



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



Augusto Cezar Gessi Caneppele

**UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA FACILITADORA DA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA NO ESTUDO DO EFEITO ESTUFA E DO  
AQUECIMENTO GLOBAL**

Prof. Dr. Dakir Larara Machado da Silva  
Orientador

Prof. Dr<sup>a</sup>. Silvana Da Dalt  
Coorientadora

Tramandaí  
Fevereiro de 2019

Augusto Cezar Gessi Caneppele

**UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA FACILITADORA DA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA NO ESTUDO DO EFEITO ESTUFA E DO  
AQUECIMENTO GLOBAL**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 06 de dezembro de 2019

Prof. Dr. Dakir Larara Machado da Silva – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof. Dr. Ederson Staudt – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karen Cavalcanti Tauceda – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Priscila Chaves Panta – UERGS – IMED

Dedico este mestrado à minha *hermosa* esposa, que me deu apoio e foi compreensiva com minhas queixas e ausências.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup>. Dakir pela orientação e suporte nos momentos difíceis e a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvana pelas leituras criteriosas e críticas construtivas.

Ao Colégio Estadual José Loureiro da Silva pelo espaço para implementação do produto educacional.

À Sociedade Brasileira de Física pela oportunidade concedida e pelo desenvolvimento do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física tão importante para gerar oportunidades aos professores que, mesmo com dificuldades, buscam melhorar o Ensino de Física.

A todos aqueles que de algum modo contribuíram para esse trabalho fica o meu agradecimento.

## RESUMO

Para este trabalho foram verificados alguns problemas na abordagem de questões ambientais como o efeito estufa e o aquecimento global na sociedade. Assim, esta dissertação tem como objetivo definir o fenômeno do efeito estufa a partir de alguns conceitos físicos como radiação solar, absorção e emissão de radiação pelas moléculas, bem como diferenciá-lo do aquecimento global. Para tal, foi criada uma sequência didática ancorada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. A sequência foi constituída por seis aulas que começam por contextualizar os objetos de estudo, mostrando diferentes abordagens do efeito estufa e do aquecimento global por vídeos e textos; aborda fenômenos físicos que definem o efeito estufa; define o efeito estufa observando interação entre luz e moléculas; define o aquecimento global diferenciando-o do efeito estufa. Essa sequência foi aplicada em uma turma do segundo ano do ensino médio de um colégio da rede pública situado no município de Esteio-RS. As aulas foram aplicadas no período de 01 de julho à 24 de setembro de 2019, em um total de catorze períodos de uma hora cada. Dentre os resultados obtidos destaca-se o interesse dos alunos nos assuntos abordados, bem como uma evolução conceitual dos fenômenos *efeito estufa* e *aquecimento global*.

Palavras-chave: Ensino de Física. Aprendizagem Significativa. Efeito Estufa. Aquecimento Global.

## ABSTRACT

For this study some problems in the approach to environmental issues, such as the greenhouse effect and global warming, were verified in school and society. Therefore, this work aims to conceptualized the phenomenon of greenhouse effect, on the basis of some principles such as solar radiation, absorption and emission of radiation by molecules and differentiate it from global warming. For such purpose, a didactic sequence anchored in Ausubel's Theory of Meaningful Learning was created. This didactic sequence consisted of 6 classes that started by contextualizing the study objects, showing different approaches to the greenhouse effect and global warming though videos and texts, addressing the physical phenomena that define the greenhouse effect, defining the greenhouse effect observing the interaction between light and molecules, defining global warming and differentiating it from the greenhouse effect. This sequence was applied to a second-year high school class of a school in the public system in the municipality of Esteio-RS. The classes were applied from July 1st to September 24th, 2019, in a total of fourteen hourly periods each. Among the obtained results, the students' interest in the subjects covered stands out, as well as a conceptual evolution of the *greenhouse effect* and *global warming* phenomena.

Keywords: Physics teaching. Meaningful Learning. Greenhouse effect. Global warming.

## LISTA DE FIGURAS:

Figura 1: Um modelo ideal do efeito estufa natural

Figura 2: Espectro Eletromagnético

Figura 3: Comparação entre os espectros de radiação do Sol e da Terra

Figura 4: Espectro do fluxo de radiação no topo da atmosfera da Terra

Figura 5: Representação das bandas de absorvência do dióxido de carbono

Figura 6: Representação dos modos de vibração do dióxido de carbono

Figura 7: Representação do balanço energético da Terra

Figura 8: Forçantes radiativas do clima entre 1750 e 2011

Figura 9: Gases que contribuem para o Efeito Estufa

Figura 10: Temperatura global anual *versus* Irradiância

Figura 11: Influência de fatores exógenos na temperatura global

Figura 12: Descrição das mudanças nos movimentos da Terra

Figura 13: Digitalização da resposta de um aluno

Figura A.1: Anomalias das temperaturas dos oceanos e terrestres

Figura A.2: Equilíbrio térmico

Figura A.3: Espectro Eletromagnético

Figura A.4: Intensidade de radiação para corpos negros em diferentes temperaturas

Figura A. 5: Gráficos das intensidades de radiação para o Sol e a Terra

Figura A. 6: Efeito Estufa

Figura A. 7: Modelo ideal do Efeito Estufa

Figura A. 8: Comparação entre as intensidades dos espectros solar e terrestre, considerando Sol e Terra como corpos negros.

Figura A. 9: Modos de vibração da molécula de dióxido de carbono

Figura A. 10: Moléculas e Luz. A interação de determinadas moléculas de gases do efeito estufa com a radiação

Figura A. 11: Distribuição dos percentuais da radiação solar e da emissão da Terra

Figura A. 12: Equilíbrio térmico

Figura A.13: Excentricidade da órbita terrestre

Figura A.14: Obliquidade da eclíptica

Figura A.15: Precessão dos Equinócios

Figura A.16: Irradiância solar ao longo de 60 anos

Figura A.17: Temperatura *versus* Irradiância Solar

Figura A.18: A esquerda o planeta Melissa (a) com atmosfera sem gases de efeito estufa, a direita (b) a Terra que tem atmosfera com gases de efeito estufa

Figura BD.1: Representação da radiação solar que atinge a Terra

Figura B.2: Representação da emissão de energia pela Terra

Figura B.3: Representação do modelo de camadas para o cálculo da temperatura superficial



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tendência na temperatura global entre 1979 e 2010

Tabela 2: Planejamento do produto educacional

Tabela 3: Cronograma das atividades desenvolvidas

Tabela 4: Análise da questão 2

Tabela 5: Análise da questão 3

Tabela 6: Análise da questão 4

Tabela 7: Análise da questão 5

Tabela 8: Análise da questão 6

Tabela 9: Análise da questão 7

Tabela 10: Análise da questão 8

Tabela 11: Análise da questão 9

Tabela 12: Resultados das questões da simulação

Tabela A.1: Planejamento do produto educacional

Tabela A.2: Dados relevantes de alguns planetas no estudo do clima

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa	16
2.2 Sequência Didática	19
2.3 Efeito estufa	21
2.4 Aquecimento global	27
2.4.1 Forçantes Radiativas	29
2.4.2 Gases de Efeito estufa	30
2.4.3 Albedo	34
2.4.4 Sol	35
2.4.5 Ciclos de Milankovitch	38
3 METODOLOGIA	41
4. RELATÓRIO DAS AULAS E AVALIAÇÃO	46
4.1 Relatório da aula 1	47
4.2 Relatório da aula 2	50
4.3 Relatório da aula 3	50
4.4 Relatório da aula 4	52
4.5 Relatório da aula 5	55
4.6 Relatório da Aula 6	57
4.7 Respostas questionário investigativo <i>versus</i> questionário final	57
4.8 Avaliação	68
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
6 REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	78
APÊNDICE B – TEMPERATURA TERRESTRE	128

## 1 INTRODUÇÃO

As revoluções industriais são marcos da mudança de organização da vida humana e o modo com que a sociedade se relaciona com a ciência e tecnologia. A sociedade aceitava que a evolução da tecnologia conduzia à melhoria do modo de vida e evolução humana. Realmente, a tecnologia moderna permitiu o aumento e qualidade na produção alimentar, melhoria das plantas energéticas que contribuem nas melhores condições de vida humana. Contudo, tal evolução acarretou, também, mudanças ambientais devido à interferência humana no ambiente.

A exploração intensiva dos recursos naturais usados para abastecer a indústria, o desmatamento e o uso de pesticidas pela agricultura geram acúmulos de resíduos e gases no solo e na atmosfera; e constituem impactos negativos das aplicações tecnológicas sobre o ambiente (REIS, 2004).

Os meios de comunicação exploram essas controvérsias. Em geral, os alunos do ensino médio consomem informação de mídias sociais como canais de vídeo, aplicativos de mensagens ou redes sociais. Esse modo de consumo carrega consigo a facilidade da troca quase instantânea da informação, contudo, outra consequência, é a falta de qualidade da informação que chega ao público, uma vez que estas são tratadas de maneira sensacionalista e geralmente mais preocupadas com índices de audiência (MAGALHÃES, 2014).

Informações sensacionalistas ou com abordagens simplistas influenciam nas concepções do aluno sobre questões ambientais. Além disso, as redes sociais trabalham com algoritmos que indicam ao consumidor, vídeos, textos, reportagem que estão relacionadas ao seu histórico, deste modo os alunos são colocados em contato, geralmente, com apenas uma abordagem sobre o assunto. Assim, é interessante a abordagem, pelo educador, de assuntos controversos em sala de aula, pois, como mediador ajuda o aluno no esclarecimento acerca de vários aspectos que lhes permita reconhecer o que está em causa em determinada controvérsia, alcançar uma opinião informada e participar de discussões, debates e processos de tomadas de decisões (REIS, 2004).

Parte-se do princípio de que professores a partir das ideias que veiculam, das estratégias que implementam e da forma como abordam estas controvérsias nas aulas, podem ter um impacto considerável nas concepções que os seus alunos constroem acerca das questões ambientais (PÉREZ, *et al.*, 2001). Deste modo, cabe esclarecer que este trabalho irá propor material de apoio ao professor para trabalhar temas controversos como os fenômenos efeito estufa e aquecimento global, dos quais, o primeiro já tem base científica muito bem fundamentada, porém, Rubino (p. 1, 2010) mostra que há escassez de materiais didáticos adequados sobre o tema efeito estufa e sua relação com o aquecimento global no contexto do ensino de física; já o aquecimento global é, em geral, apresentado de modo sucinto e muitas vezes o confunde com o efeito principal (SCHWERTL, *et al.*, 2013).

Antes de abordar tais questões, ressalta-se que, embora o aquecimento global gere maior discussão no mundo científico, o mesmo carrega consigo algumas diferenças entre as seguintes controvérsias: 1) a questão do aquecimento global e a influência do homem no clima; 2) a questão da previsão do clima a longo prazo; e 3) a questão ao que devemos fazer a respeito, ou seja, ações de mitigação (como a redução de emissões de gases de efeito estufa), este trabalho visa criar aporte ao professor em sala para trabalhar o aquecimento global a partir do efeito estufa, deixando clara a diferença entre ambos.

Abordagens de temas ambientais controversos corroboram com o conteúdo apresentado pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e mostram sobre como trabalhar a física no ensino médio. Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade imediata ou do universo distante (BRASIL, 2002).

Portanto, o currículo trabalhado em sala deve estar centrado no desenvolvimento de conhecimentos, capacidades e atitudes úteis para a vida diária do aluno e preocupado com a responsabilidade social em processos coletivos de tomada de decisão sobre assuntos relacionados com ciência e tecnologia (SANTOS; MORTIMER, 2002).

Cabe ressaltar que a conversa sobre questões ambientais está carregada de fatos políticos, mas para a construção do nosso trabalho o foco é a mescla entre conceitos de efeito estufa e aquecimento global. Assim, neste trabalho foi

montada uma sequência didática que pode ajudar o professor e alunos no processo de ensino aprendizagem. A sequência didática tem por objetivo definir o fenômeno do efeito estufa a partir do estudo de alguns conceitos físicos como radiação solar, absorção e emissão de radiação pelas moléculas e mostrar a diferença entre os fenômenos de efeito estufa e aquecimento global.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A Física no ensino médio trata de formar cidadãos contemporâneos, atuantes e solidários, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade imediata ou no universo distante. Assim, a mesma disponibiliza a possibilidade de desenvolvermos um currículo não apenas conteudista, mas sim para competências adquiridas.

A Física para a vida é construída num presente contextualizado, em articulação com competências de outras áreas, impregnadas de conhecimentos. De tal modo, BRASIL (2002) cita as competências relacionadas principalmente com a investigação e compreensão dos fenômenos físicos, enquanto há outras competências que dizem respeito à utilização da linguagem física e de sua comunicação, ou, finalmente, que estejam relacionadas a sua contextualização histórica e social.

Uma competência que pode ser citada é a análise e interpretação de textos e outras comunicações de Ciência e Tecnologia (C&T), como acompanhar o notícias relativas à ciência em jornais, revistas e notícias veiculadas pela mídia, identificando a questão em discussão e interpretando, com objetividade, seus significados e implicações para participar do que se passa à sua volta. Neste contexto, exemplifica-se a relação existente entre a poluição observada na atmosfera em dias com menores taxas de umidade relativa e temperaturas mais elevadas, e a emissão dos gases gerados pelo consumo de energia através das indústrias, principalmente, e, em contrapartida, seus efeitos sobre o ambiente e a saúde humana.

Além de interpretar, é interessante que o aluno compreenda e emita juízos próprios sobre notícias com temas relativos à ciência e tecnologia, veiculadas pelas diferentes mídias, de forma analítica e crítica, posicionando-se com argumentação clara (BRASIL, 2002).

