimento global antropogênico: Considerações históricas e epistemológicas e reflexões para o ensino dessa temática. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 455–491, 2018.

JUNIOR, P. D. C.; SILVA, C. C. Relações articuladoras: viabilizando o uso instrumental do losango didático em sequências de ensino-aprendizagem. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 22, 2020.

KELLY, G. J.; LICONA, P. Epistemic practices and science education. p. 139–165, 2018.

KITCHER, P. **The Climate Change Debates**. [s.n.], 2010. v. 328. 1230–1234 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1126/science.1189312>>.

KNEUBIL, F. B.; PIETROCOLA, M. A pesquisa baseada em design: visão geral e contribuições para o ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 2, p. 1, 2017.

LEITE, J. C. Controvérsias científicas ou negação da ciência? a agnotologia e a ciência do clima. **Scientiae Studia**, v. 12, n. 1, p. 179–189, 2014.

LEITE, J. C. Controvérsias na climatologia: o ipcc e o aquecimento global antropogênico. **Scientiae Studia**, v. 13, p. 643–677, 2015.

LOULERGUE, L. et al. Orbital and millennial-scale features of atmospheric ch4 over the past 800,000years. **Nature**, v. 453, p. 383–386, 2008.

MARQUES, R.; XAVIER, C. R. Análise da alfabetização científica de estudantes numa sequência didática de educação ambiental no ensino de ciências. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 4, p. 2595–2612, 2019.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515–535, 2004.

OLIVEIRA, C. M. A. d. et al. O que se fala e se escreve nas aulas de ciências? ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula. In: **Cengage Learning**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 63–75.

ORESQUES, N. The scientific consensus on climate change: How do we know we're not wrong? In: **Climate modeling**. Cham: Palgrave Macmillan, 2018. p. 31–64.

ORESQUES, N.; CONWAY, E. **Merchants of doubt. How a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming**. [S.l.]: Bloomsbury, 2010.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 17, p. 49–67, 2015.

SASSERON, L. H. **Práticas em aula de ciências: o estabelecimento de interações discursivas no ensino por investigação**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2018.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. d. Uma análise de referenciais teóricos sobre a estrutura do argumento para estudos de argumentação no ensino de ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 13, p. 243–262, 2011.

SASSERON, L. H. et al. Interações discursivas e investigação em sala de aula: o papel do professor. In: **Cengage Learning**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 41–62.

SCHWAHN, M. C. A.; OAIGEN, E. R. O uso do laboratório de ensino de química como ferramenta: investigando as concepções de licenciandos em química sobre o predizer, observar, explicar (poe). **Acta Scientiae**, v. 10, n. 2, p. 151–169, 2008.

SILVA, A. d. C. T. Interações discursivas e práticas epistêmicas em salas de aula de ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. spe, p. 69–96, 2015.

SILVA, E. L.; WARTHA, E. J. Estabelecendo relações entre as dimensões pedagógica e epistemológica no ensino de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 24, p. 337–354, 2018.

TOULMIN, S. E. **Os usos do argumento**. 2. ed. [S.l.]: Martins Fontes, 2006.

ZANCO, E. M. Crise da democracia: o negacionismo de donald trump sobre as mudanças climáticas. **Relações Internacionais**, Universidade do Sul de Santa de Catarina - Unisul, Florianópolis, 2019.

APÊNDICE A – A SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Princípios de Design

Os princípios de design que orientam a sequência de ensino e aprendizagem estão vinculados às diversas ações esperadas, tanto do professor quanto dos e das estudantes em sala de aula.

Dimensão Epistêmica - Para a construção dos conhecimentos científicos envolvendo as Mudanças Climáticas foi necessário a proposição de modelos teóricos, apoiados por dados e evidências, de forma a sustentar as hipóteses levantadas e justificar a necessidade de tomar atitudes acerca das ações humanas no meio ambiente;

Dimensão Pedagógica - Favorecer interações em grupos, e destes com o professor, de modo que a construção do conhecimento seja coletiva, possibilitando aos estudantes a apropriação de práticas científicas e epistêmicas como proposição, avaliação, legitimação e comunicação de conhecimento, bem como de interações discursivas, principalmente a argumentação.

Esses princípios estiveram presentes no planejamento da sequência didática que possibilite a compreensão das Mudanças Climáticas e o desenvolvimento de uma comunidade de práticas, tanto científicas quanto epistêmicas. Nessa comunidade, espera-se que o professor, como mediador do processo de ensino e aprendizagem, proponha perguntas e questione as falas e informações trazidas pelos estudantes, com o intuito de criar espaços para socialização de ideias entre e com os alunos e alunas (SASSERON et al., 2013).

É importante também que o docente saiba realizar perguntas e ouvir o que os alunos e alunas têm a dizer, de modo a aproveitar ao máximo o que for expresso por eles, para que não prevaleça — no sentido de ter mais importância — somente as suas falas (SASSERON et al., 2013). Ademais, é relevante que este ofereça à turma condições de transformar a linguagem do cotidiano em linguagem científica, ou seja, familiarizar os estudantes com o linguajar da Ciência, facilitando a enculturação científica em sala de aula (OLIVEIRA et al., 2013).

Em relação aos alunos e alunas, espera-se que se engajem no processo de exploração e análise de conteúdos de ciências, realizando comparações e interpretações de dados e informações acerca de textos, tabelas e infográficos, mas que, para além dos conceitos, leis e teorias científicas, também possam se envolver com o fazer científico em si, apropriando-se de caracte-

rísticas importantes da ciência, tais como: a proposição, avaliação, legitimação e comunicação de ideias (SASSERON, 2018) e, principalmente, o fato dela ser uma atividade comunitária, permeada de aspectos sociais e culturais (SASSERON, 2018).

Essas características também podem favorecer a argumentação, prática essencial nas atividades científicas, visto que ela fundamenta e consolida as explicações sobre fenômenos da natureza (SASSERON, 2018).

Por fim, ressalto a importância dos trabalhos em grupos, prática que permite os estudantes dialogarem entre si, socializarem ideias e de se ajudarem ao longo do trabalho coletivo, possibilitando que a construção do conhecimento seja feita pelos próprios alunos (CARVALHO et al., 2013).

Construção e Desenvolvimento das Atividades

Objetivo Geral: Compreender, avaliar e analisar uma variedade de dados e evidências relacionados às causas e consequências das Mudanças Climáticas, reconhecendo que essas mudanças são resultados de atividades humanas.

Contexto Educacional: Alunos e alunas do Ensino Médio.

Observações Iniciais

Buscando evitar uma repetição de conteúdos atitudinais esperados para todo o desenvolvimento da sequência de ensino, serão apresentados alguns comportamentos e atitudes que esperamos dos alunos e alunas em todos os momentos.

Em todas as etapas, buscamos com que todas as interações e diálogos entre estudantes e destes com o(a) professor(a) aconteçam de forma respeitosa. Por outro lado, como todas as atividades a serem realizadas serão em grupos, esperamos que cada estudante colabore com os demais integrantes e que participe efetivamente das atividades solicitadas. Por fim, buscando um espaço de interações, esperamos, ao final de cada atividade, que todos os grupos socializem e compartilhem suas ideias, registros, justificativas e conclusões — solicitamos ao(à) professor(a) que incentive a turma a participar das discussões.

Etapa 1 - Concepções prévias e engajamento

Objetivos de Aprendizagem e Desenvolvimento

- Elencar cinco termos ou questões que remetem ao tema das mudanças climáticas, justificando o porquê desses termos e não de outros;
- Discutir e negociar com os integrantes do grupo, buscando consenso para decidir quais termos serão escolhidos;

Recursos didáticos:

- Quadro;

Divisão dos momentos para a primeira etapa

Momento	Tempo Estimado	Breve Descrição
1	10 min	Apresentação da SEA, bem como as atividades que serão desenvolvidas e como serão trabalhadas
2	10 min	Realização da atividade individual
3	15 min	Realização da atividade em grupo
4	15 min	Socialização das produções dos grupos

Descrição das ações da sala de aula

1º Momento - Apresentação do planejamento

Antes de iniciar as atividades e discussões, o(a) professor(a) deverá apresentar o planejamento para a sequência didática, comentando sobre os temas e atividades que serão desenvolvidas, bem como a maneira como elas serão trabalhadas, no intuito de elucidar o formato das aulas e as estratégias que serão utilizadas.

Logo, é importante explicar que a temática a ser desenvolvida é sobre as Mudanças Climáticas e que, para contemplá-la, serão discutidos diversos assuntos como o efeito estufa, aquecimento global, derretimento de geleiras e aumento do nível do mar. É interessante de se comentar também, que todas as atividades serão realizadas em grupos e que, ao final, sempre haverá um momento para que cada grupo compartilhe suas conclusões com toda a turma e professor(a), buscando construir um consenso acerca das discussões.

2º Momento - Realização da atividade individual

Para iniciar o desenvolvimento das atividades, busca-se as concepções prévias e alternativas que os alunos e alunas apresentam sobre a temática. Para tal, será pedido aos estudantes que, individualmente, escrevam em uma folha cinco termos ou questões que vem à mente deles quando pensamos em “mudanças climáticas”. Para cada elemento elencado, o(a) aluno(a) deve justificar o porquê de sua escolha.

3º Momento - Realização da atividade em grupo

Em seguida, os e as estudantes serão convidados a se dividirem em grupos — a depender do número de alunos presentes na turma, mas que não fuja muito de 3 ou 4 pessoas por grupo. Espera-se que estes grupos se mantenham durante todo o desenvolvimento da sequência.

Da mesma forma, cada grupo deverá elencar cinco termos ou questões que estejam associadas às mudanças climáticas. Espera-se que surjam interações e negociações internas no grupo, na busca de consenso pela escolha dos termos. Os grupos deverão justificar suas escolhas, em um primeiro momento, de forma escrita — é importante ter registros escritos para facilitar o processo de avaliação por parte do(a) professor(a) e para ajudar na síntese e organização das ideias por parte dos e das estudantes — e, posteriormente, de forma oral, durante o momento de socialização.

4º Momento - Socialização da atividade

Finalizado a tarefa, cada grupo será convidado a compartilhar seus termos com os demais colegas e professor(a), devendo apresentar os motivos que levaram ao grupo escolher tais termos e não outros.

Ao longo das falas de cada grupo, o(a) professor(a) pode convidar o restante da turma para refletir sobre as escolhas dos colegas. Ao final das falas, o(a) docente deverá elencar cinco termos no quadro, escolhidos por meio de uma construção coletiva entre toda a turma.

Intencionalidades e Comentários

Busca-se com essa atividade, conhecer um pouco das concepções prévias e alternativas que os alunos e alunas apresentam sobre o tema das mudanças climáticas. A proposta de se elencar termos ou questões sobre o tema foi sugerida nas reuniões de grupo da PraCESE, durante o processo de avaliação exploratória da sequência. Propomos que haja três momentos de escolha de termos: individual, em grupo e em conjunto com toda a turma. Para todos, os e as estudantes devem apresentar as justificativas que levaram a tais termos. Porém, para os momentos em que há os grupos, é esperado que apareçam interações — relacionadas ao conteúdo — internas, de modo que eles discutam e negociem sobre os termos que entram e os termos que

saem, tentando chegar a um ponto em comum. Espera-se que aconteça a mesma coisa nas ações que envolvem toda a turma.

Etapa 2 - Efeito Estufa

Conteúdos conceituais

- Efeito Estufa;
- Gases de Efeito Estufa;
- Camada de Ozônio;

Objetivos de Aprendizagem e Desenvolvimento

- Perceber que o efeito estufa é um fenômeno natural e essencial para a vida, porém, reconhecendo que pode ser agravado por ações humanas;
- Identificar os principais gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e vapor de água, apontando as origens de suas emissões;
- Investigar, através do simulador, como se dá a interação da radiação solar com a matéria, comparando os efeitos entre as moléculas de vários gases;
- Entender que aumentar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera influencia no aumento da temperatura, percebendo que mais gases irão absorver a radiação infravermelha e, conseqüentemente, reemiti-la de volta para a superfície;
- Associar as ações humanas ao aumento de concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, realizando as atividades dos simuladores;

Recursos didáticos

- Infográfico do Efeito Estufa;
- Simuladores Computacionais;
- Tarefas.

