

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS ARARANGUÁ

LICENCIATURA EM FÍSICA

JULIANA GOULART MARTINS

**AQUECIMENTO GLOBAL: EXPLORANDO PERSPECTIVAS OPOSTAS ATRAVÉS DE
UMA PROPOSTA DE DEBATE EDUCACIONAL NO ENSINO MÉDIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ARARANGUÁ

2025

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS ARARANGUÁ

LICENCIATURA EM FÍSICA

JULIANA GOULART MARTINS

**AQUECIMENTO GLOBAL: EXPLORANDO PERSPECTIVAS OPOSTAS ATRAVÉS DE
UMA PROPOSTA DE DEBATE EDUCACIONAL NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Física do Instituto
Federal de Santa Catarina – Câmpus Araranguá
como parte das exigências para obtenção do título
em Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Fábio Moreira de Oliveira

ARARANGUÁ
2025

Dedico este trabalho às futuras gerações, na esperança de que o debate sobre o aquecimento global continue a evoluir e que a ciência seja sempre um farol na busca por soluções sustentáveis

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me sustentar até aqui, pois sem Ele nada poderia fazer. À minha mãe, Simone, por sua força inabalável, por cuidar de tudo com tanto carinho e, principalmente, por nunca duvidar de mim, mesmo quando eu mesma duvidei. Ao meu pai, Silvério, por sempre me instigar ao caminho da ciência e do conhecimento, tornando nossas longas conversas em verdadeiras jornadas de aprendizado

Agradeço também à minha vó Olindina, por sua presença constante e seu carinho, e ao amor da minha vida, Josué, que sempre me fez rir e me incentivou, de forma incondicional, a perseguir meus sonhos. Registro, com saudade e carinho, minha gratidão a quem não pôde ver este momento se concretizar, mas esteve comigo no início dessa caminhada: *in memoriam*, ao meu avô José e ao meu cão fiel companheiro Winter. Sem vocês, este trajeto teria sido ainda mais difícil.

Aos meus queridos professores, expresso minha imensa gratidão por todos os ensinamentos e pela dedicação. Em especial, agradeço ao meu orientador, Fábio, cuja humildade e conhecimento sempre nos inspiram, e à minha banca: ao professor William, que com carinho acompanhou essa jornada desde o início, sempre disposto a ajudar e incentivar, e ao professor e coordenador Edmilson, por sua escuta atenta e palavras de acolhimento. Deixo registrada minha profunda admiração por vocês, que são verdadeiras inspirações na luta por uma educação de qualidade e no caminho para me tornar uma profissional na área da Física.

Também sou grata às minhas colegas e amigas, Alice e Geovana, pelo companheirismo, pelas incontáveis risadas e por tornarem os momentos difíceis mais leves e divertidos. Sem dúvida, a amizade de vocês foi um dos maiores presentes que a graduação me proporcionou e que levarei para a vida.

Por fim, agradeço à Física, essa ciência fascinante que me permitiu enxergar o mundo com outros olhos, compreender sua beleza infinita e seus mistérios. E à licenciatura, que me fez descobrir o encanto desta arte transformadora que é a educação.

“Nós costumávamos olhar para o céu e nos perguntar qual é nosso lugar nas estrelas, agora só olhamos para baixo e nos preocupamos sobre o nosso lugar na poeira”.

(Nolan, Christopher. Interestelar. Paramount Pictures, 2014)

Resumo

O aquecimento global é um tema de grande relevância e frequentemente marcado por debates, devido aos seus impactos significativos previstos para o meio ambiente e a sociedade. Este trabalho examina como diferentes perspectivas científicas sobre as causas e consequências do aquecimento global podem ser apresentadas de forma educativa e imparcial nas escolas através de uma proposta de debate no ensino médio, buscando apresentar o tema de maneira equilibrada, abordando tanto a teoria antropogênica¹ quanto a teoria natural do aquecimento global². Sem considerar exclusivamente a causa da influência da ação humana ou da variabilidade natural do clima, mas sim fornecer informações científicas, Dessa forma, pretendemos contribuir para o desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos.

Palavras chave: Controvérsias sobre o Aquecimento Global. Debate como Estratégia de Ensino. Ensino de Física. Impactos das Mudanças Climáticas. Desenvolvimento do Pensamento Crítico. Teoria Antropogênica. Teoria Natural

¹ Teoria antropogênica: é a ideia de que as ações humanas são a principal causa do aquecimento global e de outras alterações no meio ambiente (Silva R. W. C. Paula B. L. 2009. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. Terræ Didática,)

² A teoria natural do aquecimento global: defende que o aquecimento é um fenômeno natural, e que o ser humano é apenas um agente que potencializa o aumento das temperaturas (Silva R. W. C. Paula B. L. 2009. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. Terræ Didática,)

Abstract

Global warming is a widely debated and often polarized topic, with significant impacts predicted for the environment and society. This work examines how different scientific perspectives on the causes and consequences of global warming can be presented in an educational and impartial way in schools through a high school debate proposal. seeking to present the topic in a balanced way, addressing both the anthropogenic theory³ and the natural theory of global warming⁴. Without exclusively considering the cause of the influence of human action or natural climate variability, but rather providing substantiated scientific information, in this way, we intend to contribute to the formation of a well-founded opinion and to the development of students' critical thinking.

Keywords: Controversies about Global Warming. Debate as a Teaching Strategy. Teaching Physics. Impacts of Climate Change. Development of Critical Thinking. Anthropogenic Theory. Natural Theory

³ Anthropogenic theory: is the idea that human actions are the main cause of global warming and other changes in the environment (Silva R. W. C. Paula B. L. 2009. Cause of global warming: anthropogenic versus natural. Terræ Didática,)

⁴ The natural theory of global warming: argues that warming is a natural phenomenon, and that human beings are just an agent that increases the increase in temperatures (Silva R. W. C. Paula B. L. 2009. Cause of global warming: anthropogenic versus natural. Terræ Didática,)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Perda de terra firme pelo avanço das águas	20
Figura 2 - Influência de cada gás no agravamento do efeito estufa	24
Figura 3 - Absorção atmosférica e dispersão	25
Figura 4 - Curva de Keeling, concentração de CO ²	27
Figura 5 - Modelos climáticos	29

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas da metodologia	37
Tabela 2 - Principais diferenças das teorias	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Referencial educacional	14
2.1.1 Paul Feyerabend - “Contra o método”	14
2.1.2 Metodologia de Debate Fundamentada na Teoria da Aprendizagem Dialógica de Paulo Freire	16
2.1.3 A Metodologia de Debate e a Teoria Sociointeracionista de Lev Vygotsky	18
2.2 Aquecimento global	20
2.2.1 Contribuições da Física para o estudo do Aquecimento Global	22
2.2.2 Efeito estufa	23
2.2.3 Termodinâmica e Ciclo de Carbono	26
2.2.4. Dinâmica de Fluidos e Modelagem Climática	27
2.2.5 Modelos climáticos numéricos, baseados em leis fundamentais da termodinâmica e dinâmica dos fluidos.	28
2.2.6 Física Atmosférica e Mudanças Climáticas	30
2.2.7 Impactos Ambientais e Ecosistêmicos	31
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
4 METODOLOGIA	37
4.1 Referencial metodológico: Debate uma alternativa dialética	37
4.2 Planejamento da proposta de debate	39
5 CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA DE DEBATE	41
5.5.1 Objetivos	41
5.5.2 Planejamento e Estrutura do Debate	42
5.5.3. Formação dos Grupos e Inversão de Papéis	43
5.5.4. Dinâmica do Debate	44
5.5.5. Mediação e Regras do Debate	45
5.5.6 Avaliação e Reflexão Pós-Debate	45
5.5.7 Resultados esperados	46
6 CONCLUSÃO	48
7 ANEXO	50
7.1 Controvérsias	50
8 REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global é um tema amplamente debatido e muitas vezes polarizado, com impactos significativos previstos para o meio ambiente e para a sociedade. Segundo o IPCC⁵ (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), há um consenso científico de que o aquecimento global está ocorrendo, destacando que a temperatura média global aumentou significativamente nas últimas décadas, resultando em impactos climáticos e ambientais diversos.

No entanto, a percepção de que a ciência oferece respostas absolutas pode levar a uma compreensão limitada e enviesada sobre questões complexas como essa. Kuhn (2017) argumenta que a ciência progride através de paradigmas, que são conjuntos de crenças e práticas que definem um campo de pesquisa em um determinado período. Esses paradigmas podem mudar com o tempo, conforme novas evidências e teorias emergem, indicando que a ciência não é estática e absoluta.

É essencial, portanto, reconhecer e explorar as diferentes linhas de pensamento científico que existem sobre as causas e consequências do aquecimento global. Hulme (2009) destaca a importância de considerar as diversas narrativas e perspectivas sobre as mudanças climáticas para um entendimento mais completo e crítico do tema, sugerindo que diferentes disciplinas e contextos culturais podem oferecer visões alternativas que enriquecem o debate científico.

Embora seja essencial considerar diferentes abordagens científicas sobre o aquecimento global (Hulme, 2009), é igualmente importante distinguir entre perspectivas fundamentadas e concepções pseudocientíficas, que podem comprometer a compreensão pública do tema (Peduzzi & Raicik, 2016). Trabalhar esse tema em sala de aula permite que os alunos tenham um pensamento crítico, diferenciando ciência de senso comum.

A inclusão de uma variedade de perspectivas científicas no currículo escolar ajuda a desenvolver o pensamento crítico dos alunos e a capacitá-los a discernir entre argumentos fundamentados e especulações infundadas. Segundo Peduzzi e

⁵ O IPCC foi criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e tem como atividade principal monitorar a ciência global relacionada às mudanças climáticas

Raicik (2016), a educação científica deve promover uma compreensão robusta e diversificada da ciência, incluindo a habilidade de identificar e questionar concepções pseudocientíficas. Ao enfatizar a importância do método científico e da evidência empírica, os educadores podem ajudar os alunos a reconhecer a validade das teorias científicas e a importância de um debate informado e baseado em dados.

Nesse contexto, este trabalho visa responder a seguinte **pergunta de pesquisa**: *De que maneira essas diferentes perspectivas científicas sobre as causas e consequências do aquecimento global podem ser apresentadas de forma educativa e imparcial nas escolas?*

Para responder essa questão, a **hipótese** central deste trabalho é que, ao apresentar e comparar duas perspectivas distintas dentro da comunidade científica, uma que atribui o aquecimento global principalmente às atividades humanas e outra que defende a predominância de causas naturais, é possível promover um entendimento mais crítico e nuançado entre os estudantes.

Essa abordagem pode desmistificar a ideia de que a ciência é uma disciplina monolítica e absoluta, incentivando os alunos a reconhecerem a natureza multifacetada do conhecimento científico. De acordo com Chassot (2003), a educação científica deve proporcionar uma análise crítica das evidências e a compreensão de que a ciência é um processo dinâmico e em constante evolução.

No contexto do debate educacional, é essencial garantir que as diferentes perspectivas sobre o aquecimento global sejam fundamentadas em teorias científicas sólidas. Embora a ciência seja um campo sonoro e aberto a novas interpretações, é crucial diferenciar teorias científicas bem embasadas de concepções pseudocientíficas, que podem distorcer a compreensão pública sobre o tema. Popper (2007), por exemplo, argumenta que a ciência deve ser definida pela falsificabilidade de suas teorias, e que qualquer alegação sem rigor metodológico e sem validação empírica não pode ser considerada científica.

No entanto, conforme Feyerabend (1975), o processo científico é plural e flexível, permitindo a coexistência de múltiplos métodos e abordagens. Em vez de seguir rigidamente um único caminho, a ciência, segundo Feyerabend, deve se beneficiar da diversidade de perspectivas, o que é essencial para o avanço do conhecimento e para uma visão mais ampla e crítica sobre características complexas como o aquecimento global.

Nesse contexto, compreender a diversidade de abordagens científicas não significa aceitar qualquer afirmação como válida, mas sim desenvolver critérios sólidos para distinguir entre ciência e pseudociência.