Para que o aluno consiga abordar criticamente as mídias, o material e a didática utilizados pelo professor devem estar em consonância. Desde o início dos estudos sobre questões ambientais, como o efeito estufa, foram introduzidos currículos de ciências em muitos países, pois o rápido desenvolvimento da ciência e da tecnologia enfatiza a necessidade de cidadãos letrados científica e ambientalmente, uma vez que o carácter social de tais fenômenos liga-os aos

hábitos cotidianos dos indivíduos, assim como ao futuro do planeta (KOULALIDIS, VASILIS; CHRISTIDOU, 1999).

Assim, ainda que o efeito estufa e o aquecimento global sejam fenômenos globais, devemos mostrar que esses fenômenos estão relacionados as escolhas que fazemos no nosso cotidiano e que, devido a isso, podemos nos apropriar de um embasamento científico conveniente sobre esta circunstância, a partir da Física (SOUSA; COSTA, 2017).

Ainda, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) evidencia que analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia (é o caso do efeito estufa), para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global; é uma das competências específicas de ciências da natureza e suas tecnologias (BRASIL, 2018).

Deve-se ressaltar que a disciplina de Física, na maioria das vezes, é representada, de forma equivocada, pela dificuldade de compreensão de seus conceitos e cálculos, dentro do currículo escolar, mesmo quando incluída na área das ciências da natureza, ainda muitas vezes, os saberes primevos<sup>1</sup> dos alunos e o contexto escolar não são considerados e as aulas acabam resumindo-se as equações e fórmulas para resoluções de complexos problemas, desmotivando o aluno (SOUZA, 2016).

Cachapuz *et al.* (p. 30, 2005) relata que podem ser consideradas justas as acusações de dogmatismo, de abstração formalista carente de significância, etc., para o modo que o ensino apresenta habitualmente as matérias das ciências da natureza, deixando as aulas abstratas e puramente formais, desmotivando e algumas vezes gerando até repulsa dos agentes envolvidos.

Também, a escola é muitas vezes tida como uma instituição que deve garantir a todos ao conjunto de conhecimentos socialmente acumulados pela sociedade. Contudo, tais conhecimentos são reduzidos a produtos, sem considerar o valor determinante dos processos, fazendo da escola, apenas um lugar para passar o conhecimento escolar. Além da escola, a sala de aula, fator

---

<sup>1</sup> Saber popular é aquele que detém, socialmente, o menos prestígio, isto é, o que resiste a menos códigos. Aliás, *popular* pode significar *vulgar*, *trivial*, *plebeu*. Mais recentemente, *saberes populares* passam a ser nominados também de *saberes primevos*. (CHASSOT, 2016)

preponderante no ensino, é geralmente parecida em muitos lugares, alguns alunos interessados e bem comportados, outros nem tanto, e em constante bagunça. Professores, agentes envolvidos no processo de aprendizagem, uns mais envolvidos, mais criativos, outros tediosos. Os processos terminam sendo muito parecidos: ensinar a matéria (DAYRELL, 2001).

Nesse contexto, este trabalho aborda o estudo sobre o efeito estufa, direcionando-o para o aquecimento global a partir de fenômenos físicos relacionados a esses processos. Assim, propõe-se neste trabalho uma sequência didática amparada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel para o professor de física trabalhar, em conjunto com os alunos do segundo ano do ensino médio, questões relativas ao efeito estufa e sua relação com o ensino de física.



## 2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa

Este trabalho tem como base a Teoria da Aprendizagem Significativa elaborada por Ausubel, essa teoria apresenta um potencial de aplicabilidade muito grande para o ensino.

A aprendizagem significativa foi desenvolvida a partir da década de 60 por psicólogos e educadores. Essa teoria contrapunha a linha educacional relevante da época que ressaltava elementos relacionados com o treinamento do aprendiz (MACHADO; OSTERMANN, 2006). A aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação se relaciona com uma estrutura relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo (Moreira, 2015), ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura pré-existente e específica do indivíduo, a qual é conhecida como conceito subsunçor.

Nessa perspectiva, a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação interage e se organiza de forma não arbitrária com os subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Desta forma, o conhecimento antigo e o novo se relacionam formando um terceiro, diferente dos primeiros. Pode-se verificar, com isso, que um fator importante de influência à aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe.

Cabe ressaltar que Ausubel considera o armazenamento de informações no cérebro de forma organizada e hierárquica, onde conceitos mais específicos são assimilados por conhecimentos mais inclusivos (MOREIRA, 2015).

Em contraponto à aprendizagem significativa, Ausubel colocou a aprendizagem mecânica. Essa aprendizagem ocorre quando o indivíduo é apresentado a um novo conhecimento e simplesmente incorpora o novo conhecimento de forma arbitrária e literal na sua estrutura cognitiva, ou seja, o novo conhecimento não é relacionado com os subsunçores. O aluno quando se prepara para a prova meramente decorando fórmulas e resoluções de exercícios, faz a avaliação, obtém sua nota e, passados alguns dias da prova, esquece o que estudou, pois, já não consegue reproduzir as mesmas informações, é um exemplo de aprendizagem mecânica (MOREIRA; OSTERMANN, 2006).

Contudo, Ausubel não considera a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica como sendo dicotômicas (MACHADO; OSTERMANN, 2006). A aprendizagem mecânica é útil quando, considerando que não há

conhecimentos prévios, o indivíduo adquire informações em uma área de conhecimento completamente nova para ele, assim a aprendizagem mecânica ocorre até que alguns elementos de conhecimento existam na estrutura cognitiva e possam servir de subsunçores (MOREIRA, 2015). Ainda, Ausubel propõe o uso de organizadores prévios como estratégia para contornar a falta de subsunçores.

Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material principal, tem o objetivo de preencher uma lacuna existente entre o que o aprendiz sabe e o que ele precisa saber, ou seja, servem como “pontes cognitivas” entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, de modo que o conhecimento seja construído de forma significativa. A sequência didática trabalha com uma sequência de vídeos introdutórios. Pensou-se que o uso desta sequência de vídeos seria o equivalente ao uso de organizadores prévios, pois abordam o conteúdo de maneira ampla e contextualizada (sem abordar a explicação do fenômeno), fugindo da maneira local que, em geral, os alunos envolvidos no trabalho pensam.

Na aprendizagem significativa, o novo conhecimento deve estar ancorado no conhecimento prévio já existente na estrutura cognitiva, esta é a essência da teoria, contudo, para a aprendizagem acontecer, Ausubel (1980) considera duas condições necessárias, uma delas é que o aprendiz tenha pré-disposição para aprender e a outra que o material instrucional seja potencialmente significativo. Ainda, segundo Moreira (2015) deve-se considerar que

[...] o material a ser aprendido seja relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não arbitrária e não literal. Um material com estas características é dito *potencialmente* significativo. Esta condição implica não só que o material seja suficientemente não arbitrário em si, de modo que possa ser aprendido, mas também que o aprendiz tenha disponível em sua estrutura cognitiva subsunçores adequados (MOREIRA, 2015, p 156).

O processo no qual a nova informação adquire significado quando interage com os subsunçores, que temos descrito até o momento, recebe o nome de aprendizagem subordinada, pois reflete uma relação de subordinação do novo material à estrutura cognitiva preexistente no aprendiz.

A aprendizagem superordenada, segundo Machado *et al.* (2006) e Moreira (2015), ocorre de forma diferente da subordinada. Esta não necessita que um

novo conceito seja assimilado por outros já existentes na estrutura do aprendiz. Ela acontece quando conceitos subsunçores, já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo, interagem entre si para gerar com outro conceito mais abrangente.

Ainda o terceiro processo é a aprendizagem combinatória, trata-se da aprendizagem de preposições e em menor escala, de conceitos, no qual não existe nenhuma relação de subordinação ou superordenação com conceitos específicos da estrutura cognitiva do aluno, mas sim, com um conteúdo mais extenso, relevante de maneira geral. É uma aprendizagem significativa, pois a preposição não se relaciona simplesmente com elementos específicos, mas com a estrutura propriamente dita.

A teoria considera dois importantes processos que surgem durante o processo de aprendizagem: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

A diferenciação progressiva é observada quando um subsunçor já presente na estrutura cognitiva se modifica em função da introdução de uma nova informação, que também se alterou e recebeu um novo significado. Normalmente, esse processo está presente na aprendizagem significativa subordinada (DARROZ, 2010).

Segundo Machado *et al.* (2006), o processo denominado reconciliação integrativa, é quando ideais presentes na estrutura cognitiva do indivíduo são reconhecidas como relacionadas; conceitos e preposições já existentes na estrutura cognitiva podem ser reorganizadas e adquirir significados.

## 2.2 Sequência Didática

Na grande maioria das escolas, a aprendizagem ocorre de forma mecânica sendo que o professor apresenta os conhecimentos que supostamente os alunos devem saber. Os alunos copiam ou tiram fotos das informações a serem estudadas e memorizadas para, posteriormente, serem reproduzidas nas avaliações e logo após serem esquecidas (MOREIRA, 2012).

Assim, como opção de material instrucional com potencial significativo, voltado a uma aprendizagem significativa, foi criada uma sequência didática como produto educacional, o mesmo acompanha esta dissertação e contempla a exigência do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNEPF).

A sequência didática surgiu na França, no início da década de 80, e buscava melhorar o ensino da língua materna, deixando o ensino integrado; interconectado. Essa nova proposta procurava mudar o ensino de francês que na época era fragmentado e que trabalhava de forma separada, sem conexões, a ortografia, a sintaxe e cada categoria da gramática (OLIVEIRA, 2013).

Ainda, Oliveira (2013) define sequência didática como “um procedimento simples que compreende um conjunto de atividades conectadas entre si, e prescinde de um planejamento para delimitação de cada etapa e/ou atividade para trabalhar os conteúdos de forma integrada para uma melhor dinâmica no processo ensino-aprendizagem.”

Para Zabala (1997), uma sequência didática é o conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que tem um princípio e um fim conhecidos tanto por professores como pelos alunos.

As concepções de Zabala (1997) e Oliveira (2013), mostram que uma sequência didática deve ser desenvolvida na perspectiva do ensino de conteúdos através de atividades sequenciadas, organizadas com objetivos bem definidos e esclarecidos tanto para professor quanto para alunos, e que contribuam para a aprendizagem e construção do conhecimento e de novos saberes (BATISTA, *et al.*, 2016).

O material desenvolvido no decorrer desta dissertação vai ao encontro do comentado acima, uma vez que o produto educacional aborda o fenômeno efeito estufa e o aquecimento global em textos e vídeos. No início da sequência de

conteúdos contextualiza os fenômenos para os alunos, aprofunda o estudo no decorrer das aulas, para no final deixar clara a diferença entre ambos.

A proposta elaborada apresenta os fenômenos de efeito estufa e aquecimento global de forma geral, para então abordar fenômenos físicos específicos envolvidos no primeiro como: transmissão de calor e absorção de energia pela matéria. Estes fenômenos são desenvolvidos em uma sequência que se encaminha ao estudo do efeito estufa, para no final, consolidar o consenso de que o aumento desse efeito gera aquecimento global, visando à diferenciação progressiva e à reconciliação integradora, mostradas na teoria da aprendizagem significativa.

Para tal, fez-se necessário definir alguns conceitos físicos que estão diretamente relacionados ao estudo do efeito estufa e aquecimento global. Na sequência referenciam-se tais conceitos.

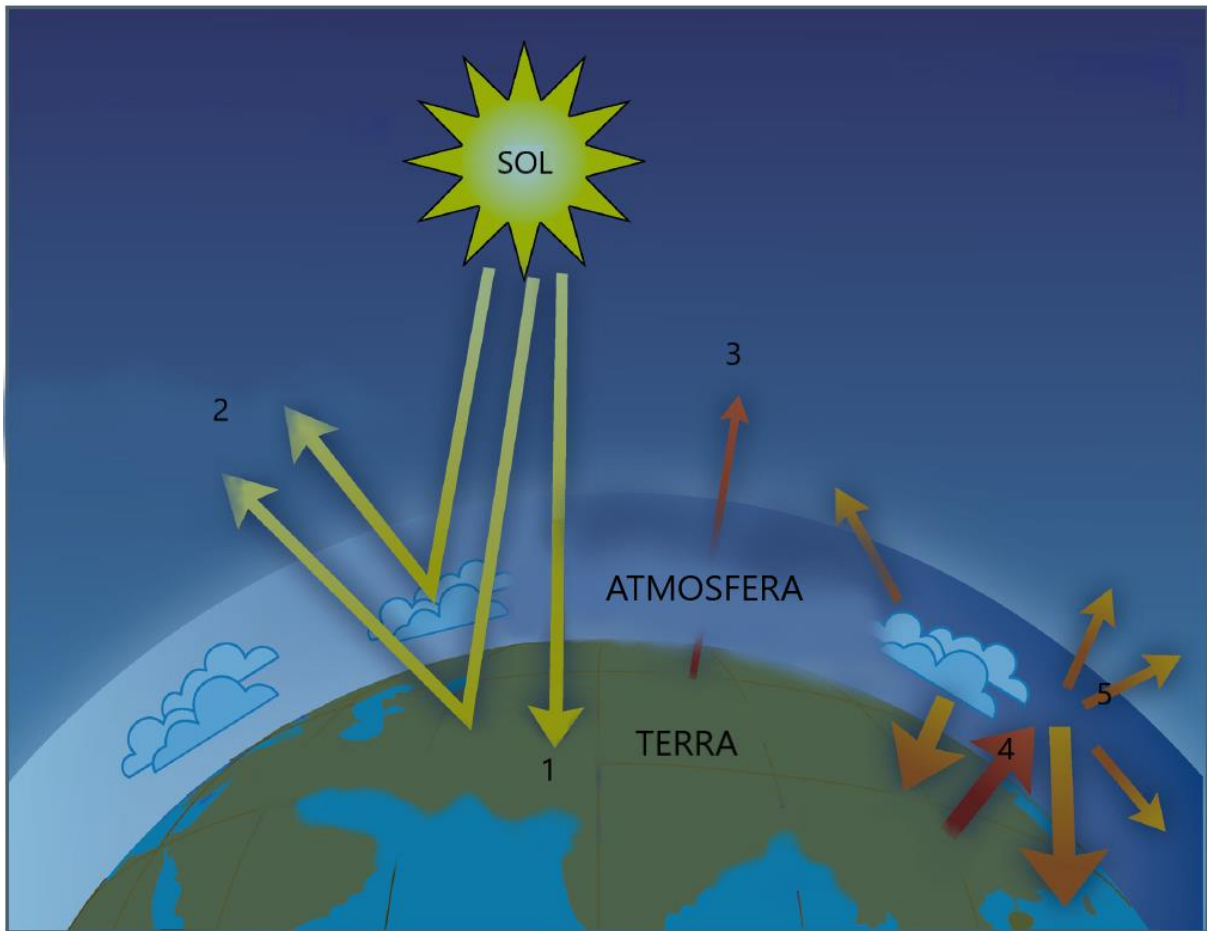
### 2.3 Efeito estufa

O efeito estufa é o fenômeno que manteve a temperatura média da Terra bem maior durante bilhões de anos, tornando possível a evolução da vida como a conhecemos (ACS, 2016). Devido a esse fenômeno, a temperatura da Terra é, em média, 30°C maior do que seria na ausência do efeito estufa. As trocas de energia entre a superfície e atmosfera mantêm as atuais condições, que proporcionam uma temperatura média global, próxima à superfície, de 14°C (SILVA *et al.*, 2009).