Divisão dos momentos para a segunda etapa

Momento	Aula Prevista	Tempo Estimado	Breve Descrição
1	1	5 min	Apresentação das atividades
2	1	2 min	Organização dos grupos e entrega dos materiais
3	1	10 min	Leitura do Infográfico
4	1	15 min	Discussão do Infográfico
5	1,2	18 min	Experimento Computacional: Moléculas e Luz
6	2	32 min	Socialização dos registros da Tarefa - Moléculas e Luz
7	3	30 min	Experimento Computacional: Efeito Estufa
8	3	20 min	Socialização dos registros da Tarefa - Efeito Estufa

Descrição das ações em sala de aula

1º Momento - Apresentação da atividade

De início, será comentado que nesta etapa, será investigado o fenômeno do efeito estufa, utilizando-se de dois simuladores computacionais e realizando a leitura de um infográfico.

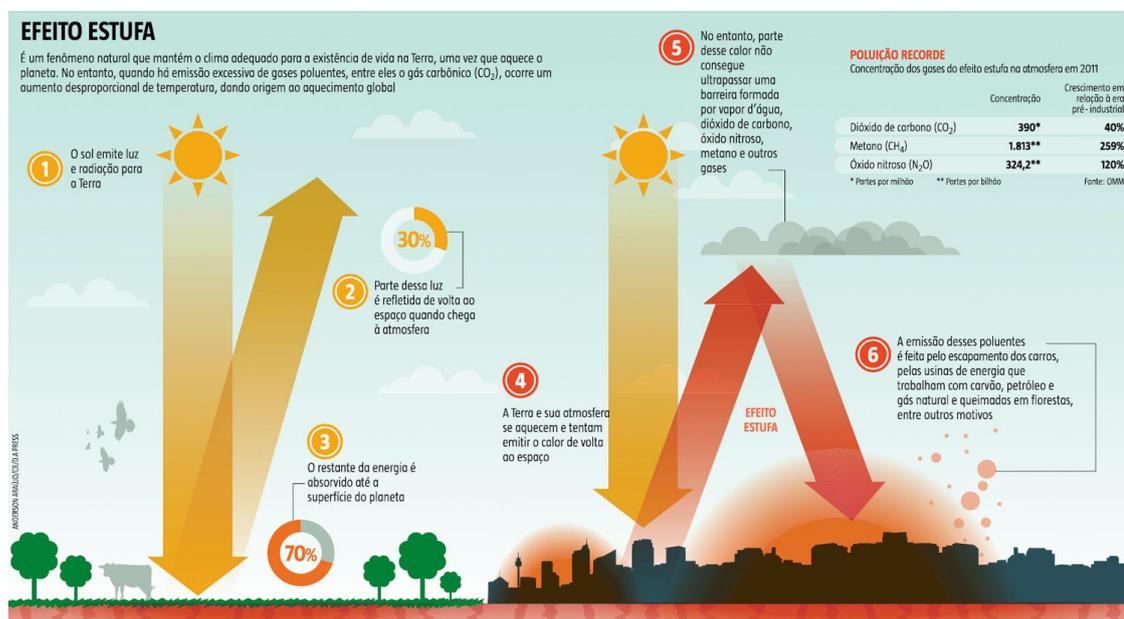
2º Momento - Organização dos grupos e entrega dos materiais

Logo após, os e as estudantes serão convidados a retornar aos grupos formados na etapa anterior. Para dar início às discussões referentes ao efeito estufa, será dado aos grupos um infográfico que sintetiza informações a respeito desse tema, apresentando o funcionamento desse fenômeno e a concentração de alguns gases na atmosfera.

3º Momento - Leitura do Infográfico

Dado o infográfico, serão disponibilizados alguns minutos para que os e as alunas realizem a leitura do material dentro de cada grupo. É importante o(a) professor(a) estar à disposição dos grupos para ajudar na interpretação do infográfico e elucidar termos, conceitos e representações.

Figura 1 – Infográfico sobre o efeito estufa.



Fonte: Disponível em: <<https://vivamaisverde.com.br/2016/09/aquecimento-global/>>

4º Momento - Discussão sobre o Infográfico

Neste momento, será dado espaço à turma para que tire suas dúvidas, faça perguntas, comentários e busque discutir a temática. O(a) professor(a) deverá realizar comentários e questionamentos para orientar a discussão.

— *Vocês já conheciam o fenômeno do Efeito Estufa?*

— *Devemos tomar cuidado para não misturarmos efeito estufa com camada de ozônio.*

São processos diferentes, e cada um interage com uma radiação diferente. Poderá ser questionado se no infográfico há alguma menção à camada de ozônio, buscando enfatizar que são processos distintos. Porém, é interessante evitar dar grandes detalhes sobre o ozônio, para não interferir na investigação dos simuladores. Ao final, durante a socialização dos simuladores, poderá ser explicado o que é e como funciona a camada de ozônio.

— *O infográfico nos apresenta os principais gases de efeito estufa, porém, existem outros. Vocês conhecem ou já ouviram falar de algum outro?*

— *Qual a origem das emissões desses gases?*

— *Será que a representação colorida das setas é proposital? O que cada cor significa?*

É bastante relevante destacar que a representação das nuvens no infográfico está inadequada. As nuvens são mais efetivas em refletir a radiação visível do que absorver a radiação

infravermelha. É uma camada de gases de efeito estufa que permite a absorção e reemissão da radiação infravermelha.

A fim de se aprofundar um pouco no assunto e guiar a discussão às atividades que virão em sequência, poderão ser realizado alguns questionamentos:

- *O efeito estufa é um processo natural ou acontece por causa das ações humanas?*
- *Como as ações humanas se relacionam com este fenômeno?*
- *O infográfico mostra a concentração na atmosfera de alguns gases de efeito estufa. Será que todos os gases influenciam no efeito estufa?*

Também pode ser importante chamar atenção dos estudantes para os verbos emitir, absorver, reemitir e refletir, pois, além de serem processos bastante comuns no tema das mudanças climáticas, é interessante que os alunos e alunas melhorem um pouco seu vocabulário.

Ao término deste momento, os e as estudantes serão instigados a refletir sobre duas perguntas que serão bastante importantes para o próximo momento, estando diretamente ligadas às investigações que irão acontecer durante as atividades.

- *Como ter mais gases na atmosfera influencia no aumento de temperatura da Terra?*
- *O que faz um gás ser um gás de efeito estufa? Por que determinados gases influenciam no efeito estufa, enquanto outros não?*

Após todas as discussões e atividades associadas a esta etapa, é esperado que os e as estudantes consigam responder tais questões.

5º Momento - Experimento Computacional: Moléculas e Luz

Neste instante, os alunos e alunas serão convidados a irem para à sala de informática, para realizarem atividades no simulador PhET¹. Caso o espaço escolar não possua uma sala de informática, poderá ser enviado um arquivo html do simulador escolhido para os celulares de um ou mais integrantes dos grupos para que possam abri-lo sem a necessidade de internet. Ou, também, poderá ser projetado o simulador no quadro, através de um *Data Show*, em que o professor terá de guiar a atividade, realizando ações no aplicativo de acordo com a necessidade.

O simulador PhET utilizado será o “Moléculas e Luz” que, resumidamente, nos permite verificar como algumas das moléculas presentes na atmosfera interagem com a radiação solar. É importante que a turma permaneça nos grupos formados anteriormente para a realização desta e das próximas tarefas. Caso for necessário, poderá separar estes grupos em duplas, para facilitar o acesso aos computadores.

¹ O PhET (Physics Education Technology) é uma iniciativa da Universidade de Colorado que utiliza-se de simulações nas áreas da ciências da natureza e matemática, a partir de recursos digitais.

Após a organização dos grupos, será entregue a cada um a tarefa "Moléculas e Luz". Os grupos devem analisar o simulador e responder as perguntas presentes na tarefa. Vale ressaltar que no próprio material que será entregue há instruções sobre o uso dos simuladores. Contudo, pode-se permitir que a turma aproveite alguns minutos para mexer descontraidamente no programa.

Durante o tempo de realização da tarefa, o(a) professor(a) deverá ir de mesa em mesa para auxiliar cada grupo, sanando possíveis dúvidas; levantando questionamentos; ajudando a manusear o simulador; e mediando as interações entre os integrantes dos grupos.

6º Momento - Socialização da Tarefa - Moléculas e Luz

Após o término da tarefa, haverá um momento para que cada grupo socialize seus registros e conclusões acerca da atividade.

— *Vamos compartilhar os registros de vocês com os colegas, passando por cada uma das questões.*

Para guiar a discussão, poderão ser feitos alguns questionamentos e/ou observações:

— *Quais moléculas reagem à luz infravermelha? Qual é o efeito?*

— *Percebam que a luz visível passa por grande parte dos gases sem grandes interações. Como conversamos, a reflexão da luz visível se dá, em grande parte, pelas nuvens e coberturas de gelo na superfície da Terra. Entretanto, o mesmo não acontece com a radiação infravermelha, que normalmente, é absorvida e remetida, por vários gases, para outras direções, inclusive de volta para a superfície da Terra.*

7º Momento - Experimento Computacional: Efeito Estufa

O próximo simulador a ser utilizado é o “Efeito Estufa” que basicamente nos permite visualizar o que acontece com a radiação solar quando adentra a Terra e como a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera interfere neste processo. Aqui, busca-se entender porquê nem todos os gases presentes na atmosfera contribuem para o efeito estufa.

Da mesma forma, a turma será convidada a se direcionar à sala de informática para utilizar o simulador. Mais uma vez, é interessante que se mantenha os mesmos grupos das atividades anteriores. Após a organização dos e das estudantes na sala, será entregue a Tarefa: Efeito Estufa, para que seja respondida pelos grupos. O(a) professor(a) deverá auxiliá-los, da mesma forma como realizada no primeiro simulador.

8º Momento - Socialização da Tarefa - Efeito Estufa

Da mesma forma, após a realização da tarefa haverá um momento para que os grupos compartilhem seus registros uns com os outros, de modo que, juntamente com o professor, cheguem a um consenso sobre a atividade.

— *Pessoal, vamos analisar as questões da atividade e compartilhar os resultados de vocês para chegarmos a um ponto em comum.*

— *Que relação podemos traçar entre a concentração de gases de efeito estufa e o aumento da temperatura?*

— *Como aumentar ou diminuir essa concentração afeta a radiação infravermelha?*

— *Com uma concentração muito baixa de gases de efeito estufa pode, na verdade, ser ruim para a vida no Planeta?*

— *Em que superfícies a luz visível é refletida de volta para o espaço?*

É importante chegar ao consenso que, quanto mais gases de efeito estufa estiverem presentes na atmosfera, mais gases irão absorver a radiação infravermelha e reemitir-la de volta para a superfície da Terra, aumentando cada vez mais a temperatura do planeta. Pode-se chamar a atenção para a intensidade das ondas representadas no simulador, que ficam mais espessas quando a concentração de gases é maior.

Durante esta socialização, o(a) professor(a) deverá enfatizar a questão sobre o que faz um gás ser um gás de efeito estufa, comentando que as moléculas vibram quando recebe energia e a depender de como vibrarem, elas podem absorver ou não esta energia e, caso absorvam, vão reemitir-la em todas as direções. E que as moléculas que absorvem a radiação infravermelha, são consideradas de efeito estufa.

Além disso, é importante comentar que moléculas diatômicas-homonucleares tendem a não absorver no infravermelho. Moléculas como O_2 e N_2 são os gases mais abundantes da atmosfera e, se absorvessem nesse espectro, o efeito estufa na Terra seria extremamente agravado.

Outro ponto interessante que pode ser discutido é a diferença entre a camada de ozônio e efeito estufa olhando para as radiações que ambos interagem. Enquanto o fenômeno do efeito estufa está relacionado, predominantemente, com o infravermelho, a camada de ozônio está associada ao ultravioleta — apesar de absorver também uma pequena faixa do infravermelho.

Por fim, poderá se explicar o fenômeno, comentando que a Terra produz e desfaz a camada de ozônio naturalmente. No simulador, foi observado que o ultravioleta “quebra” a molécula de O_3 (ozônio). Esse processo libera O_2 (gás oxigênio) e O (oxigênio), que não se

perdem na atmosfera, pois irão se encontrar, respectivamente, com outras moléculas de O e O_2 , formando novas moléculas de O_3 . Entretanto, há gases como os CFC's que não permitem esse processo acontecer, liberando, após algumas reações, Cl (Cloro) e O_2 ao invés de O_3 . Ou seja, se há menos ozônio, a camada torna-se menos espessa, ocorrendo o que popularmente é chamado de “buraco na camada de ozônio”.