A pluralidade metodológica defendida por Feyerabend não implica relativismo absoluto, mas sim um debate rigoroso sobre a validade das diferentes perspectivas. Dessa forma, ao educar os alunos sobre a diferença entre ciência e pseudociência, é possível fomentar uma compreensão mais precisa e crítica das características científicas e promover a habilidade de discernir entre conhecimento fundamentado e especulação infundada.

O procedimento metodológico utilizado no trabalho deve contribuir para a formação de uma consciência crítica entre os alunos do ensino médio sobre as diferentes perspectivas científicas do aquecimento global, promovendo um debate educativo e imparcial.

Para alcançar esse objetivo devemos identificar e analisar as duas principais perspectivas científicas sobre as causas e consequências do aquecimento global; desenvolver um material didático que apresente essas perspectivas de forma clara e imparcial; implementar uma proposta de debate em sala de aula, na qual os alunos serão divididos em grupos para defender cada uma das perspectivas; e avaliar o possível impacto dessa metodologia no desenvolvimento do pensamento crítico e na compreensão dos alunos sobre o tema.

O debate é uma metodologia pedagógica eficaz para explorar controvérsias sociocientíficas, pois incentiva os alunos a pesquisarem, argumentarem e avaliarem diferentes pontos de vista, desenvolvendo habilidades essenciais para a educação científica e cidadania crítica (BAIN, 2004)

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Referencial educacional

A fundamentação teórica é uma parte crucial de qualquer pesquisa acadêmica, pois estabelece a base conceitual e epistemológica que orienta todo o desenvolvimento do estudo (Gil, 2008). Ela não só justifica as escolhas metodológicas e as abordagens teóricas adotadas, mas também possibilita um diálogo crítico com a literatura existente, permitindo ao pesquisador situar seu trabalho dentro de um contexto mais amplo de conhecimento (Severino, 2007).

No campo da educação em ciências, a fundamentação teórica torna-se ainda mais relevante, considerando a natureza interdisciplinar e complexa dos temas abordados, como o aquecimento global. Isso exige uma abordagem capaz de integrar diferentes perspectivas e teorias (Gil, 2008).

No presente trabalho, que explora o aquecimento global através de um debate, a fundamentação teórica se apoia em três pilares principais: o referencial epistemológico fornecido pela filosofia da ciência de Paul Feyerabend, a metodologia de debate fundamentada na teoria da aprendizagem dialógica de Paulo Freire e a teoria sociointeracionista de Lev Vygotsky.

2.1.1 Paul Feyerabend - “Contra o método”

Paul Karl Feyerabend (1924-1994) foi um filósofo austríaco da ciência, conhecido por suas críticas às abordagens tradicionais da metodologia científica. Ele se destacou por desafiar a ideia de que a ciência segue um conjunto fixo de regras e métodos. Feyerabend estudou Física e filosofia, inicialmente sob a orientação de Karl Popper⁶, mas acabou desenvolvendo uma visão bastante distinta e até contrária à do seu mentor. Sua obra mais famosa, *Contra o Método* (1975), é uma defesa vigorosa do pluralismo epistemológico, que argumenta que a ciência prospera justamente pela diversidade de abordagens e pela ausência de um método único ou superior.

⁶ Karl Raimund Popper foi um filósofo liberal e professor austro-britânico.

Feyerabend propõe que a ciência deve ser vista como uma prática anárquica, no qual "a única regra que sobrevive é: tudo vale" (Feyerabend, 1975). Essa perspectiva é um convite para que cientistas e educadores desafiem os paradigmas estabelecidos e explorem uma variedade de métodos e teorias, o que, segundo ele, é essencial para o progresso do conhecimento. Sua filosofia não sugere que a ciência seja desorganizada ou arbitrária, mas sim que é o processo de constante questionamento e inovação metodológica que impulsiona o avanço científico.

A filosofia pluralista de Feyerabend é particularmente relevante para o ensino do aquecimento global, um tema que envolve múltiplas perspectivas e interpretações. O aquecimento global é amplamente aceito pela comunidade científica como uma consequência das atividades humanas, especialmente a emissão de gases de efeito estufa. No entanto, existem teorias alternativas que minimizam a influência humana ou apontam para ciclos naturais como fatores predominantes nas mudanças climáticas. Ao ensinar sobre o aquecimento global, limitar a discussão a uma única perspectiva poderia ser visto como uma forma de dogmatismo, contrariando a própria essência da ciência, que se fundamenta no debate e na investigação contínua.

Adotar a abordagem de Feyerabend no contexto educacional significa incorporar diversas teorias sobre o aquecimento global nas discussões em sala de aula. Isso não implica em equiparar todas as teorias, mas em proporcionar aos alunos uma visão crítica e ampla do tema. Expor os estudantes às diferentes posições e evidências permite que eles compreendam o processo científico como algo dinâmico e em constante evolução. Feyerabend argumenta que "não há nada como o método científico, mas sim uma colcha de retalhos de práticas heurísticas" (Feyerabend 1975), e essa ideia pode ser exposta ao ensino para encorajar os alunos a avaliar criticamente as informações e desenvolver suas próprias conclusões.

Um dos desafios dessa abordagem é garantir que os alunos não sejam levados a conclusões equivocadas sobre a validade científica das diferentes teorias. No entanto, ao adotar a filosofia de Feyerabend, o educador deve guiar os estudantes na análise das teorias apresentadas, ensinando-os a distinguir entre teorias amplamente apoiadas por evidências científicas e aquelas que são menos robustas. Isso envolve não apenas a transmissão de fatos científicos, mas também

a educação sobre a natureza do processo científico, como os consensos são formados e por que certas abordagens são mais aceitas do que outras.

Incorporar a filosofia de Feyerabend ao ensino do aquecimento global não visa confundir os alunos, mas sim prepará-los para serem pensadores críticos. Ao expor os estudantes a diferentes teorias e métodos, eles são incentivados a questionar, analisar e entender a ciência como um campo diverso e em constante desenvolvimento. Essa abordagem, baseada no pluralismo epistemológico⁷, não apenas enriquece a compreensão dos alunos sobre o aquecimento global, mas também os prepara para participar de maneira mais informada e crítica nos debates científicos e sociais contemporâneos.

2.1.2 Metodologia de Debate Fundamentada na Teoria da Aprendizagem Dialógica de Paulo Freire

Paulo Freire é amplamente reconhecido como um dos maiores educadores do século XX, cujas ideias revolucionaram a pedagogia, especialmente em contextos de educação popular e crítica. Em sua obra "Pedagogia do Oprimido" (1970), Freire introduz a ideia de uma "educação problematizadora"⁸, que contrasta com a educação "bancária" tradicional⁹. Na visão de Freire, a educação não deve ser um ato de deposição de conhecimentos, no qual o professor deposita informações nos alunos passivos, mas sim um processo dialógico, no qual o conhecimento é construído coletivamente através da interação e do diálogo (Freire 2000).

A metodologia de debate, quando fundamentada na teoria da aprendizagem dialógica de Paulo Freire, transforma a sala de aula em um espaço de co-construção do conhecimento. Em vez de serem meros receptores de informações, os alunos se tornam participantes ativos na exploração e questionamento dos temas discutidos. Isso é particularmente relevante no ensino de temas complexos e controversos, como o aquecimento global, sobre o qual existem

⁷ Pluralismo epistemológico é um conceito filosófico que se refere a diferentes formas de conhecer e compreender o mundo

⁸ A educação problematizadora é uma metodologia de ensino que estimula o aluno a participar ativamente do processo de aprendizagem, questionando a realidade e buscando soluções criativas

⁹ A educação bancária é um modelo de ensino que consiste na transmissão de conhecimento de forma unilateral, sem diálogo, e que privilegia a memorização

múltiplas perspectivas e interpretações. A aprendizagem dialógica permite que essas diferentes vozes sejam ouvidas e analisadas criticamente.

Freire defende que o diálogo é uma prática libertadora, pois é através dele que os alunos podem desenvolver um pensamento crítico e se emancipar das imposições ideológicas. Ele afirma que “ninguém educa ninguém, ninguém educa a si mesmo, os homens se educam entre si, mediatizados pelo mundo” (Freire, 2000). Isso significa que o conhecimento emerge da interação entre sujeitos que compartilham e confrontam suas experiências e visões de mundo. No contexto de um debate sobre o aquecimento global, essa abordagem incentiva os alunos a questionar as narrativas dominantes, considerar as evidências disponíveis e formar suas próprias opiniões informadas.

A aprendizagem dialógica na metodologia de debate envolve várias etapas. Primeiro, o tema do aquecimento global é apresentado de maneira que desafie os alunos a pensar criticamente, trazendo à tona as diferentes teorias e evidências que cercam a questão. Em seguida, os alunos são incentivados a expressar suas opiniões, questionar as dos colegas e argumentar com base em evidências científicas e sociais. O professor, por sua vez, atua como um facilitador do diálogo, guiando a discussão, fornecendo contexto e ajudando os alunos a conectar suas reflexões com conceitos mais amplos.

Essa abordagem não apenas promove a compreensão do conteúdo, mas também desenvolve habilidades críticas e reflexivas nos alunos. O debate dialógico permite que eles vejam o aquecimento global não como uma verdade estática, mas como um fenômeno complexo, sujeito a diferentes interpretações e influenciado por fatores políticos, econômicos e culturais. Assim, a metodologia freiriana de debate contribui para a formação de cidadãos críticos.

Além disso, ao engajar os alunos em debates, a metodologia dialógica de Freire fomenta a autonomia e a responsabilidade intelectual. Os alunos são encorajados a se posicionar, a defender suas ideias e a ouvir as perspectivas dos outros, criando um ambiente de respeito mútuo e colaboração. Isso é essencial para o desenvolvimento de uma educação emancipadora, no qual o objetivo final é formar indivíduos conscientes e críticos, preparados para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo.

Em suma, a metodologia de debate fundamentada na teoria da aprendizagem dialógica de Paulo Freire é uma ferramenta poderosa para o ensino

do aquecimento global. Ela não apenas facilita a compreensão do conteúdo, mas também promove o desenvolvimento de uma consciência crítica e uma postura ativa frente às questões complexas da atualidade.

2.1.3 A Metodologia de Debate e a Teoria Sociointeracionista de Lev Vygotsky

Lev Vygotsky (1896-1934) foi um psicólogo e educador russo cujas teorias tiveram um impacto profundo no campo da educação, especialmente no entendimento do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem.

Vygotsky acreditava que o conhecimento é construído socialmente, enfatizando a interação entre o indivíduo e o ambiente como fundamentais para o aprendizado. Sua abordagem teórica, conhecida como teoria sócio interacionista, defende que o desenvolvimento cognitivo dos indivíduos é fortemente influenciado pelas interações sociais e culturais que eles vivenciam.

Vygotsky argumentou que a linguagem desempenha um papel central nesse processo, pois é por meio dela que os indivíduos internalizam e reorganizam o conhecimento coletivo da sociedade. Sua obra mais importante, *A Formação Social da Mente* (1930), sugere que o aprendizado não é apenas uma atividade individual, mas sim uma experiência social que ocorre em contextos de interação.

A metodologia de debate, quando associada à teoria sociointeracionista de Lev Vygotsky, cria um ambiente de aprendizagem dinâmico no qual o conhecimento é construído coletivamente, através da interação social. Em sua obra, Vygotsky argumenta que o aprendizado ocorre primeiramente em um nível social, entre indivíduos, e só depois é internalizado pelo indivíduo, tornando-se parte de sua cognição.

No contexto de um debate sobre o aquecimento global, essa perspectiva é particularmente relevante. O debate, como metodologia, proporciona um espaço no qual os alunos podem compartilhar e confrontar suas ideias, permitindo que o aprendizado aconteça de forma colaborativa. Vygotsky enfatiza o papel do "outro" na formação do pensamento, sugerindo que as interações sociais são fundamentais para o desenvolvimento das funções cognitivas superiores. Assim, quando os alunos participam de debates, eles não apenas adquirem conhecimento sobre o aquecimento global, mas também desenvolvem habilidades críticas ao confrontar diferentes pontos de vista e construir um entendimento mais profundo do tema.