O Sol é a principal fonte de energia terrestre, alimentando assim, o clima da Terra. O mesmo irradia energia em comprimentos de onda muito curtos, predominantemente na parte visível ou quase visível do espectro de luz (por exemplo, ultravioleta). Cerca de um terço da energia solar que atinge o topo da atmosfera da Terra é refletida diretamente de volta ao espaço. Os dois terços restantes são absorvidos pela superfície e, em menor escala, pela atmosfera. Para equilibrar a energia absorvida, a Terra, em média, irradia a mesma quantidade de energia de volta para o espaço. Como a Terra é muito mais fria que o Sol, ela irradia em comprimentos de onda muito maiores, principalmente na parte infravermelha do espectro eletromagnético (IPCC, 2013).

A Figura 1 ilustra como a atmosfera, através de alguns gases de efeito estufa, mantém a Terra mais quente do que seria sem eles. A energia irradiada pelo Sol é mostrada à esquerda, onde pode-se ver que parte da energia solar é refletida, em grande parte pelas nuvens na atmosfera, gelo e neve na superfície, também mostra que cerca da metade da radiação solar é absorvida e aquece a superfície da Terra. No centro é mostrada a porção de radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre que consegue passar sem interagir pela atmosfera chegando ao espaço. À direita, a quantidade de radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre que é absorvida pelos gases de efeito estufa e nuvens, e que na sequência é reemitida para todas as direções, inclusive de volta à superfície terrestre (PINA *et al.*, 2011). Essa capacidade de absorver e reemitir a radiação infravermelha é o requisito crítico para os gases de efeito estufa.

Figura1: Um modelo ideal do efeito estufa natural



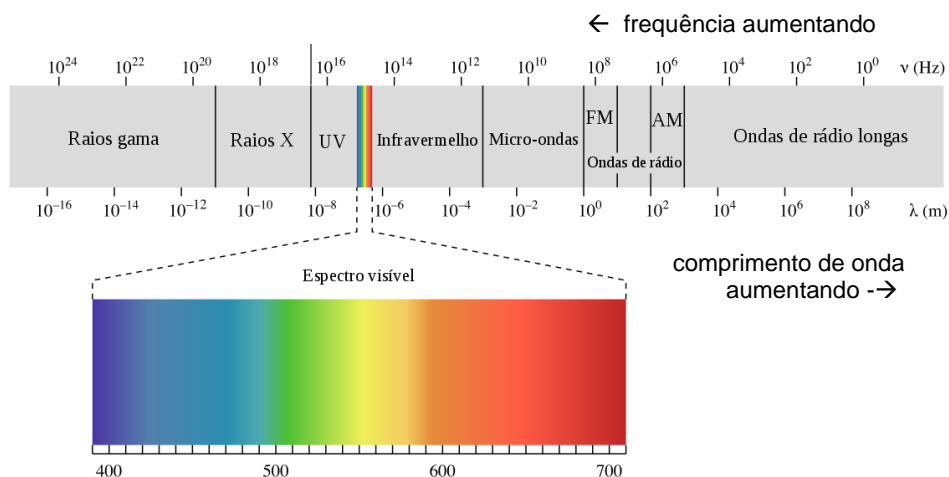
Fonte: < [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html) > (Adaptado)  
 Legenda: A flecha 1 mostra a radiação solar que chega a Terra e é absorvida pela superfície; a flecha 2 mostra a radiação solar que é refletida pela superfície e nuvens; a flecha 3 mostra a porção de radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre e que passa direta para o espaço; a flecha 4 simboliza a radiação que é absorvida pelas nuvens e pelos gases de efeito estufa na atmosfera; a flecha 5 mostra que a radiação infravermelha é reemitida pelos gases de efeito estufa para todas as direções, inclusive de volta a superfície terrestre.

Como a radiação infravermelha é refletida em todas as direções, ela acaba regressando à superfície terrestre, disso, pode-se concluir que alguns gases da atmosfera (gases de efeito estufa) funcionam como isolantes para esse tipo de radiação, analogamente podemos pensar nas cobertas que usamos para dormir no inverno, o nosso corpo emite radiação infravermelha que tem dificuldade de passar pela coberta, e grande parcela da radiação acaba isolada entre nosso corpo e a coberta, desse modo a temperatura abaixo da coberta é maior à temperatura do quarto.

Para facilitar a compreensão do efeito estufa, cabe ressaltar alguns conceitos físicos. Primeiro, todo corpo acima da temperatura absoluta<sup>2</sup> emite radiações na forma de ondas eletromagnéticas (Figura 2). O Sol, devido à diferença de temperatura, tem um espectro de emissão diferente do espectro de emissão da Terra, esta diferença é vista na Figura 3. Na figura 3, evidencia-se que a temperatura influencia na intensidade de radiação, faz também com que diferentes tipos de ondas sejam emitidos diferentes comprimentos de onda. Essa relação pode ser calculada segundo duas leis físicas, as Leis de Wien e Stefan-Boltzmann.

Calculando-se (pela Lei de Wien) o comprimento de onda para o pico máximo de intensidade de radiação para o Sol à temperatura de 6.000 K, encontra-se o valor de aproximadamente 0,5  $\mu\text{m}$  de comprimento de onda e ainda que o espectro de luz visível está compreendido entre a faixa 0,4  $\mu\text{m}$  e 0,7  $\mu\text{m}$  de comprimento de onda. O mesmo cálculo para a Terra, usando como temperatura o valor de 288 K, verifica-se que o comprimento de onda para o pico máximo de intensidade de radiação e o valor obtido é de aproximadamente 9,66  $\mu\text{m}$ , valor compreendido na faixa do infravermelho de 0,7  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$  de comprimento de onda (LUTGENS; TARBUCK, 2013).

Figura 2: Espectro Eletromagnético



Fonte: Wikimedia Commons (Adaptada)

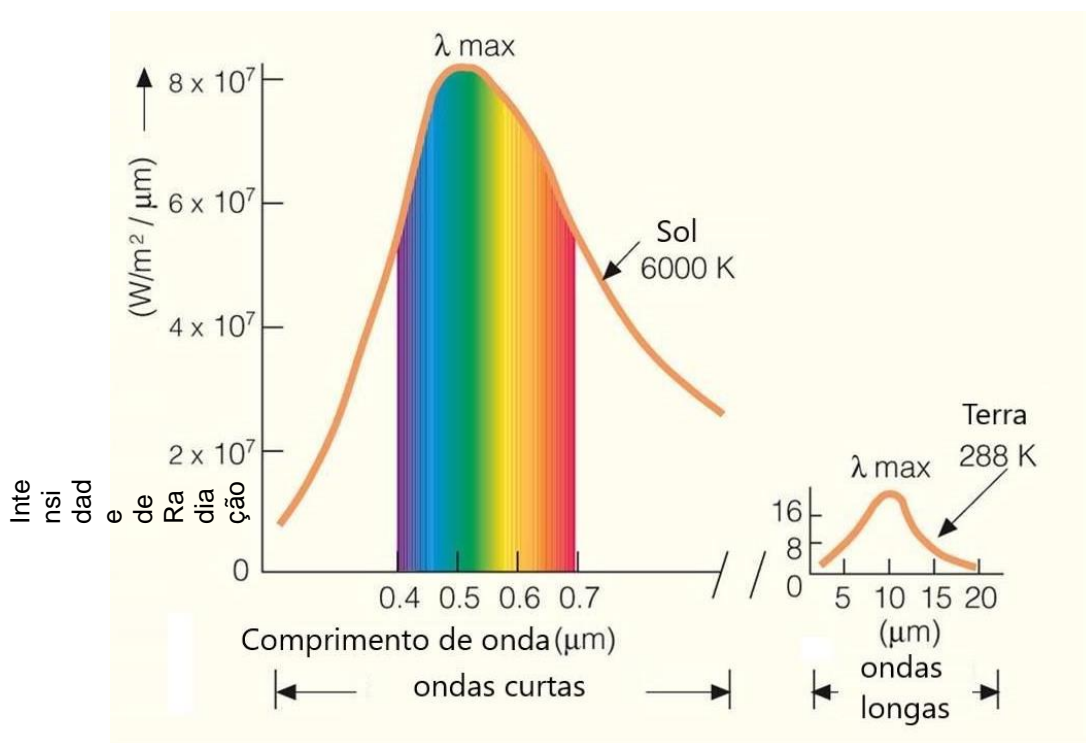
<sup>2</sup> Temperatura absoluta é considerada quando um corpo atinge a marca de zero Kelvin (0 K), o equivalente a  $-273$  °C. Nesta temperatura, teoricamente, não há agitação de átomos neste corpo.



Uma vez observada a diferença entre as ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol (luz visível) e emitidas pela Terra (infravermelha), através de seus comprimentos de onda, o próximo passo é entender porque há mais interação da radiação infravermelha com alguns gases da atmosfera se comparado à radiação solar.

Os gases do efeito estufa absorvem radiação infravermelha em diferentes comprimentos de onda, para o espectro de radiação da Terra, e o gás que mais absorve é o  $\text{CO}_2$ , conforme Figura 4, isso porque o modo que sua molécula está distribuída faz com que absorva a radiação infravermelha principalmente perto de  $10 \mu\text{m}$ .

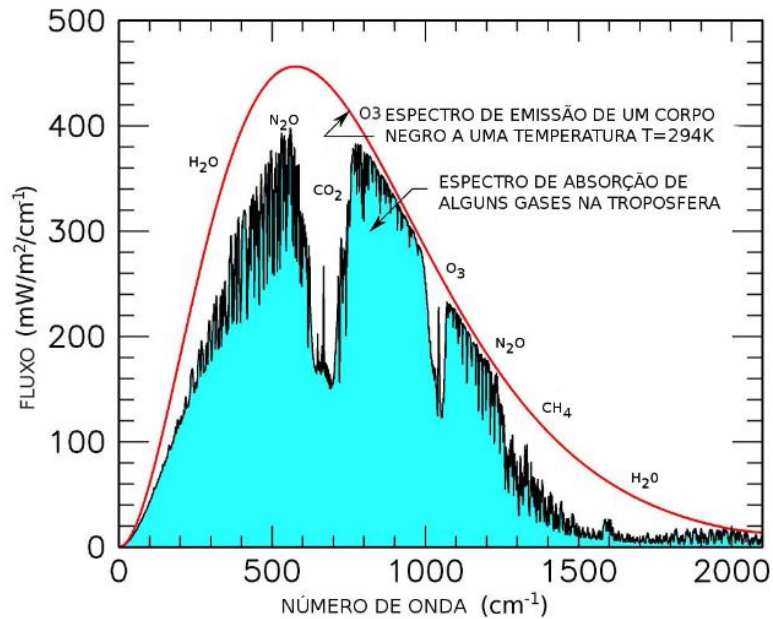
Figura 3: Comparação entre os espectros de radiação do Sol e da Terra



Fonte: Tolentino, 1998. (Adaptado)

Legenda: Os espectros são de corpos negros a temperaturas médias do Sol e da Terra.

Figura 4: Espectro do fluxo de radiação no topo da atmosfera da Terra

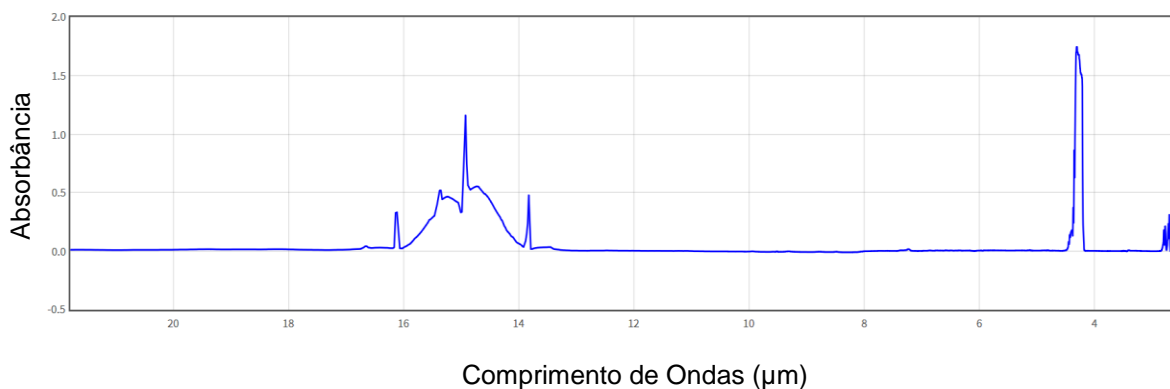


Fonte: <[https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/schmidt\\_05/](https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/schmidt_05/)> (Adaptado)

Legenda: A curva azul mostra o espectro do fluxo de radiação no topo da atmosfera da Terra, mostrando a absorção de diferentes gases de efeito estufa. A linha vermelha mostra o fluxo de radiação para um corpo negro com temperatura de 294 K.