Materiais para os estudantes

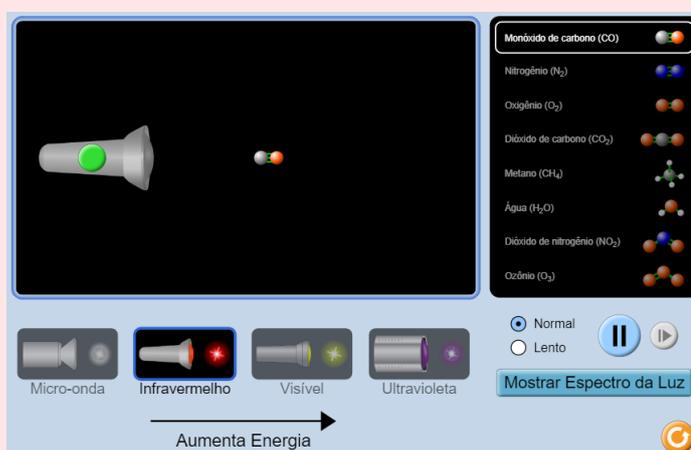
1º Simulador: Moléculas e Luz

Tarefa - Moléculas e Luz

Apresentação do simulador

Este recurso computacional nos permite verificar como diversas moléculas presentes na atmosfera interagem com diferentes radiações do espectro eletromagnético. A Figura abaixo mostra o layout do simulador.

Simulador PhET: Moléculas e Luz



Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/molecules-and-light/credits>

O simulador possui 8 moléculas diferentes, que podem ser colocadas à exposição de 4 tipos diferentes de radiação: Microondas, Infravermelho, Luz Visível e Ultravioleta. O espectro eletromagnético pode ser consultado no próprio simulador na aba “Mostrar Espectro da Luz”.

Atividade

Estamos buscando entender o porquê determinados gases influenciam no efeito estufa, enquanto outros não. Uma forma de investigarmos isso é verificar como as moléculas desses gases reagem à radiação recebida. Utilizando-se do simulador, responda os questionamentos abaixo. Coloque “Não reage” caso nada aconteça com a molécula durante a exposição à radiação. Quando interagir, utilize os termos “absorver”, “reemitir” e “quebra de molécula”.

1. Registre na tabela o que você espera que aconteça quando as radiações Infravermelho, Visível e Ultravioleta, incidirem nos gases da atmosfera.

Gases da Atmosfera	Como ela reage à radiação visível?	Como ela reage à radiação infravermelha?	Como ela reage à radiação ultravioleta?
Monóxido de Carbono (CO)			
Dióxido de Carbono (CO_2)			
Ozônio (O_3)			
Vapor de Água (H_2O)			
Nitrogênio (N_2)			
Oxigênio (O_2)			
Metano (CH_4)			

2. Verifique no simulador o que acontece quando você incide as radiações citadas nos gases da atmosfera. Registre suas observações na tabela abaixo. Coloque “Não reage” caso nada aconteça com a molécula durante a exposição à radiação.

Gases da Atmosfera	Como ela reage à radiação visível?	Como ela reage à radiação infravermelha?	Como ela reage à radiação ultravioleta?
Monóxido de Carbono (CO)			
Dióxido de Carbono (CO_2)			
Ozônio (O_3)			
Vapor de Água (H_2O)			
Nitrogênio (N_2)			
Oxigênio (O_2)			
Metano (CH_4)			

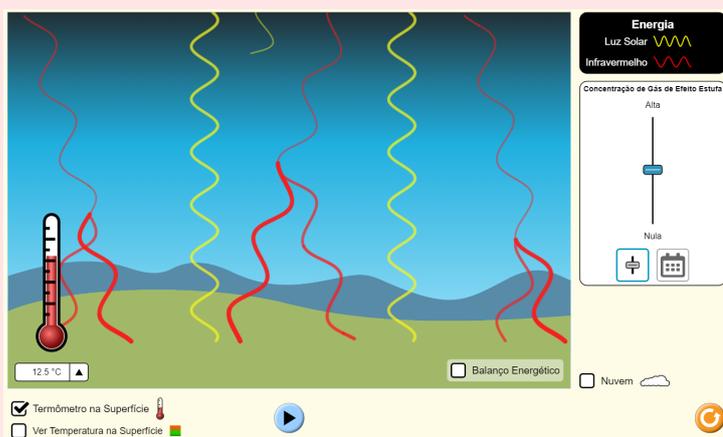
3. Avalie se sua previsão se concretizou, elencando as possíveis diferenças e semelhanças entre suas previsões e o que de fato aconteceu.

Tarefa - Efeito Estufa

Apresentação do simulador

Este simulador nos permite observar como a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera interfere na temperatura da Terra.

Simulador PhET: Efeito Estufa



Disponível em:

<https://phet.colorado.edu/sims/html/greenhouse-effect/latest/greenhouse-effect_pt_BR.html>.

No aplicativo, é permitido alterar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, através do medidor “Concentração de Gás de Efeito Estufa” e observar como a quantidade desses gases influencia na temperatura — que pode ser vista no termômetro no lado esquerdo, nas escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit. É permitido também adicionar nuvens, a partir do marcador “Nuvem”, e observar como ela interfere nesse processo.

Atividade

Buscamos agora entender como ter mais gases na atmosfera pode influenciar na temperatura média da Terra, além de identificar que outros fatores podem interferir na temperatura.

1. Usando a aba “Ondas”, responda os questionamentos a seguir. Você precisará ajustar o medidor de concentração de efeito estufa de acordo com que for pedido.

a) Descreva o que acontece com as radiações visível e infravermelha, tanto na concentração de gases “Nula”, quanto na “Alta”. Utilize os verbos emitir, absorver, reemitir e refletir. Registre também a temperatura observada.

b) Explique como as radiações visível e infravermelha interagem com as nuvens e, consequentemente, como influenciam na temperatura. Você pode desmarcar e marcar aba “Nuvens” diversas vezes para verificar. Guarde estes registros, ele será importante para a próxima etapa.

2. Vá na aba “Fótons” e selecione a segunda opção de visualização da concentração de gases de efeito estufa, onde estão disponíveis diferentes épocas. Preencha a tabela abaixo, elencando a concentração de cada gás e a temperatura em cada período.

Gases de efeito estufa	Concentração dos gases por período		
	Era do Gelo	Anos 1750	2020
Dióxido de Carbono (CO_2)			
Metano (CH_4)			
Óxido Nitroso (N_2O)			
Temperatura ($^{\circ}C$)			
Coloque a concentração na unidade adequada: Partes por milhão (ppm) ou Partes por bilhão (ppb)			

a) De acordo com a tabela preenchida por você, a concentração de gases de efeito estufa aumentou ou diminuiu a partir de 1750? Analisando o simulador, que elementos você identifica como causas desse aumento de concentração? Justifique.

b) Baseado nos seus registros, qual seria o efeito na temperatura da superfície se os gases de efeito estufa continuarem a aumentar além dos níveis de 2020? Apresente evidências e justificativas, para apoiar sua resposta.

c) Verifique como a radiação visível interage com as seguintes superfícies apresentadas no simulador: oceano, área coberta de gelo e solo. Da mesma forma, guarde seus registros, pois esta atividade será importante para a próxima etapa.

3. Após a leitura do infográfico, das discussões realizadas e das análises das situações apresentadas nos simuladores computacionais, temos condições de buscar explicações para as questões que foram propostas no início da etapa. Dessa forma, elabore uma resposta para as questões:

“O que faz um gás ser um gás de efeito estufa?” “Como ter mais gases na atmosfera influencia no aumento de temperatura da Terra?”

Desenhos e esquemas também poderão ser realizados para auxiliar na resposta.

Intencionalidade e Comentários:

Espera-se com o infográfico dar uma noção do que é o efeito estufa e de quais os principais gases que o agravam. A intenção foi dar, de imediato, uma base sobre esse fenômeno, para que se abra caminho para analisar outros aspectos como por exemplo, a interação da radiação solar com os gases presentes na atmosfera e como este processo influencia ou não na temperatura; e de que forma aumentar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera influencia na temperatura.

Para melhor visualização dessas interações, consideramos melhor utilizar dois simuladores PhET: o primeiro é o "Moléculas e Luz", que apresenta de maneira bem simples e direta, o que acontece quando se incide diferentes radiações do espectro eletromagnético em moléculas presentes na atmosfera; o segundo, "Efeito Estufa", nos permite verificar o que acontece com a radiação que chega à Terra, quando aumentamos ou diminuimos a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Assim, quanto ao primeiro simulador, espera-se que os estudantes identifiquem e entendam que algumas das moléculas podem absorver e reemitir radiação infravermelha para todas as direções, inclusive de volta para a Terra, influenciando na temperatura do planeta. Enquanto que outras moléculas não reagem a este tipo de radiação, não agravando, portanto, o fenômeno do efeito estufa.

A atividade relacionada a este simulador foi baseada nos trabalhos conhecidos como POE (Predizer, Observar e Explicar), especificamente o trabalho de Schwahn e Oaigen (2008). De forma breve, a primeira etapa, previsão, é uma ação anterior ao experimento em que os estudantes devem predizer o que acontecerá, justificando sua hipótese; na segunda etapa, observação, os alunos devem observar o que de fato ocorre e comparar com suas previsões; já a última etapa, explicação, os alunos devem relacionar suas respostas da primeira etapa com as observações da segunda e propor uma explicação para o fenômeno, comprovando ou não sua hipótese inicial (SCHWAHN; OAIGEN, 2008).

Em relação ao segundo simulador, busca-se que os e as estudantes percebam que ao aumentar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, mais radiação será absorvida por eles e mais energia será reemitida de volta para o planeta, aumentando sua temperatura.

Em relação à tarefa "Efeito Estufa", ela foi baseada em um material disponível no site do PhET², na parte de atividades enviada por docentes que utilizam o simulador em questão. A tarefa proposta neste trabalho propõe: coleta de dados, buscando preencher a tabela; identificar causas e consequências; e apontar quais mudanças têm ocorrido de um período para o outro.

Etapa 3 - Efeito albedo: O Papel das Nuvens

Conteúdos

- Efeito albedo;

Objetivos de Aprendizagem e Desenvolvimento

- Sustentar as respostas elaboradas para as atividades, apresentando justificativas consistentes, durante o momento de socialização das atividades;
- Perceber que objetos e superfícies de cores mais escuras tendem a absorver mais calor do que os de cores mais claras, investigando as atividades propostas;
- Compreender que a redução das coberturas de neve contribuem com o aumento da temperatura do planeta, gerando um reforço positivo no clima;

² A atividade pode ser consultada através do seguinte endereço: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/contributions/view/7149>.

- Associar o fato de que superfícies claras refletem mais luz solar ao aumento de temperatura da Terra, devido à falta de áreas de coberturas de neve;

Recursos didáticos

- Tarefa - “As nuvens e o Efeito Albedo”;
- Fragmento de texto: O efeito albedo;
- Materiais para o experimento.

Divisão dos momentos para a terceira etapa.

Momento	Tempo Estimado	Breve Descrição
1	5 min	Apresentação da atividade
2	3 min	Organização da turma e entrega da tarefa
3	27 min	Realização da Tarefa: As nuvens e o efeito albedo
5	15 min	Socialização dos registros

Descrição das ações em sala de aula

1º Momento - Apresentação da atividade

De início, será comentado que nesta etapa, será utilizado algumas das atividades da etapa anterior e um breve experimento, para discutir o papel das nuvens e das superfícies para o aquecimento ou resfriamento da Terra.

2º Momento - Organização da turma e entrega da tarefa

Neste momento, a turma será convidada a retornar aos grupos anteriores para realizar as atividades. Ao mesmo tempo, o(a) professor(a) deverá entregar aos grupos a Tarefa: As nuvens e o efeito albedo.

3º Momento - Realização da Tarefa

Após a organização da turma, cada grupo deverá responder os questionamentos da atividade entregue. Enquanto os e as estudantes estiverem respondendo a primeira questão, o(a) professor(a) deverá preparar um breve experimento para que a turma constata a diferença de temperatura entre superfícies claras e escuras.

Desse modo, o(a) professor(a) precisará dispor de um termômetro, duas folhas — uma branca e outra escura — e uma lâmpada incandescente para expor as folhas à mesma intensidade

de luz. A depender do clima, poderá ser utilizado a luz solar. A princípio, por precaução em relação à falta de materiais para este experimento, propõe-se que somente o(a) professor(a) realize o procedimento, cabendo aos estudantes observarem e anotarem os resultados. Em uma oportunidade em que se tenha materiais suficientes, recomenda-se que cada grupo realize o procedimento experimental.