A teoria de Vygotsky também introduz o conceito de "zona de desenvolvimento proximal" (ZDP), que se refere à distância entre o que um aluno pode fazer sozinho e o que ele pode alcançar com a ajuda de outros, seja de colegas ou de um professor. Durante os debates, os alunos são frequentemente desafiados a pensar além de sua zona de conforto, expondo-se a novas ideias e conceitos que podem inicialmente estar fora de seu alcance. No entanto, com o suporte adequado, eles são capazes de internalizar esses novos conhecimentos e expandir sua compreensão do mundo.

Além disso, o debate estimula o uso da linguagem como uma ferramenta de mediação, um aspecto central na teoria de Vygotsky. Ele argumenta que a linguagem é o principal meio pelo qual o pensamento se desenvolve e se complexifica. No contexto de um debate sobre o aquecimento global, os alunos utilizam a linguagem para articular suas ideias, negociar significados e construir argumentos, o que, por sua vez, contribui para o desenvolvimento de suas capacidades cognitivas.

A combinação da metodologia de debate com a teoria sociointeracionista de Vygotsky promove uma aprendizagem ativa e colaborativa, no qual os alunos não apenas absorvem informações, mas também as processam, questionam e reconstróem coletivamente. Isso é crucial para o ensino de temas complexos e controversos, como o aquecimento global, no qual é necessário que os alunos desenvolvam um entendimento crítico e multidimensional do assunto.

Ao integrar as ideias de Paulo Freire e Lev Vygotsky, o debate em sala de aula se torna uma prática pedagógica poderosa. Juntas, essas abordagens criam um ambiente de aprendizagem que é ao mesmo tempo crítico, reflexivo e colaborativo, preparando os alunos para participar de discussões informadas e responsáveis sobre questões científicas e sociais complexas.

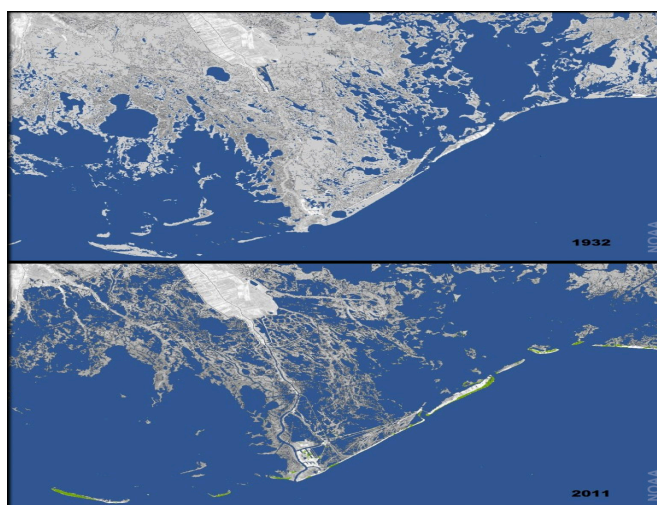
Em resumo, a metodologia de debate, fundamentada na teoria da aprendizagem dialógica de Paulo Freire e na teoria sociointeracionista de Lev Vygotsky, oferece uma abordagem educativa rica e eficaz para o ensino do aquecimento global. Essa integração permite que os alunos se engajem ativamente no processo de aprendizagem, e compreendam o aquecimento global como um fenômeno multifacetado e sujeito a diversas interpretações.

2.2 Aquecimento global

Ao longo da história, populações inteiras foram forçadas a migrar devido a fatores ambientais, mas foi no final do século XX que o termo “refugiado climático”¹⁰ começou a ganhar notoriedade. Um dos primeiros casos amplamente documentados ocorreu nas Ilhas Carteret, um pequeno arquipélago no Oceano Pacífico pertencente à Papua-Nova Guiné. Desde a década de 1980, os habitantes dessas ilhas enfrentam o aumento do nível do mar, que provoca erosão e contaminação das fontes de água doce. Sem alternativas viáveis para sua sobrevivência, muitas famílias foram realocadas para áreas mais seguras no continente, tornando-se, assim, os primeiros refugiados climáticos reconhecidos globalmente.

Isso é algo que não se restringe a pequenas ilhas. Regiões áridas da África e da Ásia já enfrentam ondas de migração forçadas devido à desertificação e escassez hídrica, enquanto grandes cidades litorâneas, como Jacarta e Miami, implementam medidas para lidar com a elevação do nível do mar (figura 1). O deslocamento de habitat devido a mudanças ambientais intensificadas pelo aquecimento global evidencia que esse não é um problema distante nem localizado, mas sim uma realidade presente que afeta milhões de pessoas e exige respostas urgentes.

Figura 1 - Perda de terra firme pelo avanço das águas na costa da Louisiana entre 1932 e 2011.



¹⁰ Refugiados climáticos são pessoas que são obrigadas a deixar suas casas devido a eventos climáticos extremos, como secas, inundações, incêndios florestais e aumento do nível do mar.

Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA (2013)

O aumento da temperatura global tem sido amplamente documentado por organizações científicas ao redor do mundo. Segundo o relatório mais recente do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a temperatura média global já subiu cerca de 1,1°C em comparação com os níveis pré-industriais

As projeções para o futuro indicam que esse aquecimento deve se intensificar caso não sejam adotadas medidas eficazes de mitigação. O IPCC alerta que, caso as emissões de gases de efeito estufa continuem no ritmo atual, a temperatura global pode ultrapassar o limite crítico de 1,5°C nas próximas décadas, resultando em eventos climáticos extremos mais frequentes e intensos (IPCC, 2023).

Os modelos climáticos apontam que, sem reduções grandes nas emissões, a temperatura média global pode atingir entre 2,5°C e 4,5°C acima dos níveis pré-industriais até 2100, o que teria impactos severos na biodiversidade, na segurança alimentar e na vida humana em diversas regiões do planeta (WMO, 2023).

Diante da crescente preocupação com os impactos ambientais em escala global, surge a necessidade de novos paradigmas científicos para abordar problemas como o aquecimento global. Segundo Barbieri (1997), o ambientalismo ¹¹ganhou força à medida que os desastres ecológicos, como os ocorridos na Baía de Minamata, em Bhopal e em Chernobyl, evidenciaram que os problemas ambientais não se restringem às fronteiras locais ou nacionais, mas afetam todo o planeta.

Com efeito, a poluição transnacional, a chuva ácida, a manipulação da camada de ozônio e o efeito estufa mostraram que as soluções precisam ser pensadas em nível global. Como afirmam Alvarenga, Sommerman e Alvarez (2005), as abordagens científicas tradicionais muitas vezes não oferecem respostas viáveis para especificidades de alta complexidade, exigindo, assim, novas formas de pensar e agir.

Morin (2010) sugere que, em vez da simplificação e fragmentação do conhecimento, deve-se adotar o princípio da complexidade, que busca integrar diferentes saberes e perspectivas para compreender melhor os desafios ambientais contemporâneos.

¹¹ O ambientalismo é um movimento social e político que visa a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável

Essa abordagem interdisciplinar, como defendida por Leff (2001), propõe uma nova organização do conhecimento, baseada na cooperação entre diferentes áreas e na busca por soluções sustentáveis. Isso justifica esse tema estar sendo debatido em aulas de Física, pois, além do estudante ter conhecimento sobre como funciona a ciência, ele também vai ter contato com temas complexos que estão incluídos nela.

A Física, com seu foco em entender as características naturais e fornecer uma compreensão quantificável dos mesmos, permite que os estudantes se aprofundem em aspectos essenciais das questões ambientais, como o aquecimento global e as interações térmicas da atmosfera.

Dessa forma, o aquecimento global deve ser entendido como um problema compartilhado por toda a humanidade, exigindo cooperação internacional, políticas públicas específicas e uma mudança de mentalidade em relação ao uso dos recursos naturais. Compreender a complexidade dessas características e suas múltiplas dimensões é essencial para que possamos encontrar caminhos mais sustentáveis para o futuro do planeta.

2.2.1 Contribuições da Física para o estudo do Aquecimento Global

A compreensão do aquecimento global está profundamente enraizada nas descobertas e avanços da Física ao longo da história. Desde os primeiros estudos sobre a radiação solar até os mais recentes modelos climáticos, a Física tem sido uma ferramenta essencial para desvendar as características específicas que governam o clima da Terra. O desenvolvimento das teorias sobre a composição da atmosfera e a dinâmica dos gases foi fundamental para entender como a Terra retém calor, e como essas interações são modificadas ao longo do tempo.

Nos séculos XIX e XX, cientistas como John Tyndall, Svante Arrhenius e, mais tarde, Guy Stewart Callendar, desempenharam papéis cruciais na exploração do papel dos gases na atmosfera terrestre. Tyndall, por exemplo, foi pioneiro ao identificar que certos gases, como o dióxido de carbono e o vapor d'água, são responsáveis por absorver e reter a radiação térmica da Terra, específicos que viriam a ser chamados de "efeito térmico". Já Arrhenius, no final do século XIX, desenvolveu modelos matemáticos para quantificar como variações na concentração de CO₂ poderiam influenciar a temperatura global. A partir dessas

bases, as ferramentas Físicas foram feitas para entender não apenas o comportamento dos gases atmosféricos, mas também como essas interações afetam o sistema climático de maneira mais ampla.

Durante o século XX, o campo da Física atmosférica e da previsão climática se expandiu, especialmente com o avanço dos computadores e da matemática utilizada à previsão climática. Modelos climáticos numéricos, baseados em leis fundamentais da termodinâmica e da dinâmica dos fluidos, passaram a ser usados para entender as trocas de energia entre a superfície terrestre, a atmosfera e os oceanos. Essas ferramentas permitiram aos cientistas simular os efeitos de diferentes variações, como a variação na concentração de gases de efeito estufa, as mudanças nos padrões de radiação solar e a dinâmica do ciclo de carbono, fornecendo uma visão mais detalhada e precisa dos possíveis cenários climáticos.

No entanto, a contribuição da Física não se limita apenas ao entendimento do interesse em si, mas também ao aprimoramento dos modelos de previsão e mitigação de seus impactos. Com o tempo, o campo da Física climática tem sido crucial para a evolução das metodologias utilizadas para prever como as variações climáticas podem afetar ecossistemas, sociedades e recursos naturais. A Física, portanto, não apenas nos ajuda a entender o passado e o presente do aquecimento global, mas também a projetar projetos futuros, o que é fundamental para a formulação de políticas e estratégias de adaptação a um clima em mudança.

Esses processos são interdependentes e ocorrem em várias escalas, desde interações atômicas até fenômenos globais. Nessa fundamentação, abordaremos de forma detalhada como a Física explica o aquecimento global, explorando conceitos como o efeito estufa, a termodinâmica do ciclo do carbono, a dinâmica de fluidos na atmosfera e nos oceanos, a Física atmosférica e a importância da modelagem climática.

2.2.2 Efeito estufa

O efeito estufa é o processo natural pelo qual certos gases na atmosfera terrestre retêm calor, impedindo que ele escape para o espaço, o que resulta em um aumento da temperatura da superfície do planeta. Para entender esse processo, é essencial analisar as propriedades da radiação e como ela interage com os gases atmosféricos.

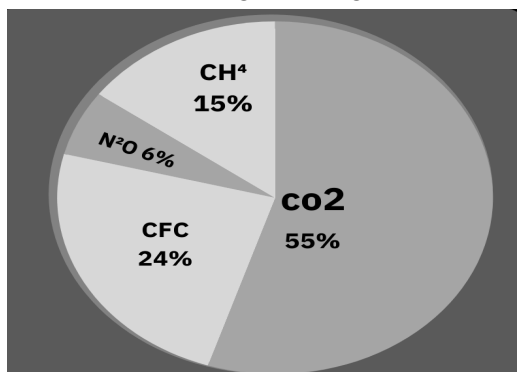
A radiação solar que chega à superfície da Terra é composta principalmente de luz visível, radiação ultravioleta (UV) e infravermelha (IV).

Os principais constituintes da atmosfera da Terra, nitrogénio (N_2) (78%), oxigénio (O_2) (21%), e argônio (Ar) (0,9%), não são gases de efeito de estufa porque moléculas que contêm dois átomos do mesmo elemento, como N_2 e O_2 não têm mudança líquida na distribuição das suas cargas elétricas quando vibram, e gases monoatômicos¹² como Ar não têm modos vibracionais.