A Figura 5 apresenta o espectro de absorção da molécula de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) pelo comprimento de onda. Na figura, observa-se que as linhas de absorção mais proeminentes são nos comprimentos de ondas de 4  $\mu\text{m}$  e 15  $\mu\text{m}$  aproximadamente (HANSEN *et al.*, 1981). Isso indica que o dióxido de carbono absorve, principalmente, radiação infravermelha, que é a radiação emitida pela superfície terrestre para o espaço.

Figura 5: Representação das bandas de absorbância do dióxido de carbono



Fonte: <<https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C124389&Type=IR-SPEC&Index=1#IR-SPEC>> (Adaptado)

Quando se incide radiação sobre moléculas, nota-se que cada tipo de molécula e átomo absorve, ou não, radiação em determinados comprimentos de onda em forma de linhas de absorção, como na Figura 5 (CRETON, 2010). Esta técnica conhecida como espectroscopia é largamente utilizada para identificar compostos químicos como na determinação de elementos químicos das estrelas (KEPLER, 2017).

Para entender a origem das bandas de absorção do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), devemos olhar como esta molécula interage com a radiação. A radiação infravermelha ( $\lambda = 0,7 \mu\text{m}$  a  $1000 \mu\text{m}$ ) “não tem energia suficiente para provocar excitação dos elétrons, mas faz com que os átomos, ou grupos de átomos, vibrem com maior rapidez e com maior amplitude em torno das ligações covalentes que os unem”. Ela pode induzir a deformações nas moléculas que geram assimetrias e, por consequência, cria momentaneamente dipolos eletromagnéticos<sup>3</sup>, como mostra a Figura 6 para o ( $\text{CO}_2$ ) (SILVA *et al.*, 2009).

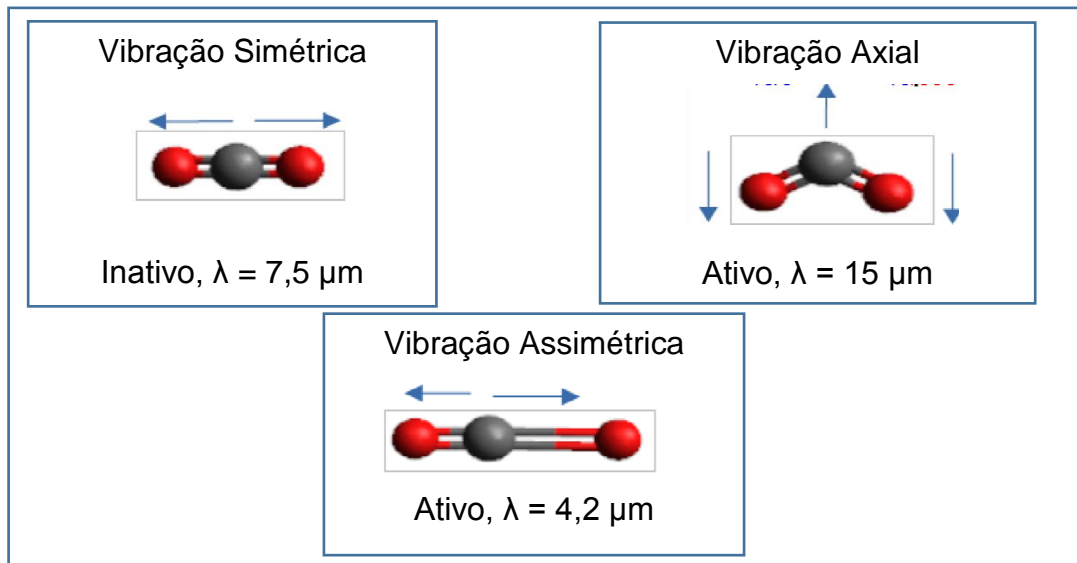
A Figura 6 apresenta o modo simétrico da molécula quando é alternadamente esticada e comprimida, não criando dipolos eletromagnéticos, sendo assim, “inativo no infravermelho”. Contudo, caso a molécula vibre no modo assimétrico ou ainda modo axial, a vibração é “ativa no infravermelho”, pois ocorre uma alteração periódica do momento dipolar da molécula (JOS *et. al.*, 2007). Para observar estes movimentos, o produto educacional trabalhará um simulador educacional<sup>4</sup>, este simula a interação entre diversas faixas de radiação e moléculas de gases do efeito estufa.

---

<sup>3</sup>Dipolo eletromagnético pode ser entendido como uma separação das cargas positivas e negativas da molécula. Uma molécula apresenta dipolo eletromagnético se nela existirem duas cargas  $q$  e  $-q$  separadas por uma distância  $l$ . Ou seja, as moléculas possuem ligações com átomos diferentes, moléculas polares.

<sup>4</sup>[https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html)

Figura 6: Representação dos modos de vibração do dióxido de carbono



Fonte: O autor

A interação descrita pela espectroscopia de radiação infravermelha para moléculas de dióxido de carbono, é a explicação do porquê este gás é chamado de gás de efeito estufa. Para os demais gases de efeito estufa, a explicação é similar, com a diferença que cada gás irá absorver ou interagir com diferentes comprimentos de ondas (CRETON, 2010).

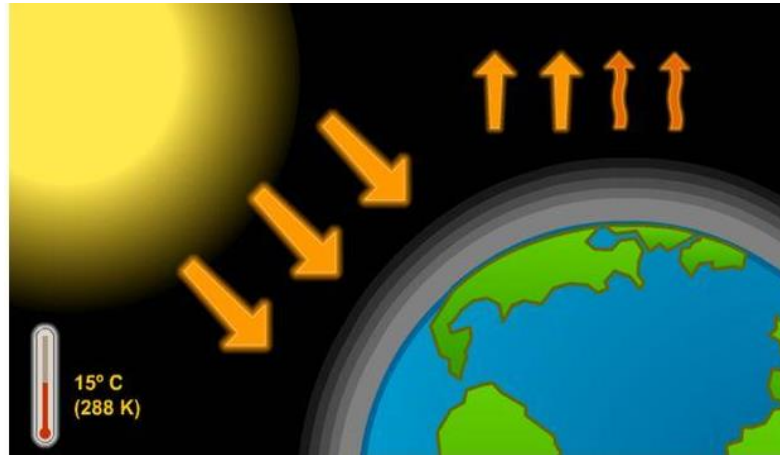
## 2.4 Aquecimento global

O Sol é nossa estrela e maior fonte de energia, alimentando assim, o clima na Terra. Estima-se que a luminosidade do sol é da ordem de  $10^{26}$  Watts, equivalente a  $10^{23}$  erg/s. A produção de petróleo na Terra é 10 milhões de vezes menor que a quantidade de energia proveniente do Sol. Cada metro iluminado da Terra recebe do Sol uma potência de 1.360Watts, uma potência equivalente à quatorze lâmpadas de 100 W/m<sup>2</sup> (CRETON, 2010).

Assumindo que o Sol é principal fonte de energia da Terra, como historicamente o fez Jean Baptiste Fourier (1768-1830), pode-se raciocinar que a quantidade de energia que a Terra absorve proveniente do Sol é a mesma quantidade de energia que a Terra emite de volta para o espaço (Figura 7),

mantendo assim um equilíbrio energético, e por sua vez mantendo uma temperatura média planetária<sup>5</sup>. (PIERREHUMBERT, 2004).

Figura 7: Representação do balanço energético da Terra



Fonte: O autor

A esse processo de absorção e emissão de energia pela Terra, dá-se o nome de Balanço Energético da Terra. Como visto anteriormente, um terço da energia solar é refletida ao chegar ao topo da atmosfera terrestre, a restante é absorvida pela Terra e reemitida em forma de radiação infravermelha. Assim, para a Terra manter uma temperatura média aproximadamente constante, deve existir um equilíbrio entre a energia que entra na atmosfera e a energia que sai, a taxa de entrada de energia absorvida é a mesma que a emitida (HOUGHTON, 2004).

Caso haja um desequilíbrio entre o balanço de energia, a temperatura também mudará. Se a quantidade de energia que entra na Terra for maior que a quantidade de energia emitida para o espaço, a Terra aumentará a temperatura. Se a quantidade de energia absorvida pela Terra for menor que a quantidade de energia emitida, a temperatura terrestre diminuirá.

Le Treut *et al.* (2007) cita três maneiras fundamentais de mudar o balanço de energia da Terra, (1) mudando a radiação que entra na Terra (ex.: mudando a órbita terrestre), (2) mudando o albedo da Terra (ex.: mudando a superfície terrestre, como a vegetação) e (3) mudando a quantidade de radiação emitida pela Terra para o espaço (ex.: mudando a concentração de gases de efeito estufa).

<sup>5</sup> O cálculo da temperatura planetária é mostrado no APÊNDICE B.

Enquanto o *Cámbio Climático 2014 Informe de Sínteses* do IPCC define o aquecimento global como: “Denota o aumento gradual, observado e projetado, da temperatura global na superfície, como uma das consequências da forçante radiativa provocada por emissões antropogênicas.” (IPCC, 2014, p. 129, tradução nossa)<sup>6</sup>. Esse conceito do aquecimento global leva em consideração uma forçante radiativa, relacionada a terceira maneira de mudar o balanço de energia da Terra citada acima por Le Treaut (2007). Mais especificamente, o conceito abordado acima diz que o aquecimento global é uma das consequências de emissões de gases que aumentam o efeito estufa, porque aumenta a dificuldade de a radiação infravermelha sair da atmosfera, por conseguinte aumentando a temperatura média terrestre. (HANSEN *et al.*, 2000; HOUGHTON 2004).

Na sequência didática abordam-se as forçantes radiativas relacionadas às três maneiras de mudar o balanço de energia da Terra.

#### 2.4.1 Forçantes Radiativas

Agentes climáticos é o nome dado aos diversos fatores que controlam o clima, esses podem ser naturais ou originados de atividades humanas (antrópicos). Os gases de efeito estufa são agentes climáticos positivos, que podem contribuir para aquecer o planeta, enquanto as nuvens (geralmente negativo) são outro agente que podem tentar resfriá-lo. Cada agente é responsável pela contribuição nas variações de temperatura na superfície do planeta, desse modo, é conveniente quantificar a contribuição dos agentes climáticos, se necessário agir na mitigação de algum deles (PBMC, 2014).

Assim, a quantização (ou estimativas) destes agentes climáticos, usados em ferramentas de modelagem do clima (devem ser dados confiáveis e consistentes) são conhecidas com forçantes radiativas. No quarto relatório de avaliação, o IPCC define forçante radiativa como:

“[...] é definida como a diferença em irradiância líquida na tropopausa, entre um estado de referência e um estado perturbado devido ao agente climático. As temperaturas de superfície e da troposfera são mantidas fixas, mas permite-se que a estratosfera

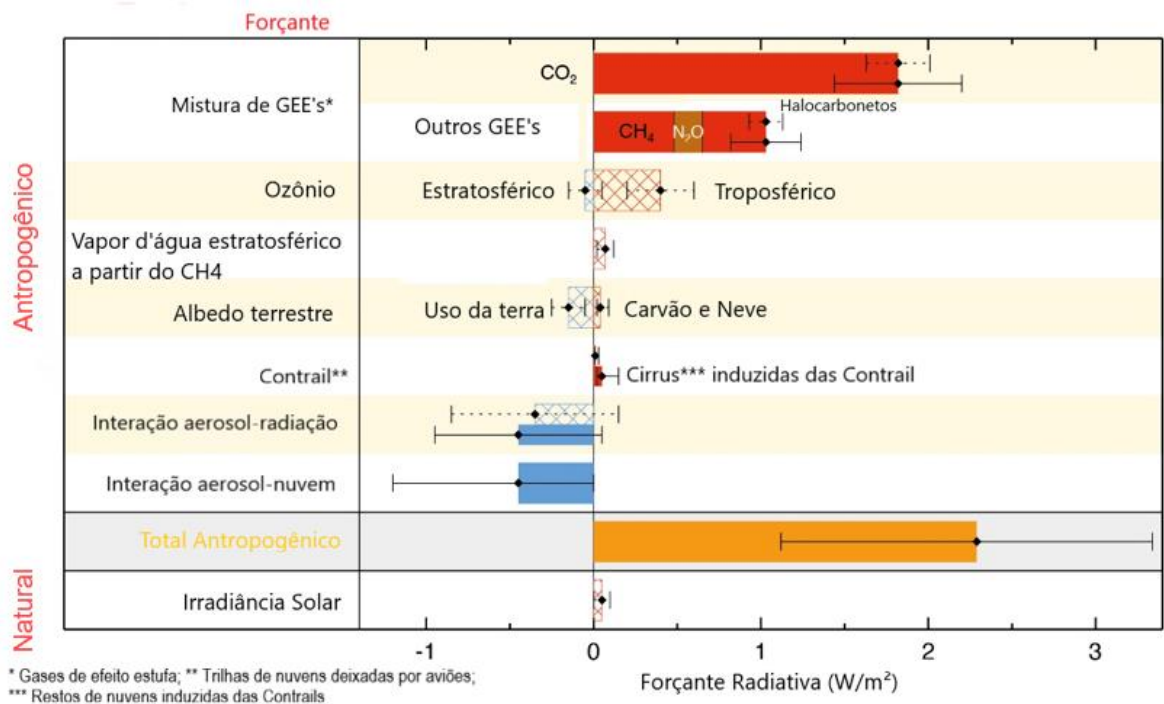
---

<sup>6</sup>“Denota el aumento gradual, observado o proyectado, de la temperatura global en superficie, como una de las consecuencias del forzamiento radiativo provocado por las emisiones antropógenas”

atinja o equilíbrio radiativo. O estado de referência pode ser a ausência do agente climático, ou seu impacto em uma dada situação ou época, como, por exemplo, no início da Revolução Industrial (ca. 1750) adotado pelo IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change* (PBMC, 2014, p. 239; SENA, 2013, p. 19).