Assim, à medida que os grupos requisitarem, o(a) professor(a) deverá medir a temperatura de ambas as folhas através do termômetro. Neste momento, é importante que, antes de realizar o procedimento, o professor indague os estudantes sobre o que eles esperam que aconteça e qual das superfícies eles acham que vai esquentar mais e porquê.

É importante lembrar os estudantes de utilizarem alguns dos questionamentos respondidos na etapa anterior, relacionado ao simulador, pois ajudará na tarefa desta etapa.

Depois de responderem a segunda questão, o(a) professor(a) deverá entregar um pequeno trecho que fala sobre o efeito albedo. Este texto servirá de base para realização do último exercício da atividade.

4º Momento - Socialização dos resultados

Ao final da aula, será dedicado um momento para que os grupos exponham seus registros, conclusões e ideias acerca da atividade realizada. O intuito é que se estabeleça um consenso sobre os questionamentos da tarefa, buscando entender as relações do efeito albedo com o aquecimento da Terra.

— *Vamos discutir as questões, pessoal. Apresentem as justificativas de vocês para o primeiro questionamento.*

— *O que vocês observaram sobre a temperatura das folhas?*

Poderá ser comentado que as superfícies claras — que possuem um albedo alto — tendem a refletir mais a luz do que absorver. E que superfícies mais escuras, tendem absorver a maior parte dos comprimentos de onda da faixa visível.

Depois, é importante relacionar este fato às superfícies de neve e às nuvens, que normalmente refletem uma parte da luz visível. E que, se tivermos menos superfícies de neve, por exemplo, menos luz será refletida e mais será absorvida, e depois reemitida em forma de radiação infravermelha. Processo que pode agravar o efeito estufa.

Nessa lógica, é importante comentar sobre o *feedback* positivo que essa situação pode desencadear. Se a falta de cobertura de neve permite que o solo absorva e reemita essa energia na forma de radiação infravermelha, agravando o efeito estufa, este, por sua vez, irá possibilitar

que mais superfícies de neve sejam derretidas, já que a temperatura irá aumentar. E o ciclo se repete. Ao derreter o gelo marinho, a absorção de energia também acontecerá pelos oceanos, principalmente na região do Ártico.

Materiais para os estudantes

Tarefa – As Nuvens e o Efeito Albedo

O efeito albedo

Segundo os documentos do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), o albedo pode ser definido como a fração de radiação solar refletida por uma superfície ou objeto. O termo albedo vem da expressão em latim para “brancura” de um material, que tem a propriedade de refletir a luz. É expresso em porcentagem, sendo medido em uma escala que vai de 0 a 1, sendo 0 uma superfície perfeitamente negra, que não reflete nada, e 1, uma superfície totalmente branca com reflexão total.

As superfícies cobertas de neve têm um albedo elevado; o albedo dos solos tem uma grande gama de variação e as superfícies cobertas de vegetação e os oceanos têm um albedo baixo. O albedo planetário da Terra varia, principalmente, através da nebulosidade variável, neve, gelo, área foliar e mudanças na cobertura do solo.

Fonte: (IPCC, 2013)

Atividade

1. Para melhor visualização do fenômeno do Albedo, pense na seguinte situação (que você certamente já presenciou ou passou por ela):

O dia está bastante quente e você precisa sair na rua andando. Deverá escolher entre uma camisa de cor escura e uma camisa de cor clara. Qual você escolheria? E por quê?

Registre sua opção e os motivos pela sua escolha.

2. Com 2 folhas em mãos, uma branca e outra de cor escura, coloque-as uma ao lado da outra e exponha-as à mesma intensidade de luz — seja luz solar ou por uma lâmpada. Marque a temperatura de cada uma através de um termômetro^a

a) Tente explicar a diferença de temperatura observada entre as duas folhas;

b) Após este breve experimento, você mudaria ou manteria sua escolha acerca das camisas? Justifique.

O exercício 3 deverá ser respondido após a leitura do trecho: o efeito albedo.

3. Após a leitura do trecho “o efeito albedo”, responda os questionamentos abaixo:

a) Em relação às superfícies refletoras, como as nuvens e as regiões cobertas de neve, caso não houvessem elas ou suas áreas fossem diminuídas, o que aconteceria?

b) A partir das suas observações e registros, relacione os três elementos que temos discutido: aumento de temperatura da Terra, o efeito albedo e o efeito estufa. Caso preferir, pode-se realizar um desenho para facilitar suas explicações.

^a Este experimento sobre albedo, pode ser consultado através do seguinte endereço: <<https://youtu.be/j9XKyBQsYgU?list=PLF90V7foF0CeqIsymyi2n68C5dxkHw-BR>>.

Intencionalidade e Comentários

Nesta etapa, espera-se que os e as estudantes consigam, através das atividades, associar o efeito albedo ao efeito estufa e, conseqüentemente, ao aumento da temperatura média da

Terra, visto que se mais áreas de cobertura de neve forem derretidas, menos luz solar será refletida de volta para o espaço e mais energia a Terra irá absorver, gerando um processo de retroalimentação.

Espera-se que no último questionamento, os e as estudantes sejam capazes de relacionar os conceitos estudados, enfatizando o *feedback* positivo que suas relações podem gerar — não espera-se que apareça neste termo, mas que entendam que um efeito pode retroalimentar o outro.

Etapa 4 - Elevação de Temperatura: O mundo está esquentando?

Conteúdos

- Aquecimento Global.

Objetivos de Aprendizagem

- Reconhecer que as ações humanas têm grande responsabilidade em relação ao aquecimento observado, comparando as taxas de CO_2 e CH_4 na atmosfera antes e depois do início das revoluções industriais;
- Identificar as principais atividades que emitem grandes quantidades de gases de efeito estufa na atmosfera, listando quais são;
- Relacionar os gráficos presentes no texto, inferindo que a Terra está ficando cada vez mais quente;
- Analisar e interpretar os gráficos presentes no texto, identificando informações relevantes que apontam para um planeta mais quente;
- Sustentar sua resposta para a atividade, apresentando justificativas claras e consistentes para a opção escolhida referente às evidências no texto;
- Compartilhar os registros da atividade com a turma, averiguando se as evidências apresentadas são suficientes para afirmar que a Terra está esquentando;

Recursos didáticos

- Texto: Como sabemos que o mundo aqueceu?;

- Tarefa - Evidências de um mundo mais quente

Divisão dos momentos para a quarta etapa

Momento	Aula Prevista	Tempo Estimado	Breve Descrição
1	1	5 min	Apresentação das atividades
2	1	2 min	Organização da turma e entrega do texto “Como sabemos que o mundo aqueceu?”
3	1	21 min	Leitura do texto
4	1	22 min	Discussão acerca do texto
5	2	30 min	Realização da Tarefa: Evidências de um mundo mais quente
6	2	20 min	Socialização dos registros de cada grupo

Descrição das ações em sala de aula

1º Momento - Apresentação das atividades

Inicialmente, será comentado que nesta aula, será lido o texto: “*Como sabemos que o mundo aqueceu?*”, que fala sobre as evidências de um mundo mais quente; e que, após leitura e discussão deste texto, será realizada uma atividade em grupo relacionada à ele.

2º Momento - Organização da turma e entrega do texto

Logo após, os e as estudantes serão convidadas a se reorganizarem em grupos, mantendo, de preferência, os mesmos grupos que haviam sido formados anteriormente.

Nas etapas anteriores, buscou-se entender as relações entre a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, efeito albedo e o aumento de temperatura. Agora, será discutido como as emissões de gases na atmosfera estão em taxas cada vez maiores, explicitando as evidências independentes que apontam para uma Terra mais quente. Assim, para dar início às discussões, será entregue, a cada grupo, o texto “*Como sabemos que o mundo aqueceu?*”.

3º Momento - Leitura do texto

De posse do texto, será dado alguns minutos para que cada grupo realize a leitura — ela pode ser individual ou em duplas dentro dos grupos, a depender do número de folhas disponíveis. Será pedido aos grupos que destaquem, grifem ou até anotem os dados importantes

que encontrarem ao longo do texto, informações que acharem relevantes ou termos que não conheciam e tiveram dúvidas.

Durante o momento de leitura, espera-se que o(a) professor(a) se disponha a passar a de grupo em grupo, ajudando na compreensão de termos e conceitos e na interpretação dos gráficos. Em casos de grandes dificuldades na leitura dos gráficos, pode-se pedir aos alunos e alunas, que reparem no comportamento que cada um descreve.

4º Momento - Discussão do texto

Nesta parte, haverá um momento para que os grupos, juntamente com o(a) professor(a), dialoguem sobre o texto e conversem sobre quaisquer dúvidas, questionamentos e comentários acerca do tema.

— *Então pessoal, sobre o que o texto fala exatamente? O que ele nos fornece?*

— *Quais partes vocês grifaram ou destacaram e gostariam de comentar?*

Poderá ser dedicado um momento para elucidar alguns termos, conceitos e regiões geográficas nos quais os alunos e alunas não conhecem ou tiveram dificuldades de entendimento.

— *Vocês conhecem ou já ouviram falar das regiões do Ártico e Antártica?*

— *No texto foram citados os termos: glaciares, mantos de gelo e gelo marinho. Alguém já ouviu falar nesses termos? É importante sabermos suas definições, pois são termos que podem aparecer em várias de nossas atividades.*

Glaciares são massas de gelo terrestre formadas através da neve compactada ao longo de milhares de anos, no qual a acumulação de neve é superior ao degelo. Mantos de gelo são massas de gelo com a mesma origem que os glaciares, porém de dimensões continentais (Antártica e Groenlândia são os únicos no planeta).

Gelo marinho é o gelo encontrado na superfície do mar através do congelamento da água. Também conhecidas como banquisas.

No gráfico (Figura 1), pode-se ser importante ressaltar que as diferentes cores nas linhas dos gráficos, significam diferentes métodos de medida. Por isso, o valor dos resultados, pois são medidas independentes que chegam a resultados muito parecidos.

Com o intuito de fomentar as discussões sobre o texto, abaixo está presentes algumas perguntas que poderão ser realizadas:

— *Aumentar a temperatura média global em 1º Celsius, pode ser considerado muito ou pouco?*

— *Por que dias frios não são um bom parâmetro para saber se o planeta está esquentando ou não?*

5º Momento - Realização da Tarefa: Evidências de um mundo mais quente

No próximo encontro, o professor entregará a Tarefa: Evidências de um mundo mais quente, para que cada grupo discuta e faça o que se pede. O(a) professor(a) deverá ler o material, para que possíveis dúvidas sejam esclarecidas. E, durante a atividade, deverá estar a disposição para orientar os e as estudantes, com possíveis dificuldades de interpretação de gráficos e de identificar as evidências no texto.

6º Momento - Socialização dos resultados

Após a realização da tarefa, cada grupo será convidado a compartilhar e socializar seus registros da atividade, buscando, junto com o(a) professor(a), estabelecer uma ideia consensual acerca do assunto, verificando se as evidências apresentadas no texto são suficientes ou não para dizer que o mundo está mais quente.

Materiais para os estudantes

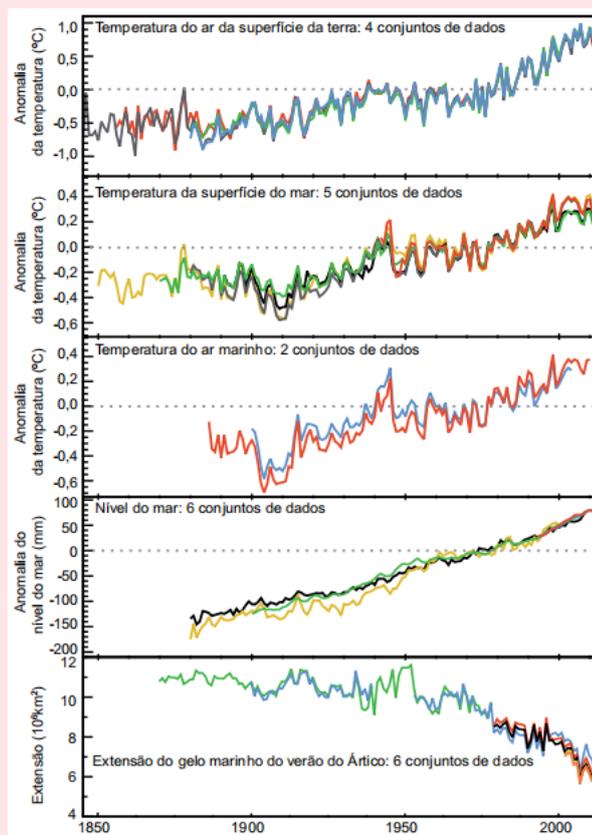
Texto para discussão

Texto - Como sabemos que o mundo aqueceu?