Portanto, eles são quase totalmente imunes à radiação infravermelha. Algumas moléculas que contêm apenas dois átomos de elementos diferentes, como monóxido de carbono (CO) e cloreto de hidrogénio (HCl), absorvem radiação infravermelha, mas estas moléculas têm vida curta na atmosfera devido à sua reatividade e solubilidade. Portanto, eles não contribuem significativamente para o efeito de estufa e muitas vezes são omitidos quando se discute os gases de efeito de estufa

Sendo assim, a maior parte da radiação UV (Ultravioleta) é absorvida pela camada de ozônio e pela atmosfera superior, não chegando à superfície em grande quantidade. A radiação visível atravessa a atmosfera e é absorvida pela superfície terrestre que, em seguida, reemite essa energia na forma de radiação infravermelha (de longa onda). Os gases de efeito estufa (Figura 1), como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e vapor d'água (H_2O), possuem faixas de absorção específicas que coincidem com as frequências dessa radiação infravermelha, contribuindo para o efeito estufa.

Figura 2 - Influência de cada gás no agravamento do efeito estufa



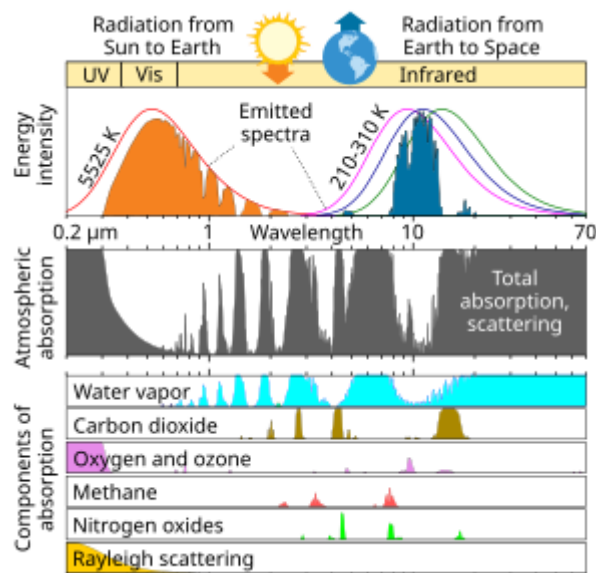
Fonte: Autoria própria (2025)

¹² Monoatômico é um termo que se refere a uma molécula ou íon que é composto por apenas um átomo

As moléculas desses gases vibram e rodam em resposta à absorção da radiação infravermelha, reemitindo energia em todas as direções, incluindo de volta para a superfície terrestre. Esse processo é descrito pela teoria quântica de energia, no qual a absorção e a emissão de radiação são quantizadas, significando que os gases estufa apenas absorvem e emitem radiação em frequências específicas, correspondentes às suas transições energéticas (Chandrasekhar, 1960).

A ressonância de Fermi¹³ entra em cena quando a radiação infravermelha interage com as moléculas desses gases, especificamente nas frequências em que ocorre uma transição energética permitida (Figura 3). Essas observações de ressonância amplificam a absorção de radiação em determinados comprimentos de onda, intensificando o processo de retenção de calor na atmosfera, o que contribui para o efeito estufa.

Figura 3 - Absorção atmosférica e dispersão em diferentes comprimentos de onda de ondas eletromagnéticas. A maior banda de absorção de dióxido de carbono não está longe do máximo na emissão térmica do solo, e fecha parcialmente a janela de transparência da água; daí o seu principal efeito.



Fonte: Robert A. Rohde (2021)

Assim, a ressonância de Fermi desempenha um papel crucial para explicar como certos gases na atmosfera são particularmente eficazes em absorver e

¹³ A ressonância de Fermi é um fenômeno que altera as energias e intensidades das bandas de absorção em espectros infravermelhos (Herzberg, G, 1945)

reemitir a radiação, afetando o equilíbrio térmico da Terra. O aumento das concentrações desses gases, principalmente devido às atividades humanas como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, intensificam o efeito estufa.

Isso ocorre porque mais radiação infravermelha é retida na atmosfera, aumentando a energia térmica e, conseqüentemente, a temperatura global média. Este fenômeno é amplamente documentado em estudos climáticos e é considerado o principal motor do aquecimento global.

2.2.3 Termodinâmica e Ciclo de Carbono

O carbono (símbolo químico: C) é o quarto elemento mais abundante no Universo, depois do hidrogênio (H), hélio (He) e oxigênio (O), e é o pilar da vida como a conhecemos

A termodinâmica é fundamental para a compreensão do ciclo do carbono que envolve a troca de carbono entre a atmosfera, os oceanos, a biosfera e a litosfera, existem basicamente duas formas de carbono, uma orgânica, presente nos organismos vivos e mortos, não decompostos, e outra inorgânica, presente nas rochas.

A segunda lei da termodinâmica, que afirma que a entropia (desordem) de um sistema fechado tende a aumentar, pode ser utilizada para entender como o excesso de carbono na atmosfera altera o equilíbrio energético¹⁴ da Terra.

A primeira lei da termodinâmica, ou Princípio da Conservação da Energia, afirma que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada. No contexto do ciclo do carbono, a energia solar é capturada pelas plantas através da fotossíntese, convertendo dióxido de carbono e água em glicose e oxigênio. Quando organismos consomem essas plantas, ou quando combustíveis fósseis são queimados, a energia armazenada é liberada, e o carbono é devolvido à atmosfera na forma de CO₂.

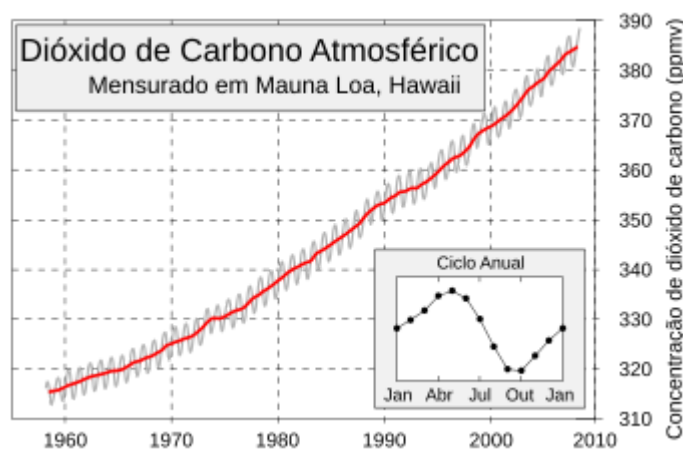
O desequilíbrio energético causado pelo aumento das concentrações de CO₂ (figura 4) implica que mais energia é retida na Terra, aumentando a temperatura global.

Esse aquecimento adicional afeta outros processos do ciclo do carbono, como a absorção de CO₂ pelos oceanos, Temperaturas baixas da superfície do oceano potencializam uma maior absorção do CO₂ atmosférico, enquanto temperaturas mais altas

¹⁴ Equilíbrio energético é o estado em que a quantidade de energia consumida é igual à quantidade de energia gerada.

podem causar a emissão de CO₂. que se torna menos eficiente à medida que as águas se aquecem, exacerbando ainda mais o efeito estufa.

Figura 4 - Curva de Keeling, concentração de CO₂



Fonte: Mauna Loa, 2008

Os sistemas climáticos também apresentam feedbacks climáticos¹⁵, que estão diretamente relacionados ao ciclo do carbono e à dinâmica do aquecimento global, pois podem amplificar ou mitigar os efeitos das mudanças climáticas causadas pelo aumento das concentrações de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera.

Eles podem ser positivos ou negativos. Um feedback positivo amplifica as mudanças iniciais; por exemplo, o derretimento do gelo polar reduz o albedo da Terra (sua capacidade de refletir a radiação solar), levando a uma maior absorção de calor e a mais derretimento. Por outro lado, um feedback negativo, como o aumento da cobertura de nuvens em resposta ao aquecimento, pode refletir mais radiação solar de volta ao espaço, mitigando parcialmente o aquecimento (HANSEN *et al.*, 2005).

2.2.4. Dinâmica de Fluidos e Modelagem Climática

A dinâmica de fluidos é a ciência que descreve o movimento dos líquidos e gases, sendo essencial para entender a circulação atmosférica e oceânica, que são

¹⁵ Feedback climático é uma resposta a um processo climático que intensifica ou reduz os efeitos iniciais de uma força climática.

os principais motores do clima global. A circulação atmosférica é impulsionada pelas diferenças de temperatura entre o equador e os polos. O ar quente, menos denso, sobe no equador e se move em direção aos pólos, enquanto o ar frio dos polos desce e se move em direção ao equador. Este movimento cria os ventos alísios, os jatos subtropicais e outras correntes de ar que influenciam o clima regional e global (Lindzen, 1990).

Modelos climáticos usam equações para prever como essas correntes podem mudar em resposta ao aquecimento global. Por exemplo, o enfraquecimento dos jatos polares¹⁶ Devido à menor diferença de temperatura entre o equador e os pólos pode levar a um aumento da frequência de eventos climáticos extremos, como ondas de calor e tempestades intensas (Meehl *et al.*, 2007).

A circulação termohalina, também conhecida como "cinta transportadora oceânica", é o movimento global das massas de água impulsionado pela temperatura (termo) e salinidade (halina). A água fria e densa nos polos afunda e se move em direção ao equador, enquanto a água quente e menos densa sobe, criando um ciclo que ajuda a regular o clima global.

O aquecimento global pode interromper essa circulação, especialmente com o derretimento das calotas polares, que adiciona grandes quantidades de água doce aos oceanos, diminuindo a salinidade e, portanto, a densidade da água. Essa interrupção pode ter consequências graves, como a alteração dos padrões climáticos e o impacto nos ecossistemas marinhos (Stouffer *et al.*, 2006).

2.2.5 Modelos climáticos numéricos, baseados em leis fundamentais da termodinâmica e da dinâmica dos fluidos.

Os modelos climáticos numéricos, também chamados de modelos de sistemas climáticos, são representações matemáticas que simulam as interações entre os principais componentes do sistema climático da Terra, como a atmosfera, os oceanos, a superfície terrestre e a criosfera¹⁷. Esses modelos são amplamente utilizados para estudar a dinâmica do clima e realizar projeções sobre mudanças climáticas futuras (IPCC, 2013). Além dos modelos numéricos, também existem

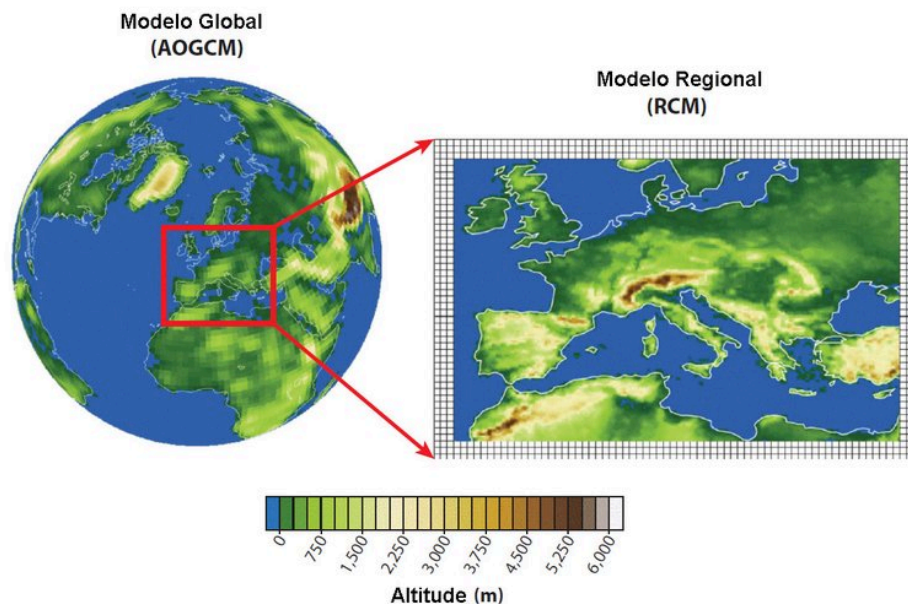
¹⁶ A corrente de jato polar é um rio de vento que circula o hemisfério norte, fluindo do oeste para o leste

¹⁷ A criosfera é o conjunto de todos os elementos do planeta Terra que estão congelados, como gelo, neve e solo congelado

modelos qualitativos, que consistem em narrativas pacíficas sobre possíveis cenários climáticos futuros, auxiliando na análise de impactos ambientais e socioeconômicos das mudanças climáticas (Jacob, *et al*, 2011).