Ainda, Myhre *et al.*, (2013), apresenta de forma clara no gráfico (Figura 8) a influência de cada forçante radiativa no clima terrestre. A partir desses dados e verificando o *site online National Aeronautics and Space Administration* da (NASA) no que tange à mudança climática e aquecimento global, decidiu-se, nesse trabalho, tratar das forçantes radiativas mais relevantes, sendo elas: o Sol, gases de efeito estufa, albedo e, ainda, os Ciclos de Minkovisk que é uma forçante radiativa de longo ciclo, devido a isso não aparece Figura 8.

Figura 8: Forçantes radiativas do clima entre 1750 e 2011



Fonte: Climate Change 2013 - The Physical Science Basis (Adaptado)

#### 2.4.2 Gases de Efeito estufa

Apesar de serem pouco substanciais na composição da atmosfera, os chamados gases de efeito estufa desempenham um papel crucial na

termodinâmica da atmosfera, uma vez que eles aprisionam radiação emitida pela Terra, produzindo assim o efeito estufa. (BARRY *et al.*, 2013)

No clima da Terra a forçante radiativa predominante na era industrial é o aumento da concentração na atmosfera dos gases de efeito estufa (HANSEN *et al.*, 1988; IPCC, 2014). A maioria dos principais gases do efeito estufa são produzidos de modo natural, contudo a atividade humana é a responsável pelo aumento da concentração desses gases na atmosfera, principalmente nas últimas duas décadas, além de serem unicamente de origem industrial.

A mudança na concentração atmosférica durante um determinado período de tempo e a efetividade de um gás para mudar o equilíbrio radiativo, são o modo de verificar o aporte de cada gás de efeito estufa ao forçamento radiativo nesse período de tempo.

Segundo o *Informe de Sínteses – Câmbio Climático* (IPCC, 2014), a eficácia radiativa de um gás é a reflexão da grande diversidade de suas propriedades e origens.

Quanto à vida dos gases, pode-se classificar em dois grupos: os gases de longa vida e os gases de curta vida. Os gases de efeito estufa de longa vida, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) são quimicamente estáveis, e se misturam muito mais rápido à atmosfera do que o tempo que levam para serem eliminados da mesma, permanecendo na atmosfera por longo período, influenciando, assim, o clima por décadas, até séculos. O dióxido de carbono tem um ciclo contínuo com a atmosfera, oceanos e a biosfera terrestre, deste modo sua eliminação total envolve uma série de processo com escalas diferentes de tempo, por isso não tem um período específico de vida (IPCC, 2007; ACS, 2016).

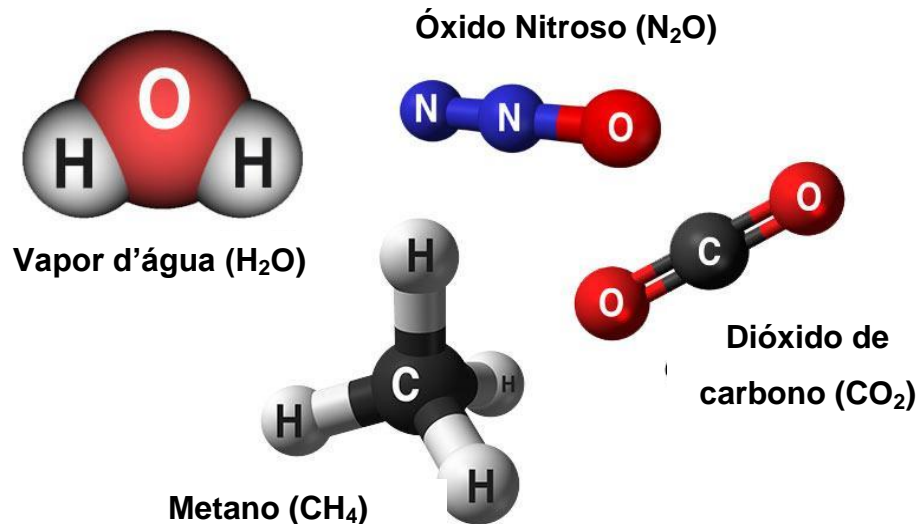
Diferentemente dos gases de longa vida, o monóxido de carbono e o dióxido de enxofre são exemplos de gases de vida curta, quimicamente reativos e não sofrem processos naturais de oxidações, ou são eliminados para a superfície por precipitações. Deste modo, suas concentrações são muito variáveis. O ozônio é outro conhecido gás de vida curta que influencia no efeito estufa, este gás é formado e destruído na atmosfera devido a reações químicas, gerando assim outros gases. O ser humano influencia na criação de ozônio na troposfera devido a geração de gases que são os precursores da formação do ozônio, já na estratosfera as taxas de eliminação do ozônio são influenciadas pelo ser humano



devido ao uso de clorofluorcarbonetos (CFC's) e outras substâncias que reagem e eliminam o ozônio (IPCC, 2007).

Os gases que mais influenciam no efeito estufa e que são comentados no produto educacional, estão descritos abaixo (Figura 9):

Figura 9: Gases que contribuem para o efeito estufa



Fonte: <<https://climate.nasa.gov/causes/>> (Adaptado)

O dióxido de carbono ( $CO_2$ ) constitui aproximadamente 0,035 % dos gases da atmosfera, contudo é muito importante porque é o gás de efeito estufa que mais interage com as ondas infravermelhas geradas pela Terra, devido ao seu tamanho. É liberado para a atmosfera a partir do interior da Terra e produzido pela respiração da biota, micróbios do solo, evaporação oceânica (BARRY *et al.*, 2013), erupções vulcânicas e através de atividades humanas como desflorestamento, mudanças no uso do solo e queima de combustíveis fósseis. O desequilíbrio entre as emissões e a absorção pelos oceanos e biosfera terrestre leva ao aumento líquido observado na atmosfera. As atividades humanas aumentaram em 30% a concentração de  $CO_2$  na atmosfera desde o começo da Revolução Industrial, devido a isso, o dióxido de carbono é o gás de efeito estufa de longa vida mais importante no clima da Terra (PBMC, 2014).

Vapor de água é o mais abundante dos gases de efeito estufa na atmosfera da Terra, sendo importante porque ele trabalha como *feedback*<sup>7</sup> para o clima, uma vez que à medida que a temperatura da Terra aumenta, a quantidade de vapor de água atmosfera da Terra também aumenta, fazendo disso alguns importantes mecanismos de *feedback* para o efeito estufa, aumentando assim a quantidade de nuvens e precipitações, deste modo aumenta a interação das ondas eletromagnéticas com a atmosfera, influenciando no efeito estufa. (NASA, 2019). O vapor de água é o principal gás do efeito estufa, é um componente atmosférico vital. Sua média é de 1% em volume, mas ele é muito variável no espaço e no tempo. (BARRY *et al.*, 2013).

Produzido tanto por fontes naturais quanto por atividades humanas, o metano (CH<sub>4</sub>) é um gás hidrocarboneto. O metano é produzido principalmente por meio de processos anaeróbicos em áreas úmidas naturais e plantações de arroz (juntas, por volta de 40% do total), decomposição de aterros, queima de biomassa e na pecuária devido a fermentação entérica em animais, pelo manejo do esterco de criação de gado. Quase dois terços da produção total estão relacionados com a atividade antropogênica (BARRY *et al.*, 2013; NASA, 2019). O metano é um gás de efeito estufa muito mais ativo que o dióxido de carbono devido a região do infravermelho ao qual este interage, contudo é muito menos abundante na atmosfera.

O gás hidrocarboneto produzido tanto por fontes naturais quanto por atividades humanas, incluindo a decomposição de resíduos em aterros, agricultura e, especialmente, o cultivo de arroz, bem como a digestão de ruminantes e manejo de esterco associado ao gado doméstico. Comparando ambas concepções moleculares, o metano é um gás de efeito estufa muito mais ativo do que o dióxido de carbono, mas também é menos abundante na atmosfera (NASA, 2019). Eles têm vidas de poucos anos, cerca de 7 anos na atmosfera, mas ainda assim causam um impacto substancial no efeito estufa (BARRY *et al.*, 2013).

---

<sup>7</sup> [...] Ao considerar escalas temporais de décadas ou mais, deve-se pensar nas *forçantes* climáticas e nos *feedbacks* correspondentes. Os fatores forçantes representam perturbações impostas sobre o sistema global, e são definidos como positivos quando induzem um aumento de temperatura média global na superfície, e negativos quando induzem um a redução [...] A magnitude da resposta da temperatura global à forçante depende dos *feedbacks*. Os *feedbacks* positivos amplificam a mudança de temperatura, enquanto os *feedbacks* negativos reduzem a mudança. (BARRY *et al.*, 2013 p. 430)

Outro poderoso gás de efeito estufa é o óxido nitroso. O gás é produzido em sua maioria de maneira antrópica, pela combustão de combustíveis fósseis, pelas práticas de cultivo do solo, como o uso de fertilizantes nitrogenados comerciais e orgânicos, produção de ácido nítrico e queima de biomassa. Ele é destruído por reações fotoquímicas na estratosfera, envolvendo a produção de óxidos nitrogenados ( $\text{NO}_x$ ) (HOUGHTON, 2004).

Os clorofluorcarbonetos (CFC's) embora sejam conhecidos por contribuir para a destruição da camada de ozônio, também são gases de efeito estufa. É um composto sintético de origem industrial, usado em muitas aplicações, contudo, atualmente está regulada sua produção e liberação no meio ambiente devido ao efeito causado na camada de ozônio (PBMC, 2014; HOUGHTON, 2004). As moléculas de CFC ascendem até a estratosfera, se dirigem aos polos, sendo decompostas por processos fotoquímicos em cloro, tendo um período médio de aproximadamente 65-130 anos (BARRY *et al.*, 2013).

#### 2.4.3 Albedo

O albedo é a radiação solar refletida pela Terra de volta ao espaço, e depende das propriedades refletoras da superfície terrestre. A parcela de radiação devolvida é, portanto, maior nos polos (onde a presença de grandes massas de gelo aumenta a refletividade) e menor no equador (VENDITTI, 2013).

Ainda, corroborando a definição acima, pode-se citar o informe *Câmbio Climático 2014 Informe de Síntesis* no qual define-se o albedo como:

“Fração de radiação solar refletida por uma superfície ou objeto, frequentemente expressa em termos percentuais. O albedo dos solos pode adotar valores altos, como nas superfícies cobertas de neve, ou baixos, como nas superfícies cobertas de vegetação e oceanos. O albedo planetário da Terra varia principalmente em função da nebulosidade, da neve, do gelo, da superfície foliar e cobertura do solo.” (IPCC, 2014, p. 128, tradução nossa)<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> “Fracción de radiación solar reflejada por una superficie u objeto, frecuentemente expresada en términos porcentuales. El albedo de los suelos puede adoptar valores altos, como en las superficies cubiertas de nieve, o bajos, como en las superficies cubiertas de vegetación y los océanos. El albedo planetario de la Tierra varía principalmente en función de la nubosidad, de la nieve, del hielo, de la superficie foliar y de la cubierta terrestre.”

O albedo, assim como o vapor de água, são importantes *feedbacks* do equilíbrio do clima terrestre, atua como uma forçante negativa impedindo a interação da radiação com a superfície. Os valores do albedo terrestre são estimados por meio de medidas da refletância feita por sensores (exemplo o MODIS da NASA) em satélites como os satélites Terra e Aqua. Um modelo matemático é usado para calcular o albedo terrestre a partir da amostra da refletância medida pelos satélites, uma vez que os satélites não conseguem medir toda a quantidade de radiação refletida (WANNER *et al.*, 1997; VEISSID *et. al*, 2000).

De modo simples, Kepler (2017, p. 137) define o albedo terrestre como a fração de radiação eletromagnética solar incidente na Terra ( $E_i$ ) pela radiação eletromagnética refletida para o espaço ( $E_r$ ), conforme apresentado na Equação 1.

$$\alpha = \frac{E_r}{E_i} \quad (\text{Equação.1})$$

Considera-se nesta definição, todo o espectro de radiação eletromagnética, mesmo que o espectro solar seja dominado pela radiação visível. Estima-se que o valor do albedo seja, aproximadamente, 0,30 (SILVA, 2015).

O albedo depende da refletividade do material no qual incide a radiação solar, ainda, o albedo da superfície muda segundo a ação humana na superfície terrestre. No Brasil o processo de longo prazo de urbanização das cidades, ou a conversão de florestas para a agropecuária na região amazônica a partir dos anos 70, resultaram em modificações do albedo. No caso do desflorestamento da Amazônia, a superfície escura como a floresta é substituída pelas mais brilhantes como plantações estradas, construções, etc., o que implica uma quantidade maior de radiação solar refletida de volta ao espaço (PBMC, 2014).