Existem vários indicadores independentes que mostram que o planeta aqueceu demasiadamente depois do século XIX. Um deles são as medições por termômetros e satélites das temperaturas da superfície, oceanos e atmosfera, feitas em vários cantos do mundo. Além disso, também podemos olhar para alterações nos: glaciares; mantos de gelo; gelo marinho; nível e temperatura do mar. Ao verificar todos esses indícios, podemos estabelecer que o mundo tem aquecido desde as revoluções industriais.

Nesse sentido, a Figura 1 apresenta um compilado de diversos dados de medições feitas a partir de vários indicadores diferentes. Nela, há indicativo de alterações: na temperatura do ar próximo à superfície; na temperatura do mar; na temperatura do ar marinho; no nível do mar; e na extensão no gelo do Ártico.

Figura 1 - Vários indicadores independentes que apontam para o aumento da temperatura do planeta.



Fonte: Adaptado do IPCC (2013, p. 38)

Analisando os dados coletados e compilados, observa-se que todos apontam para um aquecimento acentuado^a da Terra a partir do final do século XIX e, principalmente, no século XXI.

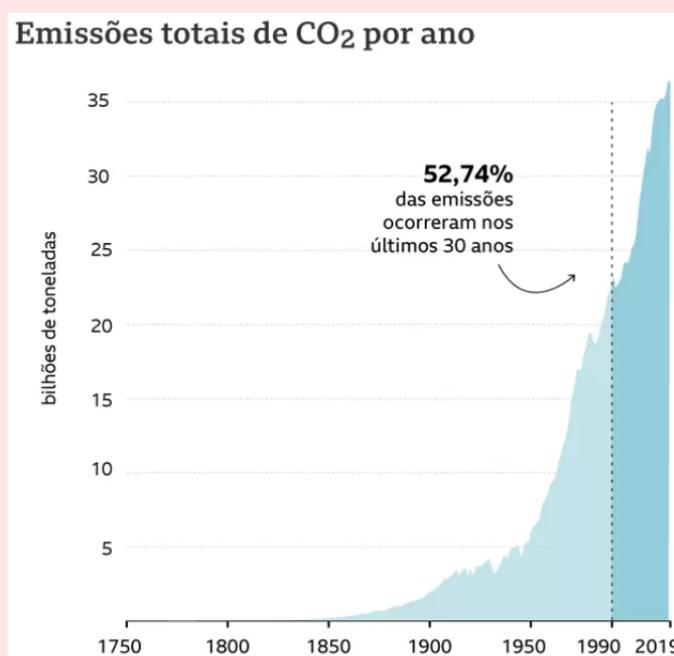
A partir da observação destes gráficos, podemos constatar que, a partir do século XVIII:

- A temperatura do ar da superfície terrestre aumentou praticamente 1°C;
- A temperatura dos oceanos subiu em aproximadamente 0.4°C, contribuindo tanto para o aumento do nível do mar (expansão da água), quanto para a quantidade de vapor de água na atmosfera — podendo intensificar o efeito estufa;
- Uma grande diminuição da extensão do gelo marinho do verão no Ártico, ou seja, está ocorrendo mais degelo e escoamento no verão do que acúmulo de neve no inverno;

Os cientistas de todo o mundo verificaram, de forma independente, a presença destes indícios muitas vezes. Desde as revoluções industriais, as ações humanas tornaram o mundo mais quente, principalmente através da queima de combustíveis fósseis, atividade dominante a partir desse período IPCC (2013).

Ao observarmos as taxas atuais de emissões e concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, é bastante provável que o mundo irá aquecer ainda mais. A Figura 2 ilustra como, a cada ano, emitimos cada vez mais bilhões de toneladas de dióxido de carbono na atmosfera.

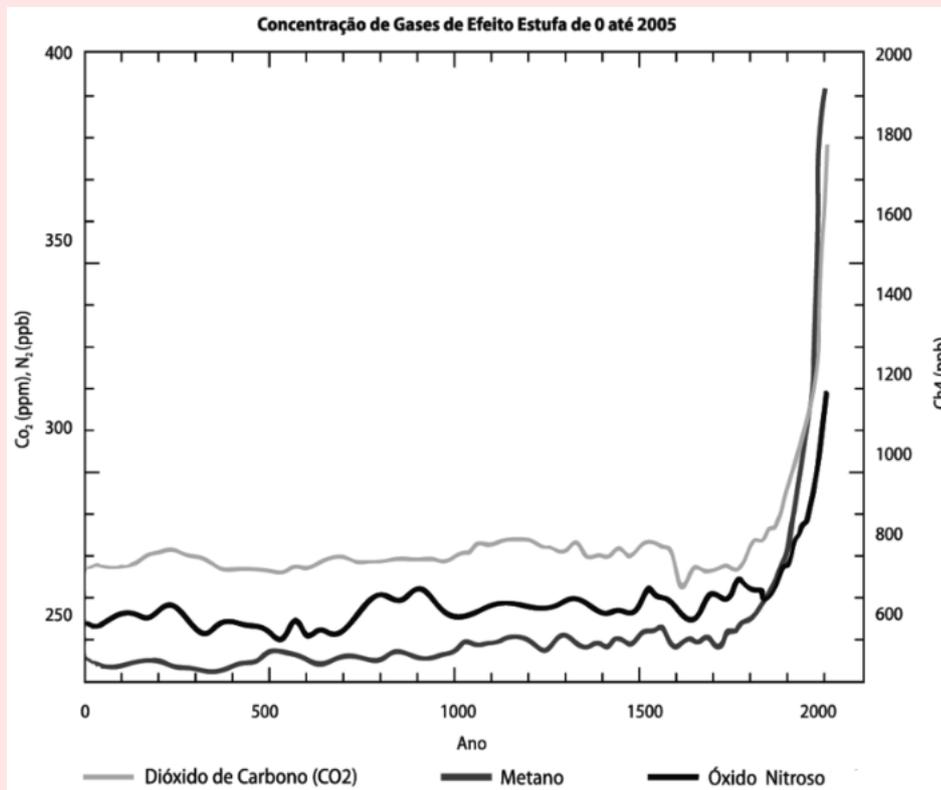
Figura 2 - Evolução temporal das emissões de CO_2



Fonte: Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-59013520>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Em 2019, o mundo emitiu aproximadamente 35 bilhões de toneladas de dióxido de carbono. Dados do Global Carbon Project^b, apontam que, aproximadamente, 90% das emissões de CO_2 vêm da queima de combustíveis fósseis. O restante é proveniente, principalmente, de desmatamentos e queimadas. Já a Figura 3, apresenta a concentração dos principais gases de efeito estufa na atmosfera — dióxido de carbono, metano e óxido nitroso — ao longo dos últimos 2000 mil anos.

Figura 3 - Concentração de Gases de Efeito Estufa ao longo dos últimos 2000 anos.



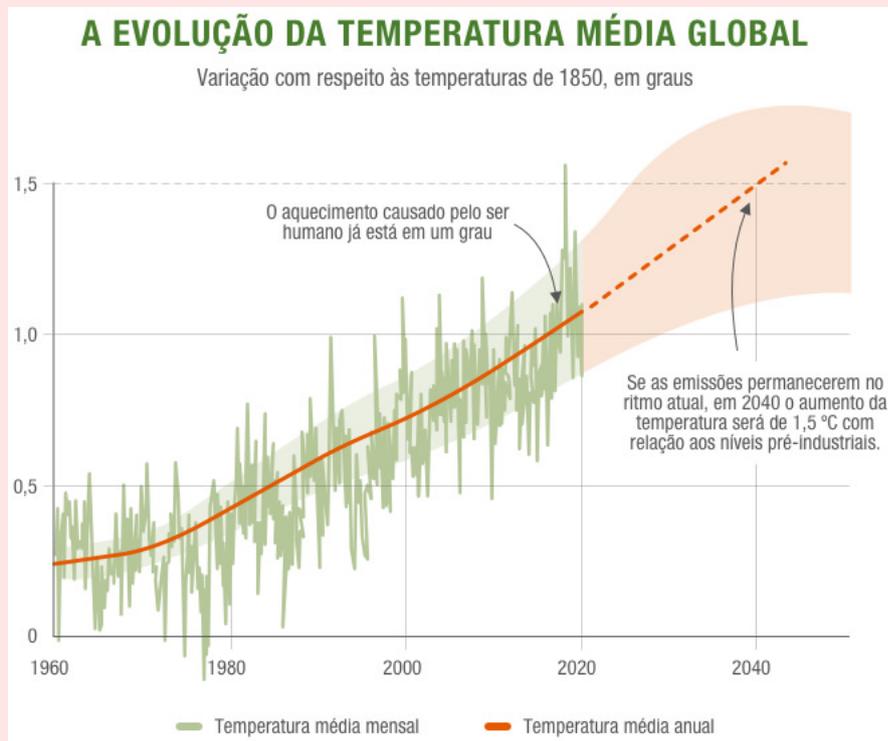
Fonte: IPCC (2007)

Devido às atividades humanas, a partir do século XVIII, houve um aumento acentuado nas concentrações de dióxido de carbono e metano na atmosfera. Observa-se que até as revoluções industriais as concentrações desses gases permaneceram praticamente constantes, com pouquíssimas variações ao longo dos anos.

No ano de 2022, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera alcançou a marca de 420 ppm; a de metano chegou aos 1908 ppb; e a de óxido nitroso 335 ppb^c. Se a humanidade continuar emitindo grandes quantidades desses gases, a concentração na atmosfera continuará subindo, logo, a temperatura média global também, sendo provável chegar a 2°C acima dos níveis pré-industriais ao final deste século (IPCC, 2013).

Na Figura 4, podemos observar a evolução da temperatura média global desde meados do século XX até o início do século XXI. A linha tracejada apresenta as previsões para as próximas décadas para a temperatura média global, caso as emissões de gases de efeito estufa continuarem na taxa atual.

Figura 4 - Evolução da temperatura média global a partir de meados do século XX.



Fonte: Disponível em:

<<https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/aumento-da-temperatura-da-terra>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Conforme a Figura 4, é bastante provável que o aquecimento global atinja 1,5°C por volta dos anos 2040, caso continue a aumentar no ritmo atual. Por isso, se faz necessário que os compromissos traçados no Acordo de Paris, em 2015, sejam cumpridos e que outros tratados e convenções possam ser realizadas, buscando a diminuição da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Individualmente, qualquer análise poderá ser pouco convincente, mas a análise de diferentes indicadores e conjuntos de dados independentes apontam para a mesma direção: o mundo aqueceu desde o final do século XIX.

^a A alteração de 1°C pode parecer pouco, mas significa um aumento expressivo no calor acumulado. É necessária uma enorme quantidade de energia térmica para aquecer todos os oceanos, a atmosfera e as massas de terra. A mudança de apenas 1°C na temperatura média global da Terra são suficientes para causar grandes impactos, proporcionando eventos climáticos extremos, bem como processos de retroalimentação no clima.

^b Disponível em: <<http://cms2018a.globalcarbonatlas.org/en/content/global-carbon-budget>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

^c Dados disponíveis em: <<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Tarefa - Evidências de um mundo mais quente

Baseado no texto “Como sabemos que o mundo aqueceu?”, apresente as evidências mencionadas que explicitam que a temperatura da Terra está aumentando.

Evidências a partir do texto:

Você considera que há evidências suficientes para afirmar que o planeta está esquentando?

Sim () Não () Estou com dúvidas ()

Justifique sua resposta.

Intencionalidade e Comentários

Esta etapa está diretamente relacionada às etapas anteriores relativas ao efeito estufa e ao efeito albedo. Antes, buscou-se relacionar o efeito estufa, a concentração de gases na atmosfera e o efeito albedo com o aumento da temperatura no planeta. Agora, busca-se identificar e reconhecer que as taxas de emissões de gases estão cada vez mais altas e que, dessa forma, continuará agravando o efeito estufa, aumentando a temperatura da Terra.