Os modelos climáticos (Figura 5) consideram o balanço de energia do planeta, analisando a radiação recebida do Sol e a energia térmica emitida pela Terra. A radiação solar é predominantemente incidente em ondas curtas, abrangendo espectros visíveis e infravermelhos próximos, enquanto a energia irradiada pela Terra consiste principalmente em radiação infravermelha de ondas longas.

Figura 5 - Modelos climáticos



Fonte: Giorgi and Gutowski (2015)

Alterações neste equilíbrio energético influenciam diretamente a temperatura global, sendo um dos fatores determinantes do efeito estufa (Ramanathan & Feng, 2009).

A complexidade dos modelos climáticos varia conforme o grau de detalhamento das interações envolvidas. Modelos simples, como os de transferência de calor radiante, tratam a Terra como um sistema único, calculando a média da energia absorvida e emitida. Modelos mais avançados, como os modelos radiativos-convectivos, incluem uma estrutura vertical detalhada, enquanto os modelos climáticos globais acoplados (GCMs – *Global Climate Models*) incorporam a interação entre a atmosfera, os oceanos e o gelo marinho, resolvendo equações

diferenciais para descrever a transferência de massa, energia e radiação (Manabe & Wetherald, 1967).

Além disso, os modelos climáticos podem ser combinados com outros sistemas para ampliar sua visão. Os chamados modelos do sistema terrestre integram variações relacionadas ao uso da terra e suas alterações, permitindo estudar as interações entre o clima e os ecossistemas. Essa abordagem é essencial para avaliar os impactos das atividades humanas na dinâmica climática e prever mudanças no longo prazo (Forster *et al.*, 2007).

Desta forma, os modelos climáticos desempenham um papel fundamental na compreensão das tendências climáticas e na formulação de estratégias para mitigar e adaptar-se às mudanças climáticas. Com o avanço das técnicas de modelagem e o aumento da disponibilidade de dados observacionais, esses modelos vêm se tornando cada vez mais precisos e abrangentes, permitindo projeções mais confiáveis sobre o futuro do clima global (IPCC, 2013).

2.2.6 Física Atmosférica e Mudanças Climáticas

A Física atmosférica envolve o estudo da composição, estrutura e dinâmica da atmosfera da Terra. Ela se preocupa com fenômenos como a absorção e emissão de radiação, a transferência de calor, a formação de nuvens e a precipitação.

As nuvens desempenham um papel duplo no clima: elas refletem a radiação solar de volta ao espaço (albedo elevado) e retêm o calor na Terra (efeito estufa). A formação de nuvens é influenciada por fatores como a temperatura do ar, a umidade e a presença de partículas em suspensão (aerossóis).

O aquecimento global altera o ciclo hidrológico, aumentando a evaporação e a capacidade da atmosfera de reter vapor d'água, o que pode levar a uma maior formação de nuvens e precipitação. No entanto, o tipo de nuvem formada pode influenciar se o efeito resultante será de aquecimento ou resfriamento global.

Nuvens altas e finas tendem a aquecer a Terra, enquanto nuvens baixas e espessas tendem a resfriá-la (Randall *et al.*, 2007).

O albedo da Terra, ou sua capacidade de refletir a radiação solar, é um fator crucial na regulação da temperatura global. Superfícies com alto albedo, como gelo

e neve, refletem a maior parte da radiação solar, enquanto superfícies escuras, como florestas e oceanos, absorvem mais calor.

O derretimento do gelo polar reduz o albedo global, resultando em mais absorção de calor e, portanto, mais aquecimento — um exemplo de feedback positivo. Este efeito é particularmente preocupante no Ártico, no qual o aquecimento é mais pronunciado, levando ao que é conhecido como "amplificação ártica"¹⁸ (Screen e Simmonds, 2010).

2.2.7 Impactos Ambientais e Ecológicos

O aquecimento global tem uma série de impactos ambientais e ecológicos significativos. O gelo da Groenlândia e da Antártida contém grandes quantidades de água doce, e seu derretimento resulta em um fluxo contínuo de água para os oceanos, elevando o nível do mar e ameaçando comunidades costeiras ao redor do mundo.

Além disso, o derretimento do gelo também reduz o albedo da Terra, amplificando o aquecimento global em um ciclo de feedback positivo. As áreas de gelo, ao refletirem uma grande parte da radiação solar, têm um efeito de resfriamento, mas a sua redução diminui essa capacidade, contribuindo para um aumento adicional da temperatura global.

A absorção de CO₂ pelos oceanos não só contribui para o aquecimento global, mas também resulta na acidificação dos oceanos. O CO₂ se dissolve na água do mar formando ácido carbônico, que reduz o pH dos oceanos. A acidificação pode afetar negativamente organismos marinhos que dependem de carbonato de cálcio para formar suas conchas e esqueletos, como corais e moluscos, prejudicando a biodiversidade e os ecossistemas marinhos (Doney *et al.*, 2009).

O aquecimento global também tem implicações sérias para a saúde humana e as economias globais. O aumento das temperaturas pode exacerbar problemas de saúde relacionados ao calor, como insolação e doenças cardiovasculares. Além disso, mudanças no clima podem alterar a distribuição de vetores de doenças, como mosquitos que transmitem malária e dengue, aumentando o risco de surtos em novas regiões.

¹⁸ A amplificação ártica é o fenômeno de aquecimento mais rápido das regiões polares e árticas em relação às regiões equatoriais

As mudanças climáticas afetam a agricultura de várias maneiras, incluindo alterações na disponibilidade de água, padrões de precipitação e temperatura. A produtividade das culturas pode ser reduzida, afetando a segurança alimentar global. Os agricultores podem enfrentar desafios significativos, como a necessidade de adaptar práticas agrícolas e cultivar variedades resistentes ao calor e à seca.

Economicamente, o aquecimento global pode levar a custos significativos relacionados à adaptação e mitigação, bem como a perdas econômicas causadas por desastres naturais e danos à infraestrutura. Socialmente, as comunidades mais vulneráveis, muitas vezes em países em desenvolvimento, são desproporcionalmente afetadas pelos impactos do aquecimento global, exacerbando desigualdades existentes e desafiando esforços de desenvolvimento sustentável.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O aquecimento global é um tema estudado e debatido na literatura científica, sendo uma das principais preocupações ambientais da atualidade. Esta revisão bibliográfica examina as evidências, controvérsias e implicações do aquecimento global, com o objetivo de apresentar uma análise abrangente do tema. Diferentemente de trabalhos anteriores, meu estudo utiliza a epistemologia de Paul Feyerabend, Freire e Vygotsky (detalhado na fundamentação) para enriquecer a abordagem metodológica e teórica, proporcionando uma nova perspectiva sobre o ensino e a compreensão das ciências naturais com o objetivo de informar sobre o estado atual do conhecimento científico a respeito do aquecimento global e suas múltiplas dimensões.

A pesquisa bibliográfica foi construída através de um conjunto de artigos acadêmicos da última década, com o objetivo de identificar e utilizar trabalhos científicos existentes que abordam os temas discutidos no decorrer desta pesquisa. As palavras-chave específicas que orientaram esta revisão incluíram: estudos que se aprofundam nas conversas em torno do aquecimento global, controvérsias associadas ao aquecimento global, bem como as diferentes teorias, como a teoria antropogênica e natural.

Os periódicos que foram analisados possuem conceitos A e B no Qualis/CAPES na área de ensino. Diante da busca por periódicos que se aprofundem nas temáticas específicas do ensino de Física do ponto de vista científico, foi pré-estabelecido uma seleção que inclui: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Investigação em Ensino de Ciências Físicas (IENCI), Experiências em Ensino de Ciências (EENCI), Ciências & Educação (C&E), Física na Escola (FnE) e Ensaio de Pesquisa em Educação em Ciências (EPEC).

Entre esses periódicos encontrei 15 artigos que abordavam os temas. Desses, cinco foram selecionados para acorrer com esta revisão, além do mais foram pesquisados dados dos sites do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), da NOAA (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica) e da NASA (*earth observatory*).

A controvérsia sobre o aquecimento global é um tema recorrente em diversos estudos. O artigo "Controvérsias sobre o aquecimento global: circulação de vozes e

de sentidos produzidos em sala de aula" analisa como diferentes narrativas sobre o aquecimento global são discutidas em sala de aula, influenciando a percepção dos estudantes. Este estudo destaca a importância de apresentar múltiplas perspectivas sobre o tema, permitindo que os alunos desenvolvam uma visão crítica e informada utilizando a teoria de Bakhtin. As controvérsias abordadas incluem debates sobre as causas antropogênicas e naturais do aquecimento global, bem como as implicações políticas e sociais dessas discussões.

A abordagem bakhtiniana enfoca a dialogicidade e a multiplicidade de vozes, promovendo uma compreensão mais profunda e crítica das questões complexas associadas ao aquecimento global. Este artigo sugere que o ensino de ciências deve ir além da transmissão de conhecimentos científicos, incentivando os alunos a refletirem sobre as implicações éticas e sociais do aquecimento global. Assim, a teoria de Bakhtin destaca a importância do diálogo e da interação entre diferentes perspectivas, permitindo que os alunos compreendam as diversas dimensões do aquecimento global e desenvolvam uma postura crítica e ética frente às controvérsias científicas (Bakhtin, 1981).

Da mesma forma, o artigo "Controvérsias sobre o aquecimento global e ato responsável: uma categoria bakhtiniana para ajudar a pensar questões sociocientíficas em aulas de ciências" (Oliveira, 2018) utiliza a teoria bakhtiniana para explorar como questões sociocientíficas, como o aquecimento global, são discutidas em aulas de ciências. Este artigo sugere que o ensino de ciências deve ir além da transmissão de conhecimentos científicos, incentivando os alunos a refletirem sobre as implicações éticas e sociais do aquecimento global.

Ambos os artigos discutem a importância de abordar o aquecimento global de maneira crítica e reflexiva, destacando a necessidade de múltiplas perspectivas. No entanto, as abordagens teóricas utilizadas para explorar as controvérsias e as implicações das questões divergem em suas abordagens.

O artigo "Controvérsias sobre o aquecimento global: circulação de vozes e de sentidos produzidos em sala de aula" (Gehlen *et al.*, 2019) utiliza a teoria bakhtiniana para explorar como diferentes narrativas sobre o aquecimento global são apresentadas nas salas de aula, permitindo que os alunos construam uma visão crítica e informada do tema. A teoria de Bakhtin (1981) é fundamental nesse estudo, pois enfatiza a dialogicidade e a multiplicidade de vozes, promovendo uma compreensão mais profunda das questões complexas, como as causas

antropogênicas e naturais do aquecimento global e suas implicações políticas e sociais.

O artigo sugere que o ensino de ciências não deve apenas transmitir conhecimentos científicos, mas também estimular a reflexão sobre as dimensões éticas e sociais envolvidas.

Enquanto o estudo de Gehlen *et al.* (2019) enfoca a circulação de vozes e a interação entre diferentes perspectivas nas discussões sobre o tema, o artigo de Oliveira (2018) expande essa discussão ao incluir uma categoria adicional, a do ato responsável, para guiar os alunos na reflexão sobre as implicações sociais de suas escolhas, relacionadas ao aquecimento global.

Portanto, embora ambos os estudos utilizem a teoria de Bakhtin para promover uma abordagem mais crítica e reflexiva do aquecimento global no ensino de ciências, as diferenças estão na ênfase dada às dinâmicas de interação (Gehlen *et al.*, 2019) e na introdução do conceito de "ato responsável" como ferramenta para ajudar os alunos a assumir uma postura mais ativa e ética nas questões sociocientíficas (Oliveira, 2018).