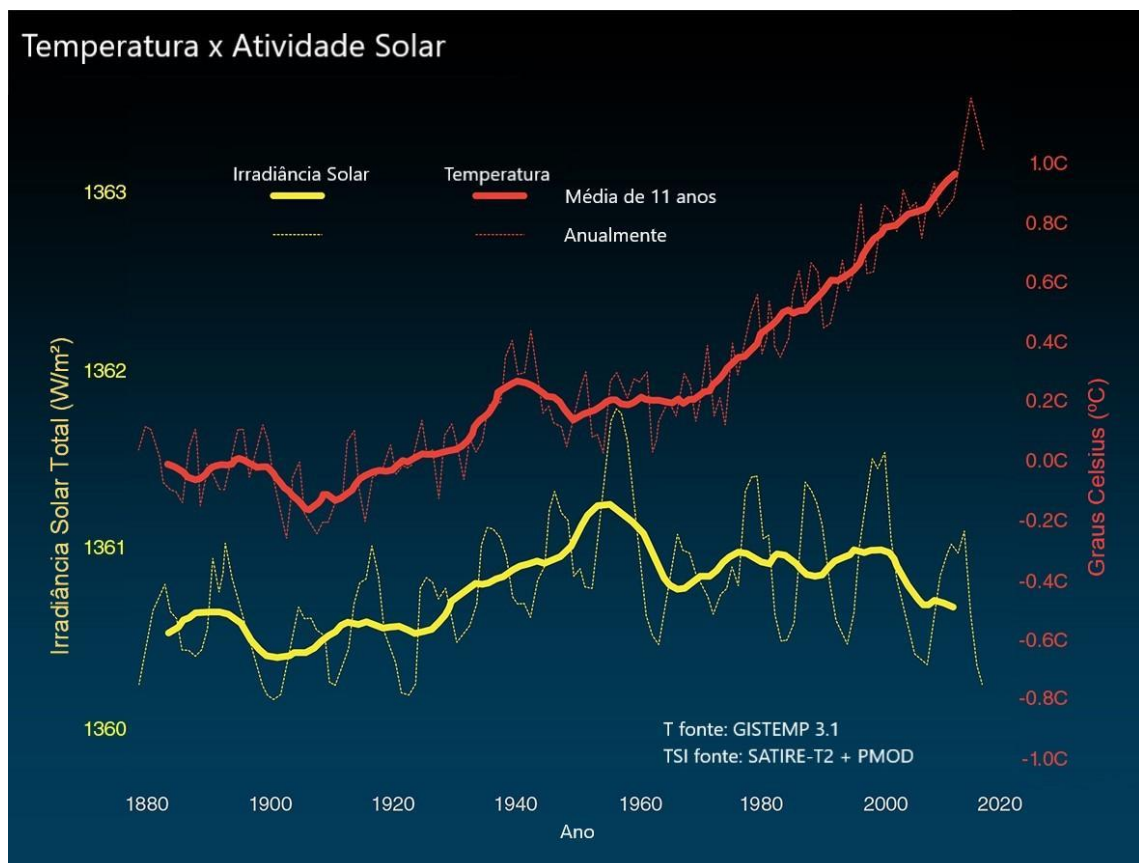
#### 2.4.4 Sol

O Sol é a fonte de quase toda a energia relacionada ao clima da Terra, deste modo, obviamente é uma forte influência no clima terrestre. Usokian (2005) mostra uma estreita relação entre temperatura e atividades solares quando compara o sol e o clima nos últimos 1150 anos. Contudo, após 1975, houve

aumento da temperatura enquanto a atividade solar permaneceu praticamente inalterada, levando a concluir que nos últimos 30 anos, o episódio recente de aquecimento terrestre deve ter outra causa, uma vez que a atividade solar (irradiância solar ultravioleta e o fluxo de raios cósmicos) não mostrou nenhuma tendência significativa.

De fato, a tendência de resfriamento do sol desde 1960 é indicada em várias medições independentes de atividade solar, enquanto que as temperaturas globais aumentaram. Durante o aquecimento global nos últimos 35 anos, sol e temperaturas globais têm andado em direções opostas (LOCKWOOD, 2008).

Figura 10: Temperatura global anual *versus* Irradiância



Fonte: <<https://climate.nasa.gov/causes/>> (Adaptado)

Legenda: Gráfico da temperatura global anual (linha vermelha suave) com a média de temperatura de 11 anos (linha vermelha forte) X Irradiância Solar Anual Total (linha amarela suave) com a média de irradiância de 11 anos (linha amarela forte).

Foster *et al.* (2011) usaram regressão linear múltipla para quantificar os efeitos da atividade solar, atividade vulcânica e *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), e os analisaram por separados nos dados da temperatura da superfície. Assim concluíram que a atividade solar teve um pequeno efeito de resfriamento em torno

de - 0,014 a - 0,023 °C por década, do ano de 1979 a 2010. Mostrados na Tabela 1 e Figura 11.

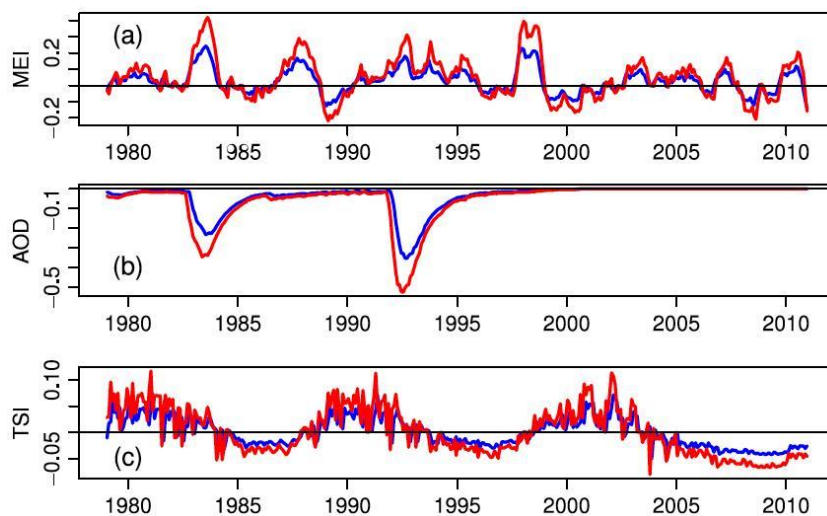
Tabela 1: Tendência na temperatura global entre 1979 e 2010

	MEI	AOD	TSI
GISS	-0.014	0.025	-0.014
NCDC	-0.014	0.019	-0.017
CRU	-0.015	0.020	-0.019
RSS	-0.022	0.038	-0.023
UAH	-0.023	0.041	-0.018

Fonte: Foster *et al.*, 2011

Legenda: A temperatura é dada em °C/década, das componentes de *El Niño* (MEI), aerossóis, ou partículas emitidas por vulcões que tendem a refletir de volta a luz do sol (AOD), e irradiância solar (TSI), em cinco diferentes séries de temperatura de 1979 a 2010.

Figura 11: Influência de fatores exógenos na temperatura global



Fonte: Foster *et al.*, 2011.

Legenda: *Goddard Institute for Space Studies* (GISS) (azul) e *Remote Sensing Systems* (RSS) (vermelho). *El Niño* (a), aerossóis (b) e atividade solar (c).

O fato de o Sol ser nossa principal fonte de energia, contribui para a quantidade de estudos devido a sua influência, e, ainda, grande parte dos estudos considera que devido às poucas variações das atividades solares, o Sol contribui menos que o acréscimo de gases de efeito estufa na atmosfera para o aquecimento global recente.

#### 2.4.5 Ciclos de Milankovitch

A partir dos estudos do climatologista Iugoslavo Milutin Milankovitch, renomado professor de matemática na Universidade de Belgrado, conhecido pelo seu trabalho que passou a conectar as mudanças a longo prazo no clima, particularmente glaciações, a fatores astronômicos que afetam a quantidade de energia solar recebida na superfície da Terra (HOUGHTON, 2004).

A teoria astronômica para explicar as grandes eras glaciais foi desenvolvida matematicamente por Milankovitch usando técnicas estatísticas poderosas, mostra que a teoria tinha correlação com registros de temperatura passadas. Como é amplamente aceito hoje, as grandes eras glaciais ao longo dos últimos 2 milhões de anos refletem a influência dos ciclos de Milankovitch e *feedbacks* climáticos consequentes que amplificam a mudança.

Uma explanação simples do que propõe a teoria é descrita por Barry:

“A ideia por trás das Forçantes de Milankovitch é que as mudanças periódicas na excentricidade da órbita da Terra, na inclinação do eixo da Terra e no momento dos equinócios causam variações na quantidade de radiação solar recebida em diferentes momentos do ano sobre diferentes partes da superfície (BARRY et al, 2013, p.8).

A Terra gira sobre um eixo imaginário que forma atualmente um ângulo de  $23,5^\circ$  em relação ao plano de rotação. Ao longo de um período de 41.000 anos esse ângulo muda, variando de  $21,5^\circ$  a  $24,5^\circ$  (Figura 12-C). Quando o ângulo é menor, ocorrem diferenças menores de temperatura entre o verão e o inverno em comparação a um ângulo maior; na fase com um ângulo maior, devido aos diferentes tempos de exposição à insolação, os invernos são mais frios e os verões mais quentes (OLIVEIRA, *et al.*, 2017; SCHWARZACHER, 1993).

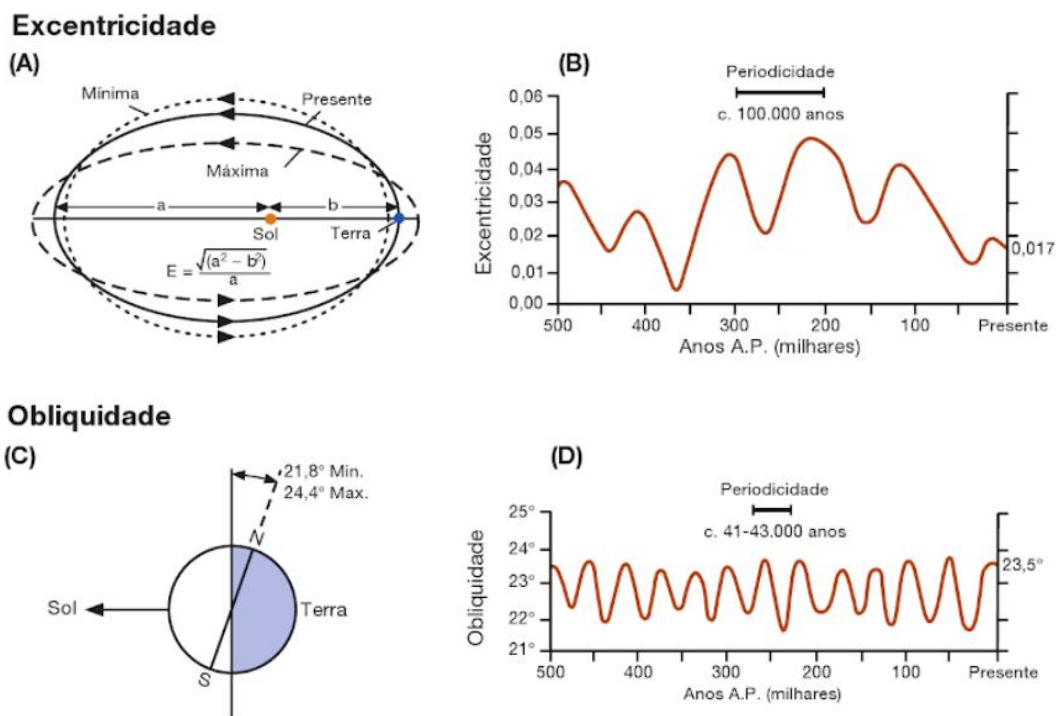
100.000 anos é o período de tempo do ciclo da excentricidade orbital terrestre, nesse período a órbita varia entre mais circular (como agora) e mais elíptica para, na sequência, voltar a ser circular (Figura 12-A). Quando a órbita é mais circular, a distância entre a Terra e Sol varia pouco entre as estações; porém, há uma diferença significativa da distância Terra-Sol no verão e no inverno quando a órbita é elíptica (OLIVEIRA, *et al.*, 2017).

A precessão dos equinócios é o movimento oscilatório da Terra sobre seu eixo de rotação em um movimento análogo ao de um pião. Durante um período de

26.000 anos, o eixo de rotação oscila e forma um círculo (Figura 12-E). Esse movimento determina a estação do ano durante a qual a Terra estará mais próxima do Sol (OLIVEIRA, *et al.*, 2017).

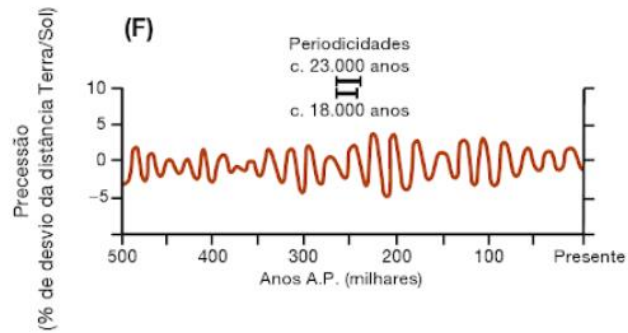
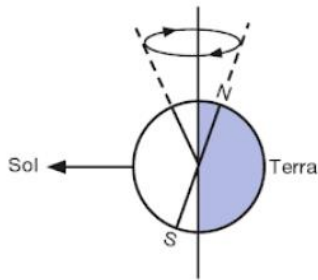
O efeito é observável quando estas três características orbitais se combinam: se a órbita é a mais excêntrica possível, se a oscilação coloca a Terra muito longe do Sol durante o inverno e se o ângulo do eixo é o máximo de  $24,5^\circ$ , então os invernos serão muito frios e verões serão muito quentes. A quantidade total de radiação solar e a distribuição da mesma pelo globo é controlada por estas variações orbitais, assim, a partir deste modelo, a ocorrência das glaciações são descritas de modo plausível com a combinação das três características.

Figura 12: Descrição das mudanças nos movimentos da Terra





### Precessão (E)



Fonte: Atmosfera, tempo e clima. (2013) (Adaptado)

Legenda: Síntese dos efeitos astronômicos sobre a radiação solar incidente na Terra e suas escalas temporais relevantes nos últimos 500.000 anos. (A) e (B) Excentricidade orbital. (C) e (D) Obliquidade do eixo de rotação terrestre. (E) e (F) Precessão terrestre.

O estudo da relação das órbitas com o clima terrestre pelo ciclo de Milankovitch, mostra que, atualmente, a Terra está entrando num período no qual as temperaturas globais estariam diminuindo, contudo, medidas das temperaturas dos últimos 150 anos mostram que a temperatura sofre uma tendência de aumento.