Além disso, espera-se que os e as estudantes, através do texto e da atividade, identifiquem diversas outras evidências que apontam para um mundo mais quente e, em seguida, convidá-los a refletirem e justificarem se essas provas apresentadas são suficientes para podermos afirmar que o mundo aqueceu.

Sobre a tarefa, sua elaboração foi inspirada na dissertação de mestrado de Alves (2013), que buscou trabalhar o uso da argumentação através da temática sobre a camada de ozônio. Em uma das tarefas elaboradas, os alunos e as alunas deveriam ler um texto e, posteriormente, justificarem e explicarem se o personagem presente no texto, reunia condições para considerar que os *CFCs* eram responsáveis pela destruição da camada de ozônio.

Etapa 5 - Consequências de um mundo mais quente: O derretimento das geleiras e o aumento do nível do mar

Conteúdos

- Degelo da Criosfera.

Objetivos de aprendizagem

- Selecionar evidências através do texto, reunindo dados que enfatizam que o planeta Terra está perdendo camadas de neve e gelo;
- Construir justificativas, relacionando os dados coletados do texto com a afirmação de que a quantidade de neve e gelo está diminuindo na Terra;
- Analisar e interpretar os gráficos presentes no texto, percebendo como as regiões do Ártico e Antártica são bastante afetadas pelo aquecimento global;
- Elaborar um argumento que sustente a declaração "A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta", explicitando os dados coletados do texto e as justificativas elaboradas;
- Identificar impactos do derretimento das áreas de Permafrost, entendendo que este processo pode gerar um feedback positivo no clima, acarretando mais degelo das áreas de neve e gelo do planeta;
- Identificar conceitos físico-químicos presentes na situação experimental, listando-os na atividade proposta;
- Associar o procedimento experimental aos eventos ocorridos nas regiões citadas, discernindo as consequências de cada uma;
- Preparar o experimento organizadamente, executando as etapas contidas no procedimento experimental;
- Investigar o material experimental preparado, levantando hipóteses sobre o fenômeno observado;
- Refletir e pesquisar sobre os impactos do aumento do nível do mar, apontando possíveis consequências;

Recursos didáticos

- Texto: "A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?"
- Tarefa - Degelo da Criosfera;
- *Data show* ou infográfico impresso;
- Materiais e roteiro do experimento "Nível da água";
- Tarefa "Nível da água";

Divisão dos momentos para a quinta etapa.

Momento	Aula Prevista	Tempo Estimado	Breve Descrição
1	1	5 min	Apresentação das atividades
2	1	2 min	Organização da turma em grupos e entrega do texto "A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?"
3	1	21 min	Leitura do texto
4	1	22 min	Discussão da leitura
5	2	35 min	Execução do experimento - "Nível da água"
6	2	15 min	Socialização dos registros do experimento
7	3	35 min	Realização da Tarefa - Degelo da Criosfera
8	3	15 min	Socialização dos registros da Tarefa - Degelo da Criosfera

Descrição das ações em sala de aula

1º Momento - Apresentação das atividades

Primeiramente, será explicado que nesta etapa será realizada a leitura de um texto: "A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?" e que, em sequência, haverá uma discussão sobre o aumento do nível do mar, realizando-se um experimento e uma tarefa associada a ele. E que, posteriormente, será retomada a discussão sobre degelo da criosfera, realizando uma atividade referente ao texto.

2º Momento - Organização em grupos e entrega do texto

Em seguida, os e as estudantes serão convidados a se reorganizarem em grupos para leitura do texto. Então, cada um deverá receber o texto *“A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?”*.

3º Momento - Leitura do texto

Durante o momento de leitura, será pedido aos grupos que destaquem, grifem ou até anotem dados relevantes que encontrarem ao longo do texto, bem como dúvidas relacionadas à alguma parte do texto, ou a algum termo desconhecido. Da mesma forma, espera-se que o(a) docente auxilie os grupos quanto à interpretação de gráficos, termos e conceitos. Em situações de dificuldades de análise de gráficos, pode-se orientar os grupos que percebam o comportamento que os gráficos possuem.

4º Momento - Discussão acerca do texto

Após finalizada a leitura, haverá um momento para discussões, dúvidas, comentários e questionamentos acerca do tema.

— *E aí, pessoal, que partes do texto chamaram a atenção de vocês? Quais partes acharam importante?*

Com o intuito de entender alguns conceitos, termos e aprofundar em algumas partes do texto, abaixo há algumas perguntas e questionamentos para se discutir com os grupos.

— *Quais regiões de grande concentração de acúmulo de neve e gelo, quando derretidas, contribuem para o aumento do nível do mar?*

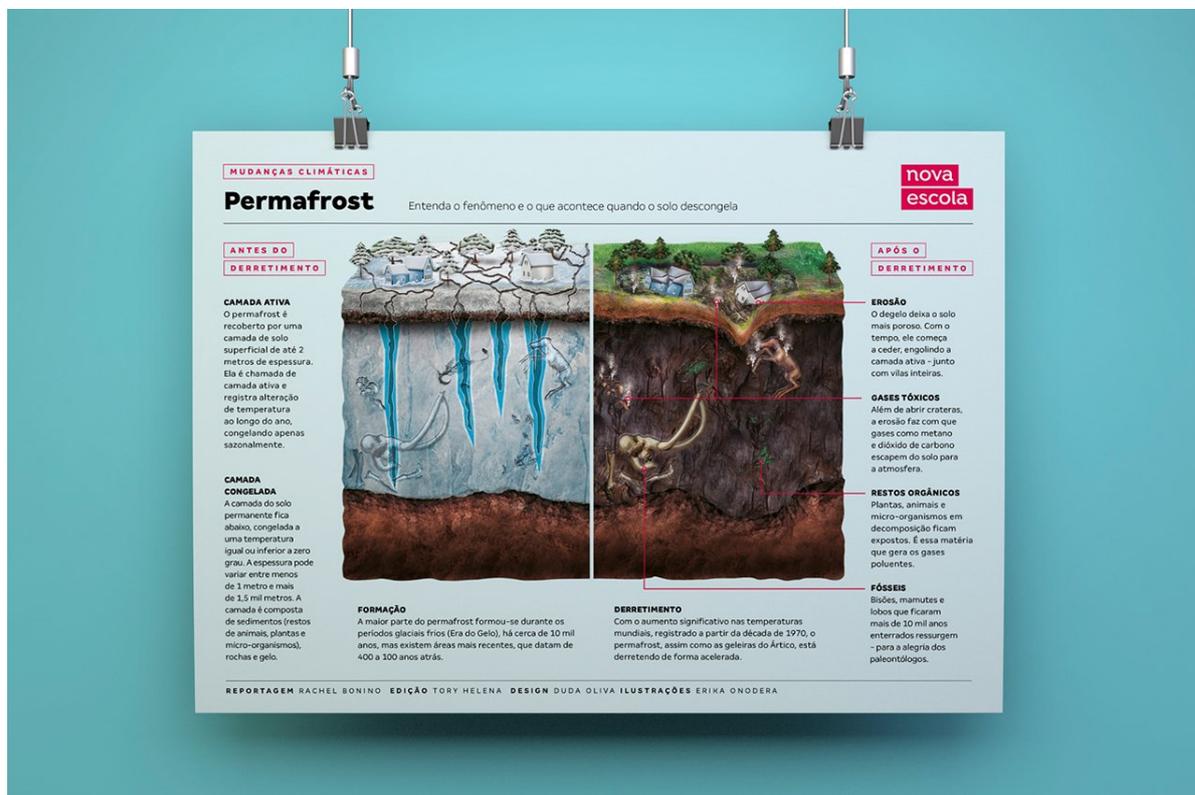
— *Por que o Ártico não contribui e os mantos de gelo da Groenlândia e Antártica contribuem? Que diferenças existem entre essas regiões? Um experimento para facilitar a visualização do porquê o Ártico não contribui, será realizado na próxima aula.*

— *No texto também apareceu o termo gelo marinho de verão. Isso se refere ao degelo natural do gelo marinho quando entra-se no verão. Então, no período do inverno, congela-se uma determinada área, a depender da intensidade do inverno. Quando entra-se no verão, naturalmente uma parte será derretida, mas até um determinado limite. Com o agravamento do aquecimento global, esse limite tende a aumentar e, na chegada de um novo inverno, nem toda área será novamente congelada. É o que o gráfico da Figura 3 apresenta.*

Neste momento, também poderá ser tratado com um pouco mais de detalhes, questões relacionadas ao permafrost. Para isso, poderá ser utilizado um infográfico, que apresenta as

características e as consequências do derretimento das regiões onde ele está presente. O infográfico poderá ser apresentado utilizando-se de um projetor ou, através de impressão de folhas.

Figura 2 – Infográfico sobre o Permafrost.



Fonte: Disponível em: <<https://box.novaescola.org.br/etapa/3/educacao-fundamental-2/caixa/81/permafrost-o-solo-que-ajuda-a-entender-as-mudancas-climaticas/conteudo/18943>>

— *Quais os grandes riscos do derretimento das regiões que possuem permafrost? Também pode ser destacado que a perda de áreas de permafrost podem acarretar um feedback positivo de aquecimento. O processo é o mesmo discutido na terceira etapa.*

— *De que maneira a exposição de materiais orgânicos, presentes nessa camada congelada, pode acarretar em mais derretimento do permafrost?*

5º Momento - Execução do experimento - “Nível da água”

Em seguida, buscando aprofundar nas discussões sobre o aumento do nível do mar, citado no texto, os e as estudantes serão convidados a se reorganizarem em grupos para realizarem o experimento sobre o nível da água. Então, cada grupo receberá uma folha com a descrição do experimento, contendo os materiais necessários, como realizá-lo e a tarefa relacionada. A princípio, os materiais deverão ser fornecidos pelo professor.

Com os grupos organizados e com os materiais em mãos, os e as estudantes deverão investigar as situações propostas e realizar a tarefa “Nível da água”. O(a) professor(a) deverá orientá-los, passando de grupo em grupo ao longo da atividade, esclarecendo possíveis dúvidas; realizando questionamentos sobre o experimento; o que eles esperam que aconteça; e se o que aconteceu estava de acordo com o que eles esperavam.

Se for necessário, pode-se prover algum material para adiantar o derretimento do gelo, caso o dia não esteja ensolarado.

6º Momento - Socialização dos registros do experimento

Após o término da atividade, será disponibilizado um tempo para que os grupos socializem suas percepções e conclusões acerca da atividade. É importante que, conjuntamente, o(a) professor(a) e a turma cheguem a um consenso sobre as questões da tarefa.

— *Vamos conversar sobre os questionamentos da tarefa. Compartilhar o que cada grupo colocou em cada questão, buscando um consenso sobre cada uma.*

Poderá ser destacado que o aumento do nível do mar pode afetar milhões de pessoas ao redor do mundo, que vivem em regiões litorâneas. Desaparecimento de pequenas ilhas, inundações frequentes, vulnerabilidade de usinas nucleares e outras infraestruturas, salinização dos solos e água doce, afetarão muitas pessoas, gerando refugiados climáticos³.

É esperado que os grupos entendam que em uma situação, o nível da água não aumenta, pois o espaço ocupado pelo gelo dentro da água, será ocupado pela água que derreter do gelo, não mudando a quantidade de água dentro do recipiente. Em contrapartida, na outra situação, o gelo está fora da água, portanto, não ocupando nenhum espaço dentro da água, assim, quando derretido, a água irá escoar pela pedra, adicionando mais água ao recipiente, mudando o nível da água.

7º Momento - Realização da Tarefa - Degelo da Criosfera

No momento seguinte, retomando as discussões sobre degelo, será entregue aos grupos a tarefa “Degelo da Criosfera”. Os alunos e alunas deverão ler atentamente a atividade e realizá-la. O(a) professor(a) deverá ler e explicar a atividade, além de orientar os grupos ao longo da atividade, ajudando-os a identificar os dados presentes no texto e com possíveis dificuldades de interpretação de gráficos.

³ Fontes: <<https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luiz-marques/consequencias-da-elevacao-do-nivel-do-mar-no-seculo-xxi>>; <<https://parajovens.unesp.br/por-que-devemos-nos-preocupar-com-as-alteracoes-do-nivel-do-mar/>>.

É esperado que os e as estudantes tenham dificuldade em propor justificativas e de distinguir os dados das justificativas. Portanto, talvez seja interessante destacar a diferença entre os termos, explicando que os dados ou evidências são informações que corroboram com a declaração de conhecimento e que as justificativas são afirmações gerais que relacionam essas evidências com a declaração.