Em relação ao ensino e à percepção sobre o aquecimento global, o artigo "Aquecimento global: uma abordagem para o ensino de Física" (Pereira *et al.*, 2016) discute estratégias para ensinar o aquecimento global no contexto das aulas de Física, enfatizando a importância de abordar a temática de forma integrada com os conceitos de Física. A abordagem proposta inclui experimentos práticos e discussões teóricas que ajudam os alunos a entenderem melhor os fenômenos físicos que contribuem para o aquecimento global.

Por outro lado, o estudo "Análise da percepção de estudantes sobre o aquecimento global em uma escola pública" (Silva & Almeida, 2017) investiga a percepção dos estudantes de uma escola pública sobre o aquecimento global, considerando o impacto da educação ambiental na formação dessa percepção. Os resultados indicam que os estudantes têm uma compreensão básica dos conceitos relacionados ao aquecimento global, mas muitas vezes carecem de uma visão mais profunda e crítica.

Ambos os artigos destacam o impacto da educação ambiental na percepção dos estudantes, mas divergem no enfoque, com um artigo enfatizando experimentos práticos e discussões teóricas, enquanto o outro foca na percepção dos estudantes e na necessidade de uma visão mais crítica.

No que diz respeito às causas do aquecimento global, o artigo "O Consenso Científico sobre Aquecimento Global Antropogênico: Considerações Históricas e Epistemológicas e Reflexões para o Ensino dessa Temática" (Santos *et al.*, 2015) oferece uma análise detalhada do consenso científico sobre as causas antropogênicas do aquecimento global e suas implicações para o ensino. Este artigo explora as bases históricas e epistemológicas do consenso científico, destacando a importância de uma abordagem baseada em evidências no ensino de ciências.

Em complemento, Silva e Paula (2009) no artigo "Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural" discutem as causas do aquecimento global, comparando as teorias antropogênicas e naturais. O artigo apresenta evidências científicas que suportam ambas as perspectivas e analisa como essas teorias são percebidas na comunidade científica e no público em geral.

A análise destaca a predominância da teoria antropogênica, que atribui o aquecimento global principalmente às atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, embora também considere as contribuições das causas naturais, como variações solares e atividades vulcânicas.

Ambos os artigos discutem as causas antropogênicas e naturais, mas divergem na comparação das evidências científicas e na percepção das teorias.

4 METODOLOGIA

A metodologia é uma parte crucial de qualquer pesquisa, pois define os procedimentos e técnicas utilizados para coletar e analisar dados, assegurando a validade e confiabilidade dos resultados. Conforme Gil (2008), uma metodologia bem delineada é essencial para garantir que os objetivos da pesquisa sejam alcançados de maneira rigorosa e sistemática. Isso inclui a escolha adequada dos métodos de coleta de dados, como entrevistas, questionários, observações e análises documentais, bem como as técnicas de análise que serão utilizadas para interpretar esses dados. A metodologia fornece o arcabouço necessário para a condução de uma pesquisa robusta e confiável, permitindo que os resultados obtidos sejam considerados válidos e replicáveis.

4.1 Referencial metodológico: Debate uma alternativa dialética

A metodologia adotada neste trabalho é qualitativa, com base em uma abordagem dialética¹⁹, que visa promover uma compreensão profunda das diferentes teorias sobre o aquecimento global e seu impacto na educação científica. O foco principal é a análise do debate em sala de aula em uma aula de Física, como ferramenta pedagógica para o ensino de temas científicos controversos, à luz das teorias de Paulo Freire, Lev Vygotsky e fundamentado na filosofia da ciência de Paul Feyerabend. Desta forma, a metodologia escolhida se baseou nas seguintes etapas:

Tabela 1 - Etapas da metodologia

<p>Revisão Bibliográfica</p>	<p>Foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente de artigos científicos relacionados ao tema do aquecimento global. Esta etapa foi essencial para identificar e compreender as duas principais perspectivas científicas sobre as</p>
-------------------------------------	---

¹⁹ A abordagem dialética é um método de investigação que se baseia no confronto de ideias opostas, com o objetivo de alcançar a verdade. É uma forma de argumentação que estimula o pensamento crítico.

	causas e consequências do aquecimento global.
Análise das Perspectivas Científicas	As duas principais teorias sobre o aquecimento global foram analisadas detalhadamente. A primeira perspectiva defende que o aquecimento global é causado principalmente por atividades humanas, enquanto a segunda sugere que o aquecimento global é um fenômeno natural ou que a influência humana é mínima.
Desenvolvimento de Material Didático:	Com base na análise das perspectivas, foi desenvolvido um material didático que apresentará essas teorias de forma clara e imparcial. Este material foi elaborado por mim e será utilizado em sala de aula, com o objetivo de garantir que os alunos tenham acesso a informações equilibradas que facilitem o debate.
Implementação de Atividade de Debate:	A proposta da atividade de debate será implementada em sala de aula, no qual os alunos serão divididos em grupos. Cada grupo será responsável por defender uma das perspectivas sobre o aquecimento global. A metodologia dialógica de Paulo Freire será fundamental para garantir que o debate ocorra em um ambiente de respeito e cooperação, incentivando a participação ativa de todos os alunos.
Avaliação do Impacto:	Após o debate, será realizada uma avaliação para medir o impacto dessa metodologia no desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos e na compreensão do tema. Para isso, será utilizado uma ficha de avaliação, no qual os alunos irão refletir sobre o processo de aprendizagem e a compreensão das diferentes perspectivas apresentadas.

Fonte - Autoria própria

A pesquisa busca não apenas entender as diferentes teorias científicas, mas também avaliar como o debate em sala de aula pode ser uma ferramenta eficaz para desenvolver o pensamento crítico dos alunos.

Ressaltando a eficácia do uso de problemas sociocientíficos controversos para enriquecer o processo educativo, esta metodologia visa não apenas transmitir conhecimento, mas também incentivar os alunos a questionar, analisar e compreender profundamente as complexidades da ciência contemporânea. Assim, espera-se que os resultados obtidos sejam significativos, tanto em termos de desenvolvimento cognitivo dos alunos quanto na contribuição para a prática pedagógica no ensino de ciências.

No contexto da ciência, Feyerabend (1975) argumenta que o conhecimento científico não segue um único método rígido e absoluto, mas se constrói por meio de debates, contradições e pluralidade de ideias.

Dessa forma, esta metodologia visa não apenas transmitir conhecimento, mas também incentivar os alunos a questionar, analisar e compreender profundamente as complexidades da ciência contemporânea. Assim, espera-se que os resultados obtidos sejam significativos, tanto em termos de desenvolvimento cognitivo dos alunos quanto na contribuição para a prática pedagógica no ensino de ciências.

4.2 Planejamento da proposta de debate

O planejamento do debate representou um desafio significativo, especialmente no que diz respeito à construção de uma estrutura imparcial que conduzisse os alunos a uma reflexão dialética sobre o tema. Foi necessário pensar em uma metodologia que não apenas apresentasse as diferentes perspectivas científicas sobre o aquecimento global, mas que também incentivasse os alunos a formularem suas próprias perguntas e argumentações de maneira crítica e fundamentada.

Para isso, buscou-se desenvolver um roteiro que orientasse os estudantes na construção de seus posicionamentos, sem induzi-los a uma visão pré-determinada. Perguntas norteadoras foram propostas para estimular a problematização do tema, tais como: *O aquecimento global existe? Se existe, é da forma que nos contam?*

Quais as principais evidências para sustentar ou contestar essa ideia? A ação humana é determinante nesse processo ou há outros fatores naturais relevantes?

Essas questões foram elaboradas com o intuito de provocar uma análise reflexiva, permitindo que os alunos explorassem diferentes fontes e argumentos, ampliando sua compreensão sobre a complexidade do tema e fortalecendo o caráter investigativo da atividade.

5 CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA DE DEBATE

O debate será utilizado como estratégia pedagógica para estimular a análise crítica e o desenvolvimento do pensamento científico dos alunos sobre o aquecimento global. A atividade será conduzida, incentivando os estudantes a explorarem diferentes perspectivas científicas, formularem argumentações embasadas e questionarem conceitos já estabelecidos. A inversão dos papéis – no qual os alunos defenderão uma perspectiva oposta à sua opinião inicial – será um elemento essencial da dinâmica, garantindo que todos ampliem sua compreensão sobre as diferentes visões científicas do tema.

5.5.1 Objetivos

O debate tem como objetivos principais:

- Promover a compreensão das diferentes perspectivas científicas sobre o aquecimento global, sem dúvida, permitindo que os alunos analisem as evidências de maneira crítica . Esse objetivo se alinha com a ideia de Paulo Freire (1996), que enfatiza a importância da educação como um processo dialógico, onde o aluno é o protagonista e deve ter a capacidade de questionar e refletir criticamente sobre o conhecimento. Freire acredita que o ensino deve ser um espaço de libertação, onde os alunos se tornam agentes ativos na construção do saber.
- Desenvolver habilidades de argumentação e contra-argumentação, estimulando os estudantes a pesquisar, interpretar dados científicos e formular argumentos coerentes . Lev Vygotsky (1984) destacou a importância do aprendizado social e colaborativo, enfatizando que o desenvolvimento cognitivo ocorre por meio da interação e da linguagem. Nesse contexto, as habilidades de argumentação e contra-argumentação surgem como um processo de interação com outros, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico e lógico.

- Incentivar o pensamento crítico e reflexivo, levando os alunos a questionar informações pré-concebidas e considerar diferentes abordagens dentro da ciência . Esse objetivo reflete a visão de Herbert Marcuse (1964), que enfatiza a necessidade de uma educação crítica que vá além da simples transmissão de conhecimentos, incentivando os alunos a desafiar e compensar as estruturas dominantes de pensamento, como o fazem nas abordagens científicas mais amplas.
- Criar um ambiente de respeito e diálogo, permitindo que os estudantes expressem suas ideias e questionem conceitos de forma fundamentada . A criação de um ambiente de diálogo, como proposto por Freire (1996), é essencial para uma educação transformadora. No contexto de um debate, esse ambiente permite a troca de ideias de maneira aberta e respeitosa, contribuindo para o crescimento intelectual dos alunos.
- Exercitar a empatia intelectual, ao colocar os alunos no papel de defender uma visão oposta à sua opinião inicial, fazendo com que conheçam argumentos e evidências que talvez antes não considerassem . A empatia intelectual, conceito alinhado com a teoria sociocultural de Vygotsky (1984), permite aos alunos desenvolver uma compreensão mais profunda das perspectivas alheias. Ao assumir um papel contrário ao seu, os alunos têm a oportunidade de expandir sua visão crítica, desafiando suas próprias ideias e ampliando seu campo de conhecimento. Esse processo de troca e transformação de ideias também ressoa com a visão de Freire (1996), que acredita que a verdadeira educação deve promover o desenvolvimento da consciência crítica e da capacidade de autossuperação.

5.5.2 Planejamento e Estrutura do Debate

A preparação para o debate será organizada de forma a garantir que os alunos se envolvam de maneira crítica e fundamentada. Seguindo a abordagem de Paulo Freire (1996), o processo de preparação será centrado na conscientização ,

para que os alunos compreendam as questões do aquecimento global não de forma fragmentada, mas considerando suas dimensões sociais, científicas e ambientais.

A fase de preparação incluirá a leitura e análise de materiais didáticos selecionados na parte (controvérsias, do presente trabalho em anexo), que apresentarão de maneira equilibrada as duas principais perspectivas sobre o aquecimento global, além de artigos sobre o tema. Os alunos também realizaram pesquisas individuais e em grupo, nas quais os alunos buscarão diferentes fontes científicas, como artigos acadêmicos, relatórios e publicações, para sustentar seus argumentos e enriquecer a análise crítica. De acordo com Herbert Marcuse (1964), a capacidade de questionar e de formar opiniões fundamentadas é essencial para a formação de um sujeito crítico e consciente de seu papel na sociedade.