### 3 METODOLOGIA

Esteio é um município da Região Metropolitana de Porto Alegre, que se emancipou em 28 de fevereiro de 1955. O município tem 69 escolas em funcionamento, das quais 12 são estaduais e, dentre estas, está o Colégio Estadual José Loureiro da Silva, situado na Avenida Dom Pedro, nº 815, centro da cidade. O Colégio conta com 631 alunos matriculados no ano de 2018, organizados em:

- 4 turmas do 1º ano, das quais 3 delas são diurno e participam do Ensino Médio Integral e uma das turmas é noturna com e Ensino Médio Regular;
- 2 turmas do 2º ano, sendo uma diurna e uma noturna.
- 4 turmas do 3º ano, sendo duas no turno da manhã, uma no turno da tarde e uma no turno da noite.

A sequência didática foi elaborada com os conteúdos programáticos relacionados ao 2º ano do Ensino Médio, seguindo orientações dos PCNs. As aulas foram aplicadas no período de 01 de julho à 24 de setembro de 2019, em um total de catorze períodos de uma hora cada, na turma 211, uma turma do 2º ano da tarde. A turma é composta por vinte alunos matriculados e, destes quinze são frequentes.

O desenvolvimento de uma sequência didática foi a metodologia utilizada neste projeto, dela foi elaborado o material didático como ferramenta para auxiliar o professor na sala de aula. A sequência didática trata de conceitos da física, relacionados ao efeito estufa e ao aquecimento global abordados no ensino médio. A metodologia envolveu várias etapas, as quais são apresentadas abaixo.

**Primeira etapa:** Aplicar um questionário investigativo na Aula 1, com o objetivo de reconhecer os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao efeito estufa e aquecimento global, para então, a partir dos subsunçores, adaptar a sequência didática para a turma à qual será aplicada.

Aula 1: Utilizou-se um questionário composto com nove questões (APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL, Aula 1 – QUESTIONÁRIO INVESTIGATIVO). O questionário foi adaptado para o trabalho da dissertação “Conceitos Físicos

Envolvidos na Temática do Aquecimento Global na Perspectiva CTS: Uma Proposta de Material Paradidático” (CRETON, 2010).

**Segunda etapa:** Montar e organizar os textos e aulas que serão abordados pelo professor com os alunos. Esta etapa é dividida em quatro aulas.

Aula 2: Esta aula foi pensada para contextualizar os alunos com os assuntos *efeito estufa* e *aquecimento global* através de vídeos e texto (APENDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL, Aula 2 – INTRODUÇÃO AO AQUECIMENTO GLOBAL). A aula está dividida em duas partes, na primeira assiste-se os seis vídeos. Aquecimento Global I Nerdologia; O que causa o aquecimento global; Nando Moura x Ricardo Felício – Aquecimento Global; Prof. Luiz Carlos Molion. Ambos vídeos, retirados de repositórios de vídeos da internet, foram selecionados de forma a evidenciar que há uma gama muito grande de opiniões sobre os assuntos. Alguns vídeos abordam o aquecimento global de forma simplificada e ainda mesclam os fenômenos de efeito estufa e aquecimento global; outros exageram os fatores que influenciam o fenômeno do aquecimento global e há vídeos que negam o aquecimento global.

Na segunda parte da aula 2, lê-se o texto *Estudo sobre questões ambientais*”, adaptado do livro *Física térmica, ondas e óptica*, de Guimarães, Piqueira e Carron, o qual aborda o contexto histórico do estudo dos fenômenos, bem como a descrição de algumas características nas estruturas dos grupos de estudo dos fenômenos, mostrando a ciência como construção humana.

Aula 3: Abarca apenas teoria, trabalhando a radiação que nos chega através da principal fonte de energia, o Sol. Mostra a transmissão das ondas irradiadas pelo Sol, bem como algumas características, como, por exemplo, o comprimento de onda, para então entender todo o espectro eletromagnético. Na sequência, trabalha a relação entre o comprimento de onda e a temperatura do Sol, considerando-o como um corpo negro; essa relação é descrita pela Lei de Wien. A aula é encerrada com dois problemas: o primeiro é o cálculo do comprimento de onda relacionado com a maior intensidade de radiação solar a partir da curva de distribuição de Wien, considerando a temperatura do Sol como 5700 K; com o cálculo, verifica-se que o comprimento de onda é luz visível no espectro

eletromagnético; o segundo é o cálculo do comprimento de onda da radiação irradiada pela Terra, considerando 288 K sua temperatura, a resposta mostra radiação infravermelha sendo irradiada.

Aula 4: Trabalha o fenômeno do efeito estufa introduzido por uma situação inicial; pergunta-se: Por que o ar que está dentro de um carro que está ao Sol, com os vidros fechados, esquenta? Feita a pergunta, discute-se as hipóteses explicitadas pelos alunos. A partir da situação inicial, olha-se o vídeo educacional “Efeito Estufa”, retirado dos Materiais Educacionais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), parte do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), este momento é encerrado com uma breve discussão sobre o vídeo e problematização das hipóteses levantadas pelos alunos antes do vídeo. Adota-se vídeos porque estes podem ser usados como materiais visuais que facilitam o ensino no momento em que trabalha um conteúdo que se demonstra abstrato (MORAN, 1994). Ademais, o fato de poder manipular o vídeo com avanços, recuos, repetições, pausas, possibilita inferências no ritmo e forma com a qual a aula se desenvolve (CINELLI, 2003).

Após discussão sobre o vídeo, passa-se para a simulação Luz e Radiação (*Phet* Simulações), para verificar a absorção da radiação infravermelha pelas moléculas dos gases de efeito estufa devido à criação de dipolos eletromagnéticos. A simulação serve como instrumento para despertar o interesse do aluno nos conteúdos, pois propicia a visualização de modelos físicos que não poderiam ser observados de outra forma, exceto por figuras estáticas em livros ou quadros (CARRARO; PEREIRA, 2014). Além disso, com uma simulação, o usuário é capaz de modelar, visualizar e interagir. Porém, cabe ressaltar que tal sistema é uma ferramenta complementar para o estudo da Física, com a finalidade de esclarecer e reforçar o conhecimento teórico do componente (SANTOS; SANTOS; FRAGA, 2002).

Para encerrar a aula, como forma de avaliação, os alunos organizados em grupos contestam alguns problemas relacionados ao fenômeno estudado.

Aula 5: Última aula da terceira etapa, sobre aquecimento global; retoma a ideia do balanço de energia do sistema Terra-Sol, para então mostrar que pode haver um desequilíbrio no balanço de energia a partir de forçantes radiativas, ocasionando

variação de temperatura média terrestre. Na sequência, introduzem-se algumas forçantes radiativas: Ciclo de Milankovich, o Sol, gases de efeito estufa e albedo. As forçantes são explicadas verificando suas influências no efeito estufa e considerando alguns pontos que geram discussões no meio científico. Após uma discussão sobre as forçantes, os alunos são confrontados com uma situação-problema: precisam criar dois modelos de planetas: um com atmosfera e um sem atmosfera. Além disso, os planetas devem conter algumas características terrestres como, por exemplo, estarem posicionados na mesma distância em relação ao Sol, para desse modo ter a mesma constante solar. Criados os planetas, considera-se que, para os dois planetas, chega a mesma intensidade de radiação solar (constante solar), os dois planetas absorvem a radiação incidente e reemitem a mesma quantidade de radiação, tendo assim um balanço energético. Consideradas essas variáveis, espera-se que os alunos observem:

1. A temperatura efetiva dos dois planetas mudando a variável albedo e as constantes solares, seguindo a sequência da situação problema.
2. A temperatura de superfície do planeta, levando em consideração que devido aos gases de efeito estufa que constam na atmosfera. Para o planeta sem atmosfera, a temperatura efetiva e temperatura superficial são as mesmas; para o planeta com atmosfera, a temperatura efetiva (medida na troposfera) e a temperatura de superfície são diferentes, mostrando assim o efeito estufa.

**Terceira etapa:** Tem por objetivo investigar e avaliar a contribuição da sequência didática para a aprendizagem significativa. Para tal, usamos o questionário aplicado na aula 1, cujo objetivo é verificar a existência dos subsunçores dos alunos. É utilizado uma segunda vez, ou seja, na aula 6. Desta vez, utilizamos as mesmas questões do questionário investigativo como análise comparativa e, considerando a evolução conceitual - diferenciação e reconciliação -, ao questionário acrescentamos cinco novas questões, uma vez que foi considerada uma diferenciação no conhecimento. O novo questionário está no APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL, Aula 6.

Nesta etapa o aluno responde as questões individualmente e sem consulta a nenhum material pedagógico ou aos colegas.

Abaixo, na Tabela 2, está sintetizada a metodologia com suas etapas,

aulas, conteúdos e objetivos.

Tabela 2: Planejamento do produto educacional

		Conteúdo	Objetivo
1ª Etapa	Aula 1	Questionário investigativo com 9 perguntas.	Aplicação do questionário para definir os conhecimentos prévios referentes a efeito estufa e aquecimento global.
	Aula 2	Efeito Estufa; Aquecimento Global.	Incluir os/as estudantes no contexto da sequência didática.
2ª Etapa	Aula 3	Radiação solar; Espectro eletromagnético; Comprimento e frequência de ondas; Lei de Wien; Espectro de radiação do Sol e da Terra.	Mostrar o balanço de energia entre a Terra e o Sol; entender a diferença nos comprimentos de ondas da radiação que chega até a Terra e é emitida pela mesma, com isso verificar os espectros de radiação da Terra e do Sol
	Aula 4	Interação entre radiação e matéria; Movimento das moléculas dos gases de efeito estufa; Efeito estufa.	Entender o efeito estufa a partir da interação entre radiação e matéria.
	Aula 5	Forçantes Radiativas; Aquecimento Global	Verificar algumas causas que reconhecidamente geram desequilíbrio do balanço de energia, gerando assim, aquecimento global.
3ª Etapa	Aula 6	Questionário Final.	Avaliar os alunos com a aplicação do questionário final

Fonte: O autor

#### 4. RELATÓRIO DAS AULAS E AVALIAÇÃO

A descrição da aplicação da sequência didática em sala de aula é feita neste capítulo, são relatadas as datas de aplicação, quantidade em períodos e duração em horas, bem como é feita uma descrição do andamento da aula e resultados obtidos.

As aulas foram aplicadas no período de 16 de julho à 17 de setembro de 2019. Os alunos demonstraram interesse nas aulas devido ao fato de abordar efeito estufa e aquecimento global, fenômenos amplos que muitos ouviram falar, contudo, sem muitas explicações.

A aplicação teve apoio da direção e coordenação do Colégio, possibilitando assim uma abordagem com paciência e maior qualidade, todavia, no decorrer das aplicações as aulas tiveram pequenos percalços como por exemplo, para a 4ª aula o Colégio ficou sem internet e por isso não pode ser trabalhado o site *Phet* Simulações, ainda, no meio da aplicação houve prolongamento do recesso escolar de uma para duas semanas.

Tabela 3: Cronograma das atividades desenvolvidas

Data	Quantidade de período	Duração (horas)	Conteúdo
01/07/2019	1	1	Aula 1 – QUESTIONÁRIO INVESTIGATIVO
08/07/2019	1	1	Aula 2 – INTRODUÇÃO AO EFEITO ESTUFA E AQUECIMENTO GLOBAL. Vídeos e leitura do texto “Estudo sobre questões ambientais”
16/07/2019	1	1	Aula 3 – RADIAÇÃO SOLAR. Espectro Eletromagnético; Lei de Wien.
18/07/2019	1	1	Aula 3 – RADIAÇÃO SOLAR. Retomar a Lei de Wien; Cálculo dos comprimentos de ondas para Terra e Sol
23/07/2019	1	1	Aula 4 – EFEITO ESTUFA Vídeo Efeito Estufa; Absorção de radiação pelas moléculas
25/07/2019	1	1	Aula 4 – EFEITO ESTUFA Simulador Moléculas e Luz do <i>Phet</i> Simulações
13/08/2019	1	1	Aula 4 – EFEITO ESTUFA Questões sobre efeito estufa
20/08/2019	1	1	Aula 5 – AUMENTO DO EFEITO ESTUFA (AQUECIMENTO GLOBAL) Balanço de radiação; Ciclo de Milankovich; Sol

Data	Quantidade de período	Duração (horas)	Conteúdo
22/08/2019	1	1	Aula 5 – AUMENTO DO EFEITO ESTUFA (AQUECIMENTO GLOBAL) Albedo; Gases de efeito estufa; Simulação.
27/08/2019	1	1	Aula 5 – AUMENTO DO EFEITO ESTUFA (AQUECIMENTO GLOBAL) Questões sobre aquecimento global
10/09/2019	1	1	Aula 5 – AUMENTO DO EFEITO ESTUFA (AQUECIMENTO GLOBAL) Simulação dos planetas
12/09/2019	1	1	Aula 5 – AUMENTO DO EFEITO ESTUFA (AQUECIMENTO GLOBAL) Simulação dos planetas
17/09/2019	1	1	Aula 6 – Questionário final

Fonte: O autor

#### 4.1 Relatório da aula 1

Aula 1: Aplicação do questionário investigativo.

Data: 01/07/2019

Duração: 1 período, 1h.

Este questionário serviu como instrumento de procura pelos conhecimentos prévios dos alunos, relacionados a sequência didática. Através deste, foi adaptada a profundidade na abordagem dos conceitos nas aulas. No questionário constam nove questões; na aplicação cada questão foi lida em voz alta pelo professor para que fossem sanadas as dúvidas; após a leitura de cada questão, os alunos responderam as devidas questões. Com a aplicação, notou-se que quase todos os alunos já haviam escutado falar sobre efeito estufa e aquecimento global, porém em nenhum momento haviam estudado como ocorre o fenômeno, tampouco sobre os pesquisadores e áreas do conhecimento envolvidas, ou ainda, as causas dos fenômenos em uma abordagem mais acurada. Exceto um aluno que escreveu ter visto que na internet há discussões sobre as questões ambientais.