8º Momento - Socialização dos registros

Após a realização da atividade, os grupos serão convidados a compartilharem e socializarem seus registros com toda a turma, a fim de analisar e avaliar, conjuntamente, os argumentos propostos, verificando se eles estão adequados e se conseguem sustentar a afirmação de conhecimento.

Materiais para os estudantes

Experimento - Nível da Água

Propomos um experimento para discutir o porquê determinadas regiões polares, quando derretidas, contribuem para o nível do mar, enquanto outras, não. Abaixo, será apresentado toda a descrição do experimento, bem como os materiais que serão usados e o procedimento.

Descrição do Experimento	
<p>Materiais necessários</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dois recipientes transparentes de mesmo volume; • 2 pedras (de tamanho considerável) que caibam dentro dos recipientes; • Um marcador permanente para plásticos; • Gelo; • Régua; • Corante; 	<p>Procedimento</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Coloque uma pedra em cada recipiente e encha com água até a metade; 2. Em dos recipientes coloque o gelo sobre a pedra. No outro, coloque o gelo diretamente dentro da água. A mesma quantidade de gelo deve ser colocada em ambas situações; 3. Marque o nível da água com a caneta dos dois recipientes; 4. Espere o gelo derreter e observe o que acontece em ambos os casos.

Tarefa - “Nível da água”

- Em ambas as situações, faça medições do nível da água comparando o antes e depois do gelo derreter. Anote seus resultados.
- Responda a primeira questão ANTES de realizar o experimento. E responda às demais DEPOIS de realizar o experimento.

1. O que você espera que aconteça em ambos os casos? Explique.

Depois de realizado o procedimento experimental:

a) Identifique fenômenos e grandezas físico-químicas presentes no experimento.

Aconteceu o que você esperava? Comente.

Observa-se que em uma das situações, o nível da água aumenta e, na outra situação, não. Utilizando-se das medidas realizadas, levante hipóteses do porquê você acha que isso aconteceu.

O que aconteceria se as pedras não estivessem presentes nos recipientes? Isso afetaria os resultados? Explique.

Como podemos relacionar essa explicação com o derretimento de camadas de gelo na região do Ártico e no continente Antártico? Justifique.

Pesquise e apresente as possíveis consequências para o aumento do nível do mar.

No momento adequado, compartilhe seus resultados e respostas com toda a turma.

Texto - A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?

Ao longo das últimas décadas, os mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica têm perdido grandes quantidades de gelo, os glaciares continuam a diminuir em quase todo o mundo e a extensão do gelo marinho do Ártico também continua a diminuir (IPCC 2013).

As observações mostram que, especialmente desde 1980, o gelo e a neve estão diminuindo em escala global. Muitos glaciares em regiões montanhosas estão ficando menores. Regiões costeiras do manto de gelo da Groenlândia e do oeste da Antártica, e geleiras da Península da Antártica, estão diminuindo, contribuindo para o aumento do nível do mar (IPCC, 2007).

Dados da NASA^a mostram que a taxa atual de perda de massas de gelo, na Antártica, está em 151 gigatoneladas por ano. Além disso, como observa-se na Figura 1, a Antártica perdeu mais 2500 gigatoneladas de massas de gelo, desde o ano de 2002.

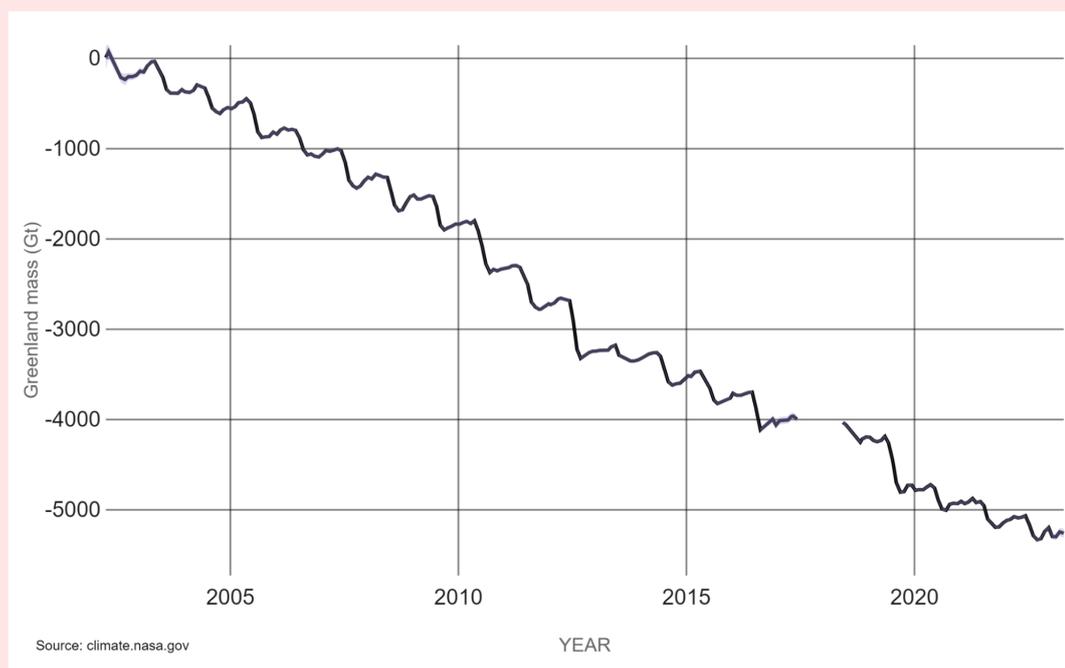
Figura 1 - Variação de massa de gelo (em gigatoneladas) na Antártica desde 2002. A lacuna representa um tempo entre as operações.



Fonte: Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

Entretanto, não é apenas a Antártica que está perdendo grandes quantidades de gelo e contribuindo para o aumento do nível do mar. A Groenlândia também participa desse processo, e não tem perdido pouco, como podemos observar na Figura 2.

Figura 2 - Variação de massa de gelo (em gigatoneladas) na Groenlândia desde 2002. A lacuna representa um tempo entre as operações.

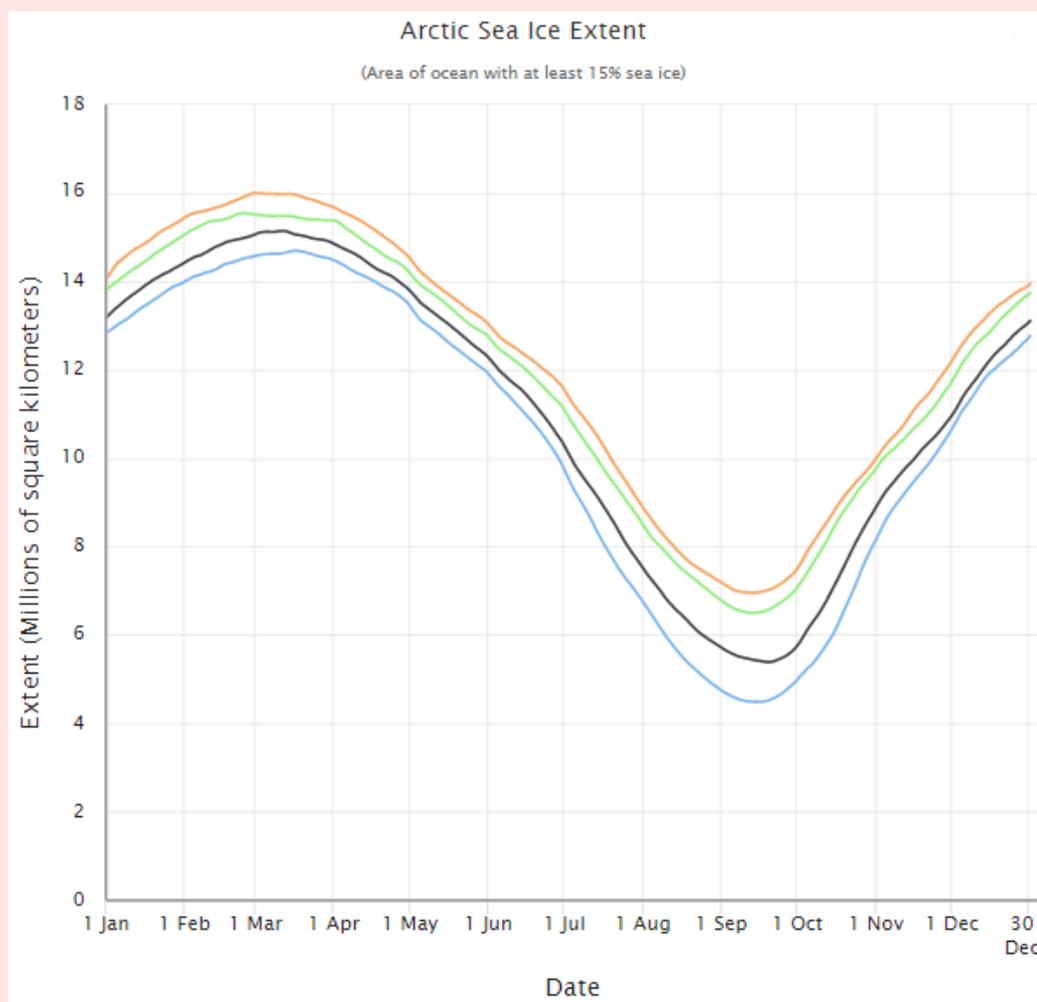


Fonte: Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>>. Acesso em: 03 jul. 2023

Desde 2002, a Groenlândia perdeu mais de 5000 gigatoneladas de massa de gelo, como observado no gráfico anterior. E, atualmente, está perdendo gelo numa taxa de 278 gigatoneladas por ano^b, ou seja, bem mais que a Antártica.

O Ártico também está derretendo. Dados de satélites mostram que desde de 1978 até o início do século XXI, a média anual da extensão de gelo marinho diminuiu em $2,7 \pm 0,6\%$ por década, enquanto a extensão de gelo marinho de verão, diminuiu em $7,4 \pm 2,4\%$ por década. Atualmente esta taxa de perda está em $13,1\%$ por década^c. Os resultados não mostraram nenhuma tendência significativa para o gelo marinho na Antártica (IPCC, 2007). A Figura 3 ilustra esse evento no Ártico.

Figura 3 - Extensão do gelo marinho no Ártico. As linhas representam as médias de extensão do gelo marinho em milhões de km², ao longo de todas as estações do ano. A linha laranja representa a média entre os anos de 1979-1990; a linha verde de 1991-2000; a linha azul escura de 2001-2010; e a linha azul clara de 2011-2020.



Fonte: Disponível em: <<https://nsidc.org/arcticseaicenews/charctic-interactive-sea-ice-graph/>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Do final do século XX até 2020, tanto o gelo de verão como o do inverno foram reduzidos drasticamente. O período de 2011-2020 (linha azul clara) teve, no final do verão, quase 3 milhões de km² de extensão a menos do que no final do verão de 1979-1990 (linha laranja).

Além disso, apesar do Ártico não contribuir com o aumento do nível do mar, mudanças nessa região trazem outro problema: o derretimento do permafrost. Permafrost é qualquer solo que permanece completamente congelado a ou abaixo dos 0°C por pelo menos dois anos seguidos (IPCC, 2013). Estão presentes, majoritariamente, no hemisfério Norte em regiões do Canadá, Groenlândia, Alasca e Sibéria.

O permafrost guarda em suas camadas muita matéria orgânica. Quando congelado, essa matéria orgânica não entra em decomposição e não apodrece. Porém, quando derretido, começa a ser decomposta, liberando gigatoneladas de gases de efeito estufa na atmosfera, como dióxido de carbono e metano, contribuindo para o aquecimento do planeta, que por sua vez, pode derreter mais permafrost — criando um *feedback* positivo. Alterações no permafrost, não estão somente ligadas ao aumento de temperatura, mas também à espessura das coberturas de neve.

Muitas comunidades são construídas em cima de permafrost no hemisfério Norte. Contudo, se ele derreter, casas e outras infraestruturas, podem ser destruídas, afetando milhões de pessoas.

Segundo os dados disponíveis no documento do IPCC de 2013, até o final do século XXI, prevê-se que a área de permafrost próximo à superfície diminua entre 37% e 81%.

^a Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

^b Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

^c Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Tarefa - Degelo da Criosfera

A partir da leitura do texto “A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta?”, vamos buscar por evidências e construir justificativas que apoiem a declaração: A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta. Para isso, abaixo, apresentamos uma tabela que traz, na primeira coluna, a declaração que queremos sustentar.