Para ajudar na organização do pensamento e na construção de argumentos críticos, serão propostas reflexões guiadas por perguntas norteadoras, como: *O aquecimento global existe? Se existe, é da forma como nos contam? Quais são as principais evidências científicas que sustentam ou contestam essa ideia? A ação humana é determinante nesse processo ou existem outros fatores naturais relevantes? Quais seriam as possíveis consequências de cada uma dessas perspectivas para a sociedade e o meio ambiente?*

5.5.3. Formação dos Grupos e Inversão de Papéis

Para evitar que o debate se transforme em um confronto de opiniões pessoais e para promover uma visão mais ampla e investigativa sobre o tema, será utilizada uma estratégia de inversão de papéis. Os alunos que acreditam que o aquecimento global é majoritariamente causado pela ação humana, defendem uma perspectiva oposta, argumentando que as características têm causas naturais ou que a influência humana é mínima.

Os alunos que acreditam que o aquecimento global é causado majoritariamente pela ação humana serão desafiados a defender a perspectiva de que as características do aquecimento têm causas naturais, ou que a influência humana é mínima. Essa abordagem busca a promoção da mediação no processo de aprendizagem, conforme a teoria de Lev Vygotsky (1984), que vê a interação social como essencial para a evolução do conhecimento.

Ao discutir e analisar criticamente argumentos contrários, os estudantes poderão compreender as Da mesma forma, os alunos que inicialmente não acreditam que a ação humana seja determinante no aquecimento global terão que argumentar a favor da ideia de que a atividade humana é, de fato, a principal responsável por essas características. Esse exercício visa fortalecer a autonomia intelectual e a capacidade argumentativa dos alunos, promovendo uma análise mais profunda e reflexiva.

Além disso, ao se colocar no lugar do outro, os estudantes treinarão o conceito de empatia intelectual defendido por Feyerabend (2011), que ressalta a importância de considerar diferentes pontos de vista para o entendimento completo de questões complexas.

Com essa estratégia, o debate não será apenas um espaço para confrontar ideias, mas uma oportunidade para os alunos ampliarem sua visão sobre o problema, desafiando suas próprias certezas e desenvolvendo habilidades cognitivas importantes para a formação de cidadãos críticos e engajados na resolução de questões ambientais.diferentes nuances do tema, indo além de uma visão simplificada e parcial.

5.5.4. Dinâmica do Debate

O debate será organizado de forma estruturada, seguindo etapas específicas para garantir que todos os participantes tenham a oportunidade de se manifestarem e defenderem suas ideias de maneira organizada e fundamentada. A primeira etapa será de abertura e apresentação da atividade, que terá duração de 5 minutos, no qual o professor explicará a dinâmica do debate, as regras e os critérios de participação.

Será ressaltada a importância do respeito mútuo e da argumentação baseada em fatos e evidências. Em seguida, ocorrerá a Rodada 1, no qual cada grupo terá 10 minutos para apresentar seus argumentos iniciais, expondo os principais pontos de sua defesa. A Rodada 2, com 10 minutos para cada grupo, será dedicada à contra-argumentação, no qual cada grupo responderá aos argumentos do grupo oposto, refutando-os com base em evidências científicas e pesquisas realizadas.

Após isso, haverá uma Rodada 3, com tempo variável, no qual os alunos poderão fazer perguntas diretamente ao grupo adversário, desafiando suas posições e incentivando um debate mais dinâmico e reflexivo. Por fim, a Rodada 4 será dedicada às considerações finais, com 3 minutos para cada grupo, no qual cada um fará um fechamento de seus argumentos e apresentará sua conclusão sobre o tema.

5.5.5. Mediação e Regras do Debate

- O professor atuará como mediador, garantindo que todos tenham oportunidade de falar e que o debate ocorra dentro dos princípios do respeito e da ética.
- Os argumentos devem ser baseados em evidências científicas, e não em opiniões pessoais sem fundamentação.
- O tempo de fala de cada grupo será cronometrado para garantir equidade na participação.
- Não serão permitidas interrupções enquanto um grupo estiver apresentando seus argumentos.
- O objetivo não é "vencer" o debate, mas sim aprofundar a compreensão sobre as diferentes perspectivas científicas do tema.

5.5.6 Avaliação e Reflexão Pós-Debate

Após o debate, os alunos participarão de uma atividade de avaliação e reflexão, essencial para consolidar os conhecimentos adquiridos e aprimorar a capacidade de análise crítica. Cada estudante responderá individualmente a perguntas como:

"O que aprendi com este debate?", "Minha opinião sobre o tema mudou? Por quê?", "O que mais me surpreendeu durante a discussão?", "Como essa atividade contribuiu para o meu pensamento crítico?" e "O que poderia ser melhorado nesta experiência?".

Além dessa etapa individual, haverá uma discussão final em grupo, conduzida pelo professor, na qual os alunos poderão compartilhar suas percepções e reflexões. Essa interação reforça a ideia de Vygotsky (1984) sobre o papel

fundamental do ambiente social na construção do conhecimento. Para ele, a aprendizagem ocorre por meio do diálogo e da troca de experiências , permitindo que os alunos ampliem suas perspectivas ao confrontarem diferentes pontos de vista.

A atividade pós-debate também se alinha às idéias de Feyerabend (1975) , que argumentava que a ciência não deveria ser vista como um sistema rígido e absoluto, mas como um campo dinâmico, sujeita a questionamentos e reformulações.

Ao revisitar suas opiniões e avaliar os argumentos apresentados, os alunos exercem a capacidade de enxergar a ciência como um processo aberto e plural, onde diferentes abordagens coexistem e se transformam ao longo do tempo.

Dessa forma, a reflexão final não apenas fortalece o aprendizado, mas também desenvolve a autonomia intelectual , incentivando os alunos a questionar ideias pré-estabelecidas e a se tornarem agentes ativos no próprio processo de construção do conhecimento.

5.5.7 Resultados esperados

A metodologia baseada em debates sobre o aquecimento global tem como objetivo promover um desenvolvimento significativo das habilidades críticas dos alunos, além de fornecer uma compreensão mais profunda sobre as diferentes perspectivas científicas relacionadas ao tema. Espera-se que os alunos:

Desenvolvam o pensamento crítico, Segundo Vygotsky (1991), a aprendizagem ocorre por meio da interação social, e o debate é uma estratégia que estimula os alunos a dialogar, confrontar ideias e construir conhecimento de forma mais crítica. Além disso, Feyerabend (1975) aponta que a ciência não segue um método único e definitivo, e ao expor os alunos a diferentes perspectivas científicas, espera-se que eles compreendam melhor a complexidade do conhecimento científico e questionem visões simplistas.

sendo capazes de questionar e analisar as diferentes abordagens sobre o aquecimento global, distantes de uma visão unilateral. Ao defender posições opostas com as quais inicialmente concordam, os alunos serão desafiados a considerar outros pontos de vista e a reformular suas ideias com base em evidências.

Adquirir habilidades argumentativas e de contra-argumentação, essenciais não apenas para a discussão científica, mas também para a formação de cidadãos críticos e bem informados. O debate exige que os alunos organizem seus argumentos de forma coerente e fundamentada, o que está alinhado com pesquisas como de Barbosa, Marinho e Carvalho (2020), que mostraram que o uso de debates no ensino de ciências melhorou a capacidade argumentativa dos alunos.

Essa habilidade é essencial para a formação de cidadãos críticos, pois permite que os estudantes avaliem informações de maneira racional, em vez de simplesmente aceitarem discursos prontos.

Também consigam melhorar a sua capacidade de pesquisar e interpretar informações científicas de forma objetiva, diferenciando fontes confiáveis de fontes tendenciosas ou com pouca base científica.

Damásio e Tavares (2007) destacam que metodologias ativas, como os debates, incentivam os alunos a buscar fontes confiáveis e a diferenciar dados científicos de informações tendenciosas.

A exigência de que os argumentos sejam embasados em evidências obriga os alunos a consultar artigos científicos, relatórios e outras fontes acadêmicas, aprimorando sua capacidade de análise crítica.

Compreender melhor o processo científico, confirmando que as conclusões científicas sobre temas como o aquecimento global não são absolutas e podem ser interpretadas de diferentes maneiras, dependendo dos dados e das perspectivas adotadas.

Sintam-se mais capacitados para discutir temas controversos de forma respeitosa e fundamentada, respeitando a pluralidade de opiniões e ampliando suas capacidades de diálogo.

A mediação do professor e as regras do debate garantem um ambiente onde os alunos aprendem a argumentar sem recorrer a ataques pessoais. Experiências como as relatadas por Barbosa, Marinho e Carvalho (2020) mostram que metodologias baseadas no debate favorecem o respeito à diversidade de ideias e o desenvolvimento de habilidades de escuta ativa.

A partir desses resultados, esperamos que a metodologia utilizada ajude a construir uma visão mais crítica e informada sobre o aquecimento global, não apenas como um problema científico, mas também como uma questão social e política.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho foi estruturado em torno da proposta de um debate educativo sobre o aquecimento global, promovendo uma compreensão crítica e aprofundada das diferentes perspectivas científicas sobre o tema. A metodologia adotada, ao possibilitar que os alunos futuramente defendessem posições opostas às suas opiniões iniciais, permitirá uma análise mais ampla das evidências e teorias envolvidas, contribuindo para o desenvolvimento de suas habilidades de argumentação e reflexão. Ao mesmo tempo, esse formato de debate possibilitou que os alunos se confrontassem com a complexidade do aquecimento global, entendendo que, como especificações científicas e sociais, ele envolve múltiplas dimensões que não podem ser detalhadas de forma simples.

O debate sobre o aquecimento global, embora aparentemente distante dos temas tradicionais da Física, se mostrou extremamente relevante dentro do contexto dessa disciplina, pois permitirá que os alunos compreendam a natureza multifacetada da ciência. A Física, enquanto campo do conhecimento, não se limita apenas às leis naturais, mas está intrinsecamente ligada às questões sociais e ambientais que afetam o nosso cotidiano. Ao discutir o aquecimento global, os estudantes tiveram a oportunidade de compreender como os conceitos da Física radiação e energia se entrelaçam com as questões políticas, econômicas e éticas.

Além disso, o tema é de extrema relevância na atualidade, pois aborda um dos maiores desafios globais, exigindo uma compreensão crítica não apenas das evidências científicas, mas também das diferentes interpretações e implicações de seus dados. A proposta interdisciplinar, ao incluir o debate, foi uma estratégia eficaz para ampliar a visão dos alunos sobre a ciência, mostrando-lhes que o conhecimento científico não é um conjunto isolado de informações, mas uma rede de saberes que interage com outros campos do conhecimento, como a biologia, a sociologia e a economia.

Feyerabend (2010) em sua teoria "Contra o Método" argumenta que a ciência não deve ser entendida como um conjunto rígido de regras a serem seguidas, mas como um processo dinâmico, caracterizado por uma pluralidade de métodos, abordagens e interpretações. Esse entendimento se encaixa perfeitamente com a proposta de incluir o debate sobre o aquecimento global na disciplina de Física, visto que o tema permite a análise de diferentes interpretações científicas sobre as

características, seja por meio da perspectiva antropogênica ou natural. Ao aplicar essa abordagem, os alunos são desafiados a questionar a ideia de uma única verdade científica, compreendendo que a ciência é construída através de múltiplas correntes de pensamento, que podem coexistir e se complementar. Isso os prepara para uma reflexão crítica não apenas sobre o aquecimento global, mas sobre o processo científico como um todo, onde diferentes situações podem coexistir, sendo constantemente testadas e revisadas.

Finalmente, é importante ressaltar que o aquecimento global é uma questão que transcende a ciência exata e se relaciona com uma ampla gama de dimensões sociais, econômicas e políticas. Ao integrar essa temática de forma interdisciplinar no ensino de Física, o aluno não só compreende melhor os conceitos científicos que o sustentam, mas também desenvolve habilidades de argumentação, análise crítica e diálogo respeitoso, fundamentais para a formação de cidadãos críticos e participativos. Como afirmado por Feyerabend (2010), a busca pelo conhecimento deve ser aberta ao debate, permitindo que os estudantes possam, a partir dessa experiência, construir uma compreensão mais profunda e mais engajada com os desafios globais que a humanidade enfrenta, como o aquecimento global.