Com base no texto, escreva, na coluna central, as evidências/dados que sustentem a afirmação dada. Uma vez apresentadas, escreva, na última coluna, uma justificativa de como as evidências e dados se relacionam com a declaração dada.

Afirmação de conhecimento	Evidências	Justificativas
A quantidade de neve e gelo está diminuindo no planeta		

Intencionalidade e Comentários

Nesta etapa, espera-se que os estudantes e as estudantes busquem por evidências e justificativas que sustentem que as áreas de neve e gelo do planeta Terra estão diminuindo. Para isso, espera-se que construam uma linha argumentativa, apresentando os dados que corroboram com

a afirmação de conhecimento e as justificativas, de forma a relacionar os dados apresentados à declaração.

Não fazemos distinção entre os termos dados e evidências, e nem de garantias e justificativas, tratamos como sinônimos. Utilizamos termos tanto do trabalho de Toulmin (2006) quanto da Jiménez-Aleixandre (2010). Tratamos dados e evidências como informações, de qualquer natureza, que corroboram com a declaração de conhecimento. Enquanto que para as garantias e justificativas, queremos evidenciar um elemento que sustente essas evidências, relacionando-a à declaração feita.

Esta atividade foi inspirada no material de Jiménez-Aleixandre et al. (2009), em que é apresentado e discutido diversas atividades para se trabalhar a argumentação no ensino de ciências. Em uma delas, mais especificamente a atividade classificada como A2 (pg.17), utiliza-se de uma tabela para organizar e sintetizar evidências e justificativas acerca da afirmação de conhecimento. Esta atividade também recorre-se ao padrão argumentativo de Toulmin.

Após a leitura do texto, julgamos que seria interessante realizar um experimento e uma tarefa, que permitisse aos estudantes discutirem o aumento do nível do mar. Logo, após a realização do experimento e da tarefa relacionada, espera-se que os alunos e alunas associem o experimento ao que acontece nas regiões da Antártica e Ártico, quando falamos em aumento do nível do mar. Através do procedimento experimental, busca-se que os grupos investiguem a situação, realizem discussões dentro do grupo e tentem propor uma explicação para o que foi observado.

Além disso, as discussões sobre nível do mar, acabam possibilitando aos grupos elencar mais uma evidência de que as camadas de gelo estão derretendo, durante a tarefa “Degelo da Criosfera”.

Etapa 6 - Fechamento: As Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas?

Objetivos de Aprendizagem e Desenvolvimento

- Sistematizar as evidências e justificativas elencadas ao longo do desenvolvimento da sequência, construindo um novo argumento que sustente a declaração “As Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas”;

- Posicionar-se diante das publicações e falas apresentadas, elaborando um material que as conteste, utilizando-se das evidências e justificativas identificadas e construídas durante todo o desenvolvimento da sequência.
- Reconhecer que as Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas, analisando as evidências disponíveis, que foram discutidas no decorrer das atividades;

Recursos didáticos

- Quadro;
- Materiais para leitura;
- *Data show*;
- Tarefas.

Divisão dos momentos para a sexta etapa.

Momento	Aula Prevista	Tempo Estimado	Breve Descrição
1	1	5 min	Apresentação da atividade
2	1	2 min	Organização dos grupos
3	1	25 min	Tarefa de sistematização dos argumentos
4	1	18 min	Socialização da tarefa de sistematização
5	2	20 min	Leitura e discussão dos materiais
6	2,3	30 min	Tarefa de posicionamento
7	3	20 min	Socialização dos registros dos grupos

Descrição das ações em sala de aula

1º Momento - Apresentação da atividade

Primeiramente, deverá ser explicado à turma que esta será a última etapa da sequência de ensino e aprendizagem e que busca-se um fechamento para as discussões. Para isso, é interessante comentar que haverá uma atividade de sistematização das evidências e justificativas sobre as mudanças climáticas, procurando responder ao questionamento: “*As Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas?*”.

E que, por último, será realizada a leitura de alguns materiais, para, em seguida, realizar uma tarefa de se posicionar perante a esses materiais. Ou seja, depois de tudo o que foi discutido, queremos abrir espaço para que os alunos e alunas possam tomar uma posição em relação às falas e ações que permeiam as mídias sobre a temática.

2º Momento - Organização dos grupos

Assim, a turma será convidada a se reorganizar em grupos para fazer as atividades. Ao mesmo tempo, o professor deverá entregar a cada um a tarefa “*As Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas?*”.

3º Momento - Atividade de sistematização dos argumentos

Antes de começarem a realizar a tarefa, poderá ser comentado, buscando esclarecer possíveis dúvidas, que esta tarefa é bastante parecida com a que foi feita na etapa anterior sobre o degelo da criosfera. Entretanto, desta vez, há um movimento dos elementos dentro do argumento, em que a afirmação de conhecimento daquela etapa, agora torna-se uma evidência. Talvez seja necessário enfatizar novamente em conversas individuais com os grupos, ao longo da atividade.

O(a) professor(a), deverá explicitar que agora é um momento de sistematizar as evidências identificadas e construídas durante todo o desenvolvimento da sequência, de maneira a estabelecer que as Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas, formando um grande argumento. Para tanto, é importante que os grupos tenham acesso às atividades anteriores para usarem como consulta, bem como para ajudá-los a lembrar um pouco das discussões realizadas.

No decorrer da atividade, o(a) docente deverá transitar entre os grupos, buscando ajudá-los a identificar e/ou elaborar as evidências e justificativas, bem como a lembrar das discussões feitas.

É relevante o(a) professor(a) destacar, que há a possibilidade de escolher se as Mudanças Climáticas são causadas pelas ações humanas ou não. Contudo, o grupo que, por ventura, escolher a opção “não” deverá, da mesma forma, apresentar evidências e justificativas.

4º Momento - Socialização da tarefa “As Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas?”

Neste momento, será dado espaço aos grupos para socializarem seus registros e conclusões acerca da tarefa, buscando um consenso da turma. É pertinente que o(a) professor(a) questione aos demais grupos se concordam ou não com as evidências e justificativas elencadas

por um determinado grupo — tanto sobre a sua coerência dentro da estrutura do argumento, quanto sobre a qualidade da evidência. É esperado que ao final, a turma estabeleça um argumento padrão de forma conjunta.

5º Momento - Tarefa de posicionamento

Dando continuidade, serão apresentados alguns materiais para leitura e discussão, buscando fundamentar a atividade seguinte. Esses materiais são publicações e falas negacionistas climáticas de figuras públicas e políticas. A princípio, pretende-se apresentar esses materiais através de um *Data Show*, facilitando a leitura por toda a turma.

Discursos negacionistas de Donald Trump^a

Enunciado I - Neve e gelo, clima congelante, no Texas, Arizona e Oklahoma o que diabos está acontecendo com o aquecimento global?

Enunciado II - Wow, está nevando em Israel e nas pirâmides do Egito. Nós ainda estamos gastando bilhões na vigarice do aquecimento global? Faça dos EUA competitivos!

Publicação negacionista de Carlos Bolsonaro^b

Só por curiosidade: quando está quente a culpa é do sempre possível aquecimento global e quando está frio fora do normal como é que se chama?

Fala de Pedro Pinheiro, secretário das Mudanças Climáticas da prefeitura de São Paulo, durante fórum sobre tragédias ambientais^c

O planeta não será salvo por nós, ninguém salva o planeta terra. Geralmente ele se salva sozinho. Ele o faz há 4,3 bilhões de anos e mudou o clima em todo esse período. Quando o planeta se salva, geralmente ele se livra do que está na superfície dele”, afirmou Pinheiro Pedro.

Falas de Ricardo Felicio em uma entrevista para a revista Veja^d

Entrevistador: Quando os chamados “aquecimentistas” citam o derretimento de calota polar geralmente omitem que calotas também se formam, com frequência mais que derretem, como você costuma mostrar com dados. É verdade que, recentemente, “a calota de gelo polar havia se reduzido em tamanho equivalente à superfície da Índia”? Isto seria algum motivo de preocupação, como prega o autor do artigo?

Ricardo Felicio: Esse é o ponto mais interessante. A maior parte das notícias de “derretimento” de alguma coisa ocorre no verão relativo ao hemisfério em que se encontra. Em geral, no final do verão. Assim, quando acompanhamos as notícias de gelo que se desprende, Icebergs, recuo do mar congelado e coisas do gênero, notamos que elas ocorrem

em fevereiro para março, no caso da Antártida, e agosto para setembro, no caso do Ártico. Especificamente para o hemisfério Norte, a calota polar derrete bastante durante o verão exatamente porque as temperaturas do ar ficam muitas vezes acima de zero graus Celsius e, assim, o mar descongela. Só que eles não mostram que, logo depois, tudo se recupera.

^a Essas falas foram obtidas no trabalho de Zanco (2019). As traduções foram feitas pela autora.

^b Publicação feita na rede social Twitter em 7 de junho de 2019.

^c Disponível em: g1.globo.com. Acesso em: 19 jul. 2023.

^d Disponível em: veja.abril.com.br. Acesso em: 19 jul. 2023

Portanto, buscando com que os e as estudantes se posicionem acerca dos discursos dos políticos apresentados, será solicitado aos grupos que elaborem um material — pode ser uma cartolina, banner ou qualquer outro instrumento razoavelmente mais elaborado —, contestando essas colocações. Caso o tempo não seja suficiente, pode-se solicitar aos grupos, que finalizam o trabalho em casa. Se houver a possibilidade, gostaríamos que esses materiais pudessem ser expostos em murais ou em qualquer outro espaço da escola, buscando dialogar, em alguma medida, com a comunidade escolar.

6º Momento - Socialização dos materiais elaborados

Depois que os materiais estiverem praticamente prontos, os grupos serão convidados a compartilhá-los com os demais colegas e professor(a), apresentando a maneira como está estruturado, os recursos utilizados e quaisquer outros comentários que acharem relevantes. O(a) professor(a) deverá verificar se o material está adequado para ser exposto na escola, analisando a linguagem, as possíveis imagens, a organização e o conteúdo.

Materiais para os estudantes

Tarefa - As Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas?

Declaração de conhecimento: () sim ou () não, as Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas. **Evidências:**

Justificativas:

Tarefa - Contestando Negacionistas

Imaginem que vocês fazem parte de uma equipe vinculada ao IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), e estão preocupados com a disseminação de informações falsas e negacionismo climático, principalmente por parte de figuras políticas, que têm o poder de tomar decisões e propor políticas públicas.

Diante desse contexto, vocês estão bastante descontentes com os discursos apresentados por esses políticos e outras figuras públicas, visto que estas falas têm a capacidade de alcançar milhões de pessoas, legitimando manifestações anti-ciência.

A equipe, portanto, decidiu elaborar materiais e/ou instrumentos com o intuito de contestar esses discursos, buscando enfatizar que há um consenso muito bem estabelecido pela comunidade científica sobre o tema das Mudanças Climáticas, e que esta posição não é baseada em opiniões, mas, sim, em evidências. Além disso, a equipe julgou que seria relevante que os materiais elaborados fossem o mais didáticos possível, buscando dialogar com a população, explicando, em alguma medida, o impacto que falas negacionistas podem trazer à sociedade.

Intencionalidade e Comentários

A tarefa “As Mudanças Climáticas são causadas por ações humanas?” está diretamente associada ao argumento padrão planejado para a construção da sequência de ensino, de modo que agora os e as estudantes possuem condições de estabelecer que as ações humanas são determinantes para as mudanças no clima. É uma forma de sistematizar as evidências discutidas e de enfatizar que a posição da comunidade científica diante das Mudanças Climáticas, não é baseada em opiniões.

Quanto à última tarefa, espera-se que os grupos elaborem um material que conteste figuras políticas, utilizando-se das evidências identificadas e construídas ao longo do desenvolvimento da sequência, e que possam também dialogar com a comunidade escolar, explicando os impactos que publicações e falas negacionistas podem causar. Por isso é interessante que os materiais sejam expostos na escola.

Avaliação Geral

Será avaliado se os e as estudantes realizaram as tarefas requisitadas em cada etapa, verificando o quanto do que foi pedido em cada uma aparecem ou não no material e se as informações escritas e apresentadas pelos alunos(as) estão coerentes com o assunto estudado.

Também será avaliado a participação dos alunos e alunas nos momentos de discussão dos textos e socialização dos resultados das atividades, verificando seu envolvimento.