A metodologia aqui apresentada-lhe, portanto, o potencial de enriquecer a prática pedagógica no ensino de ciências, tornando-a mais dinâmica, interativa e reflexiva, ao mesmo tempo em que promove o respeito à pluralidade de ideias e perspectivas.

7 ANEXO

7.1 Controvérsias

A comunidade científica tem apresentado evidências robustas de que o aquecimento global está ocorrendo. Segundo a NASA e a NOAA, a temperatura média global aumentou cerca de 1,1°C desde o final do século XIX, com a maior parte desse aquecimento ocorrendo nas últimas quatro décadas (NASA Science). Estudos documentam fenômenos como o derretimento acelerado de geleiras, o aumento do nível do mar e a acidificação dos oceanos, corroborando a tendência de aquecimento.

Além dos impactos ambientais, o aquecimento global está associado a eventos climáticos extremos, como ondas de calor, enchentes e secas, que têm implicações diretas para a saúde pública, segurança alimentar e economia (Nobre *et al.*, 2016). Portanto, a compreensão desse fenômeno é crucial para a formulação de políticas públicas e estratégias de mitigação e adaptação.

O IPCC (2013) compilou uma vasta quantidade de dados que indicam que as atividades humanas, particularmente a emissão de gases de efeito estufa como CO₂, são as principais responsáveis por esse aquecimento. A análise de múltiplas fontes, incluindo medições de temperatura e registros históricos, sustenta a conclusão de que a maior parte do aquecimento observado desde meados do século XX é muito provavelmente de origem antropogênica.

Embora a maioria dos cientistas concorde que as atividades humanas são a principal causa do aquecimento global, há um debate contínuo sobre a extensão dessa influência. Alguns pesquisadores, como Spencer (2008) e Soon & Baliunas (2003), argumentam que as variações climáticas naturais, incluindo mudanças na atividade solar e ciclos climáticos naturais, podem desempenhar um papel mais significativo do que é geralmente reconhecido. Estes estudos sugerem que os modelos climáticos atuais podem superestimar o impacto das emissões de gases de efeito estufa e subestimar a variabilidade natural do clima (Tabela 1).

Crutzen (2002) introduziu o conceito de "Antropoceno", destacando como as atividades humanas têm alterado significativamente o ambiente global. Ele argumenta que a queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás

natural, tem aumentado significativamente as concentrações de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) na atmosfera. Estes gases são responsáveis por reter o calor na Terra, resultando em um aumento das temperaturas médias globais. Chakrabarty (2009) reforça essa visão, discutindo como a industrialização e a urbanização têm transformado o clima global, com evidências robustas de que as emissões antropogênicas são a principal causa do aquecimento observado.

Molion (2021), em seu artigo na Revista Brasileira de Climatologia, critica fortemente a hipótese do aquecimento global antropogênico. Ele aponta que os modelos climáticos atuais são inadequados para prever mudanças climáticas futuras devido às suas limitações em representar processos atmosféricos complexos, como o ciclo hidrológico. Molion argumenta que a variabilidade natural do clima, incluindo fatores como a atividade solar e as erupções vulcânicas, desempenha um papel mais significativo nas mudanças climáticas do que as atividades humanas, essa visão destaca que a Terra passou por vários períodos de aquecimento e resfriamento ao longo de sua história, influenciados por fatores naturais.

Tabela 2 - Principais diferenças das teorias

Visão	Principais causas	Descrição	Referências
Antropogênica	Emissão de Gases de Efeito Estufa	Queima de combustíveis fósseis, atividades industriais e agrícolas aumentam as concentrações de CO ₂ , CH ₄ , e N ₂ O, intensificando o efeito estufa e elevando as temperaturas globais.	Silva & Paula (2009)
	Modelos Climáticos	Projeções indicam um aumento de temperatura global de 1,1°C a 6,4°C até o final do século XXI, com a elevação do nível do mar entre 9 a 88 cm.	Silva & Paula (2009)
	Derretimento de Geleiras	Observações mostram o derretimento acelerado das geleiras, contribuindo para a elevação do nível do mar e	Silva & Paula (2009)

Visão	Principais causas	Descrição	Referências
		liberando metano de lagos congelados.	
Natural	Ciclos Geológicos e Climáticos	Alterações naturais como movimento de placas tectônicas, vulcanismo e variações na atividade solar têm influenciado o clima ao longo de milhões de anos.	Silva & Paula (2009)
	Períodos de Aquecimento e Resfriamento	Flutuações naturais como o Período Quente Medieval e a Pequena Idade do Gelo mostram a dinâmica climática natural da Terra.	Silva & Paula (2009)
	Eventos Extremos	Eventos catastróficos como impactos de asteroides causaram mudanças climáticas significativas e extinções em massa.	Silva & Paula (2009)

Fonte - Autoria própria

8 REFERÊNCIAS

BAKHTIN, M; **Estética da criação verbal**; Tradução de Paulo Bezerra; 5. ed; São Paulo: Martins Fontes, 1981.

BAIN, K; **O que os melhores professores universitários fazem**; Cambridge: Harvard University Press, 2004.

BARBOSA, C. L. B; MARINHO, D.M; CARVALHO, L. S. C; **O Debate como metodologia de ensino para a aprendizagem crítica**. Programa de Residência Pedagógica na Licenciatura em Informática: partilhando possibilidades, p. 22-32, 2020.

CHAKRABARTY, Dipesh; **O clima da história**: quatro teses. Tradução de José Pedro Martins. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.

CRUTZEN, P. J; **Geologia da humanidade**; Nature, Tradução de João Pedro Garcez. v. 415, p. 23, 2002.

CHANDRASEKHAR, S; **Transferência radiativa**; Nova York: Dover Publications, 1960.

CHASSOT, Á; **A ciência através dos tempos**; 3.ed. São Paulo: Moderna, 2003.

DAMÁSIO, F; TAVARES, A.; **O ensino de Ciências através do debate sobre as alternativas energéticas com abordagem na questão ambiental**; *Experiências em Ensino de Ciências* , v. 2, pág. 57-68, 2007.

DONEY, S. C.; FABRY, V. J.; FEELY, R. A.; **Acidificação dos oceanos: o outro problema do CO₂**; Revisão Anual de Ciências Marinhas , 15 de janeiro de 2009.

FEYERABEND, P.; **Contra o método**. Tradução de Carlos Alberto Figueiredo. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

FEYERABEND, P.; **Contra o método** . 1.ed. Londres: New Left Books, 1975.

FIGUEIREDO, R.; **A prática do debate na sala de aula**: uma experiência com alunos do ensino fundamental. Revista Brasileira de Ensino de Física , v. 4, pág. 472-483, 2013.

FORSTER, P; *et al.*; **Mudanças nos constituintes atmosféricos e na força radiativa.**

FREIRE, P.; **Pedagogia do oprimido.** 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2000.

GALVÃO, C.; REIS, P.; FREIRE, S. **Uma discussão de controvérsias sociocientíficas na formação de professores.** *Ciência & Educação*, v. 505-522, 2011.

GIL, A. C.; **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GEHLEN, S. *et al.*; **Controvérsias sobre o aquecimento global:** circulação de vozes e de sentidos produzidos em sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 41, n. 3, p. 370-385, 2019.

GALVÃO, C. REIS, P.; FREIRE, S.; **A discussão de controvérsias sociocientíficas na formação de professores.** *Ciência & Educação*, Bauru, v. 17, n. 3, p. 505-522, 2011.

HULME, M.; **Por que discordamos sobre mudanças climáticas:** compreendendo controvérsias, inação e oportunidade. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

HANSEN, J. *et al.*; **Desequilíbrio energético da Terra:** Confirmação e implicações. *Ciência*, 2005.

HERZBERG, G.; **Espectros moleculares e estrutura molecular:** espectros infravermelhos e Raman de moléculas poliatômicas . Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1945.

IPCC. **Mudança Climática 2013: A Base das Ciências Físicas.** Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Cambridge University Press, 2013.

KUHN, T. S.; **A estrutura das revoluções científicas.** Tradução de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. 10. ed. São Paulo: Perspectiva, 2017.

LIMA, G.; LAYRARGUES, P.; **Mudanças climáticas, educação e meio ambiente:** para além do Conservadorismo Dinâmico. *Educar em Revista*. 2014

LACIS, A. A.; SCHMIDT, G. A.; RIND, D.; RUEDY, R. A. **CO₂ atmosférico**: principal botão de controle que governa a temperatura da Terra. *Ciência*, v. 330, n. 6002, pág. 356-359, 2010.

MOLION, L. C. B.. **Desmistificando o aquecimento global**. Maceió: Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, 2011

MANABE, S.; WETHERALD, R.T. **Equilíbrio térmico da atmosfera com uma distribuição dada de umidade relativa**. *Revista de Ciências Atmosféricas*, v. 24, p. 241–259, 1967.

MEEHL, G. *et al.* **Projeções climáticas globais**. Em: SOLOMON, S. (Ed.). *Mudanças climáticas 2007*.

NASA. **Consenso científico**: o clima da Terra está aquecendo. Acesso em: 7 ago. 2024.

NOBRE, C. *et al.* **Impactos do aquecimento global no Brasil**: mudanças climáticas e suas implicações. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 3, p. 368-385, 2016.

NASA. **Mudanças climáticas**: como sabemos? Nasa, 2020.

NEPOMUCENO, T.; **Mudanças climáticas globais**: a resposta da educação , 2011.

OLIVEIRA, L. **Controvérsias sobre o aquecimento global e ato responsável**: uma categoria bakhtiniana para ajudar a pensar questões sociocientíficas em aulas de ciências. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 2, p. 250-265, 2018.

POLISELI, L. **Uma breve introdução à filosofia da ciência em prática**. *Perspectiva Filosófica*, vol. 46, n. 2, 2019.

PEREIRA, P. *et al.* **Aquecimento global: uma abordagem para o ensino de Física**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, p. 78-92, 2016.

PEDUZZI, L. O. Q.; RAÍCIK, A. C; **A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica**: reflexões para o ensino de ciências. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 9, n. 2, p. 149-176, nov. 2016.

POPPER, K. R.; **A lógica da pesquisa científica**. Tradução de Leônidas Hegenberg e Octanny S. da Mota. 4.ed. São Paulo: Cultrix, 2007.

RANDALL, D. A. *et al.*; **Modelos climáticos e sua avaliação**. Em: SOLOMON, S. (Ed.). *Mudança climática 2007* .

RAMANATÃ, V.; FENG, Y. **Poluição do ar, gases de efeito estufa e mudanças climáticas: perspectiva global e regional**. *Ambiente Atmosférico* , v. 43, pág.

SANTOS, A. *et al.* **O consenso científico sobre o aquecimento global antropogênico: considerações históricas e epistemológicas e reflexões para o ensino dessa temática**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 3, p. 364-381, 2015.

SILVA, H.; PAULA, M. **Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural**. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 5, n. 2, p. 121-136, 2009.

SILVA, C. M. L. COSTA, F. A.; BORBA, G. L. **A educação em mudanças climáticas: uma abordagem interdisciplinar**. *Holos*, Natal, v. 32, n. 4, p. 176-188, 2016.

SILVA, R.; ALMEIDA, J.; **Análise da percepção de estudantes sobre o aquecimento global em uma escola pública**. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 22, n. 2, p. 244-260, 2017.

SOUZA, D. V. L. ; OLIVEIRA, I. M.; de. **Pseudociências e os desafios atuais impostos ao ensino de ciências**. *Educação & Realidade*, Porto Alegre, v. 49, n. 1, p. 55-74

SOON, W. BALIUNAS, S.; **Mudanças climáticas e ambientais de mil anos atrás: um estudo de proxies climáticos**. Tradução de Tatiana Jorgetti Fernandes, *Climate Research*, v. 23, n. 2, p. 89-110, 2003.

SPENCER, R. **Confusão climática: como a histeria sobre o aquecimento global leva a uma ciência ruim, políticos que fazem concessões e políticas equivocadas que prejudicam os pobres**. Tradução de Pablo Uchoa, BBC news 2008

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico** . 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

TELA, J.A.; SIMMONDS, I. **O papel central da diminuição do gelo marinho na recente amplificação da temperatura do Ártico.** *Natureza* , 2010.