*“1) Você já ouviu falar sobre efeito estufa ou aquecimento global? Onde?”*

15 alunos estiveram na aula neste dia e todos responderam que já ouviram falar sobre efeito estufa e aquecimento global. Das respostas, 11 mostraram já ter contato do assunto na internet e notícias; 9 delas escutaram na escola. Ainda, um



aluno justificou melhor a resposta, “É um problema muito conhecido na internet. Há pessoas que acreditam, e outras não.” resposta que mostra a abrangência deste estudo.

*“2) Quais assuntos de Física poderíamos abordar envolvendo o efeito estufa ou aquecimento global?”*

9 alunos responderam “Não sei”; 1 aluno respondeu “Qualquer coisa que trabalhe calor e gases”; 4 respostas envolveram transmissão de calor.

3) Você saberia dizer quais são as causas do aquecimento global?

2 alunos responderam que “não”; 6 alunos relacionaram o aquecimento global com a poluição da natureza pelo homem e desmatamento; 4 responderam que é a destruição da camada de ozônio; 1 responde que é o aumento da média da temperatura e, por último, um aluno respondeu “A produção de gás carbônico pelas indústrias e automóveis é uma das principais causas”, esta resposta se mostra mais conectada com as hipóteses dos grupos científicos.

*“4) Você sabe o que é o efeito estufa? Saberá dizer como funciona?”*

9 alunos responderam que não sabem; 1 aluno respondeu “não saberia dizer exatamente como funciona, mas sei que é algo importantíssimo para o nosso planeta. Se não fosse esse fenômeno, poderíamos ter temperaturas negativas todos os dias, como por exemplo é um Vênus.” esta resposta já relaciona o efeito estufa com outros planetas. Outro aluno respondeu “É QUANDO A RADIAÇÃO DO SOL PASSA DA CAMADA DE OZÔNIO BATE NA TERRA E VOLTA PARA A CAMADA MAS NÃO TEM MAIS FORÇA PARA SAIR.” que é uma resposta bastante aceita, contudo se confunde ao citar a camada de ozônio. Outros 4 alunos relacionaram radiação solar com o efeito estufa, mas não definiram o efeito.

*“5) Você considera o fenômeno do efeito estufa como natural ou artificial (gerado pela ação humana)?”*

8 alunos responderam que o efeito é natural; 4 responderam artificial; 3 responderam que não sabiam.

*“6) O Efeito Estufa é um fenômeno exclusivo de nosso Planeta?”*

Sete alunos responderam que sim é exclusivo; 5 alunos responderam que não, destes um respondeu *“Não, Vênus é considerado o mais quente do sistema solar por causa do efeito estufa”*; 3 alunos responderam que não sabiam.

*“7) Você acha que os movimentos da Terra, do Sol, da Lua, têm relação com o aquecimento global? Explique.”*

6 alunos responderam não; 5 alunos responderam que não sabiam; 3 alunos responderam que sim, contudo não explicaram; 1 aluno não respondeu esta questão.

*“8) Existe relação entre a temperatura e a radiação que o Sol emite?”*

11 alunos responderam que sim; 3 alunos responderam que não sabiam; um aluno não respondeu à questão.

*“9) O que você sabe sobre calor? (Exemplo: definição, como ocorrem as trocas de calor, etc.)”*

Como os alunos haviam trabalhado o conceito de calor fazia pouco tempo, a maioria respondeu pertinentemente a esta questão. O conceito trabalhado em sala foi: Calor é por definição a transferência de energia entre corpos com temperaturas distintas. Para um sistema isolado (adiabático), o calor é a energia que é transferida de um corpo de maior temperatura para um corpo de menor temperatura.

Para esta aplicação do questionário, a grande quantidade de “não sei” que apareceram no questionário, foram poucos os conhecimentos prévios observados, contudo serviram como pontos de partida para a aplicação da sequência didática.

## 4.2 Relatório da aula 2

Aula 2: Introdução ao efeito estufa e ao aquecimento global

Data: 08/07/2019

Duração: 1 período, 1h.

Esta foi a aula mais agitada da sequência didática, uma vez que os alunos já haviam sido instigados pelo questionário investigativo. A aula iniciou com os alunos assistindo partes dos vídeos selecionados. Nos dois primeiros vídeos (Aquecimento Global I Nerdologia e O que causa o aquecimento global) os alunos repetiam em voz alta partes do vídeo que estavam relacionadas as questões do questionário investigativo, principalmente as partes que contradiziam as hipóteses descritas pelos alunos sobre a camada de ozônio. Os próximos dois vídeos (Nando Moura x Ricardo Felício – Aquecimento Global. e Prof. Luiz Carlos Molion: não existe aquecimento global) fez com que os alunos percebessem que existem pessoas competentes que pensam diferente das sociedades científicas acerca do aquecimento global. Cabe aqui ressaltar que os vídeos escolhidos foram através de janela anônima.

A segunda parte da aula foi a leitura, em grupo, do texto “*Estudo sobre questões ambientais*”. Este texto, aborda fatos históricos que envolvem a evolução do conceito do fenômeno efeito estufa e explana os principais grupos científicos que estudam aquecimento global. Nesta parte os alunos se acalmaram e não houve comentários.

Ao final da aula, restam minutos nos quais são retomadas as hipóteses e comentários sobre os vídeos, o professor como intermediário, tentando relacionar os vídeos ao texto. Por não restar tempo, não foi pedido aos alunos que fizessem o relatório programado.

## 4.3 Relatório da aula 3

Aula 3: Radiação Solar

Data: 16/07/2019 e 18/07/2019

Duração 2 períodos, 2h.

Cada aluno recebeu o texto, alguns em versão impressa outros em versão pdf para ler pelo celular. Antes de iniciar o texto o professor relembra o conceito de calor e os modos de transmissão de calor que já foram estudados pela turma. O professor iniciou a leitura em voz alta, leitura esta, que durante a aula foi alternada entre os alunos. Ao iniciar o segundo parágrafo o professor problematizou a pergunta *“Assumindo que a energia que chega até a Terra é absorvida pela mesma, podemos nos perguntar: por que a Terra não aumenta a temperatura?”*, esta pergunta causa estranheza nos alunos, capturando sua atenção, mas não houve resposta, na sequência a maioria tenta retomar o texto individualmente para procurar a resposta.

A leitura em grupo é retomada, e as figuras são interpretadas pelo professor em conjunto com os alunos, deu-se ênfase na figura do espectro eletromagnético. (a mesma já havia sido abordada em sala de aula no estudo sobre transmissão de calor em aulas anteriores a aplicação da sequência didática), para deixar claro o que é comprimento de onda.

Ao final do primeiro período o professor abordou a Lei de Wien, mostrando a relação entre a temperatura e o comprimento de onda de maior intensidade.

Para o início do segundo período da aula 2 foi feita uma retomada sobre o que foi lido no período anterior, lembrando, especificamente o que é um comprimento de onda e a Lei de Wien. Ao final da retomada, como exemplo da aplicação matemática da Lei de Wien se responde à questão *“Qual é o comprimento de onda do pico de emissão para o Sol?”*, que tem como resposta: Um comprimento de onda de  $4,8 \times 10^{-7}$  m para a temperatura de 5.700 K. Esta é a primeira das cinco questões envolvendo a lei referida anteriormente. Após, os alunos que estão sentados em grupos de até cinco pessoas responderam as outras quatro questões.

A questão 2 *“Analisando o espectro eletromagnético, qual tipo de onda eletromagnética corresponde ao comprimento de onda da pergunta 1?”*, esta pergunta foi respondida corretamente por todos os grupos, uma vez que a resposta da primeira questão é  $4,8 \times 10^{-7}$  m, os alunos interpretaram na figura do espectro eletromagnético e perceberam que está relacionada a luz visível.

A terceira e quarta questões foram respondidas corretamente pelos grupos, contudo a quinta questão *“Analisando o espectro eletromagnético, qual tipo de onda eletromagnética corresponde ao comprimento de onda da pergunta 4?”*

Essa impôs dificuldade para dois dos quatro grupos, pois a resposta para o comprimento de onda da Terra a 288 K de temperatura é  $10,06 \times 10^{-6}$  m, como a ordem de grandeza  $10^{-6}$  não aparece explicitamente na figura do espectro eletromagnético, isso gerou confusão. Os dois grupos que tiveram dificuldade em responder contornaram a situação pedindo ajuda aos alunos dos dois grupos que haviam interpretado corretamente a figura. Com essas questões, evidencia-se que a luz visível entra pela atmosfera, contudo, a radiação infravermelha é a que encontra dificuldade para sair de volta ao espaço.

Ao final da aula, foi pedido aos alunos que fizessem o resumo da aula. Dez alunos entregaram o resumo, todos com ênfase na explicação do que é onda eletromagnética, espectro eletromagnético e diferentes tipos de comprimento de onda. Deste modo, pode-se inferir que o objetivo geral da aula dois, de mostrar que a radiação solar e a radiação terrestre têm comprimentos de ondas diferentes foi alcançado, uma vez que todos os resumos comentam sobre as diferenças de comprimentos de ondas para diferentes intensidades, conseguindo identificar isso na resolução das questões. Um fato curioso nos resumos é que dois alunos escreveram sobre Chernobyl, assunto que não foi comentado em sala de aula, mas apareceu nos resumos devido a série televisiva que estava de moda no momento.

#### **4.4 Relatório da aula 4**

##### Aula 4: Efeito Estufa

Data: 23/07/2019; 25/07/2019 e 13/08/2019

Duração: 3 períodos, 3h.

Como, comumente acontece nas aulas, o professor retoma brevemente o acontecido na última aula chamando atenção, novamente, para a diferença no comprimento de onda entre a luz visível e radiação infravermelha.

A aula quatro foi dividida em três períodos de aula. O primeiro é iniciado com a pergunta *“por que o ar que está dentro de um carro está ao Sol com os vidros fechados esquenta?”* feita para aguçar a curiosidade dos alunos, são levantadas boas hipóteses pelos alunos, uma vez que já estudaram transmissão de calor, alguns relacionam esta pergunta ao fenômeno descrito no texto lido na

Aula 2. As hipóteses são discutidas rapidamente entre todos pois, outra vez mais, os alunos querem uma resposta rápida a pergunta sem se deter na problematização das hipóteses. Para tal, assiste-se o vídeo Efeito Estufa. Com o vídeo os alunos sentem sanados seus anseios pela resposta à pergunta inicial. Contudo, são retomadas e problematizadas as hipóteses levantadas antes de assistir o vídeo, nas quais os alunos precisam mostrar onde as hipóteses estavam equivocadas. No momento posterior, é conceituado o efeito estufa, mostrando o que é um efeito natural e imprescindível a vida na Terra.

Para retomar a atenção dos alunos, faz-se outra pergunta, *“Mas por que esses gases não retêm a entrada de radiação, uma vez que retêm na saída?”*, novamente é gerada uma discussão, levantamento de hipóteses, contudo desta vez as hipóteses não se aproximam a explicação que será abordada nesta aula.

Para responder à pergunta foi lembrada a diferença de comprimento de onda entre a luz visível emitida pelo Sol e a radiação infravermelha reemitida pela Terra, após conectou-se esta informação a absorção de radiação pelas moléculas. Neste momento os alunos já estavam cansados e não participavam da aula. Deste modo, decidiu-se passar ao simulador; alunos e professores passaram ao laboratório de informática, entretanto, neste dia a internet não funcionou e o período foi encerrado.

No segundo período desta aula, como de praxe, foi retomado rapidamente o conteúdo anterior que está relacionado ao desenvolvimento da sequência didática, principalmente a absorção de radiação pelas moléculas, para então passar a simulação Moléculas e Luz. Os alunos simularam em duplas devido ao número de alunos e computadores; no início o professor comentou algumas características do simulador, algumas variáveis que podem ser mudadas e finalizou sua participação lembrando a situação específica que deve ser observada no simulador; após os alunos disfrutaram, brincaram, observaram diferentes situações; logo surgiram perguntas que, a princípio, não estariam relacionadas a sequência didática, mas que observadas mais atentamente poderiam ser relacionadas, como por exemplo: por que quando incide-se luz ultravioleta na molécula de ozônio esta rompe suas ligações moleculares, fenômeno relacionado a camada de ozônio ou ainda, por que algumas moléculas absorvem energia e brilham por um tempo, fenômeno relacionada a fluorescência.

Sanada a curiosidade dos alunos pelo simulador, discutiu-se as simulações feitas relacionando-as com o estudo do efeito estufa, também foi interpretado a Figura A.11 que mostra os espectros de radiações do Sol e da Terra e as bandas de absorção dos gases de efeito estufa para esses dois espectros. O período é encerrado com os alunos fazendo um resumo da aula.

Nos resumos os alunos descrevem com bastante precisão o fenômeno efeito estufa, desde a emissão da radiação solar, passando pela absorção deste pela Terra para posterior reemissão como radiação infravermelha, até a dificuldade desta radiação para passar pela atmosfera. Nenhum resumo comenta a simulação Moléculas e Luz ou como ocorre a absorção de radiação pelas moléculas. Dos seis resumos, dois apresentaram problemas conceituais ao se equivocarem nos nomes das radiações, utilizando ultravioleta e não infravermelho. Ainda, um aluno escreveu sobre a mitigação dos gases de efeito estufa, de origem antrópica, relacionados ao aquecimento global, inclusive citando o Protocolo de Kyoto, sendo que não foi abordado em nenhum momento em sala de aula.

Após este período o Colégio entrou em recesso escolar por duas semanas, na volta as aulas, foi retomado o fenômeno efeito estufa e, após retomado o conceito, os alunos responderam em grupos de no máximo cinco pessoas as sete questões da Aula 4. Não houve equívocos dos conceitos científicos escolares nas questões. Na questão sete *“Por que as lonas, assim como os gases do efeito estufa, são mais transparentes às radiações da luz visível que às radiações infravermelhas? Explique a partir da absorção de radiação pelas moléculas.”*, não houve nenhum grupo que respondesse usando a ideia da vibração molecular como observado no simulador, ambos grupos responderam corretamente algo como *“As duas radiações visível e infravermelho, a visível passa pela lona e a infravermelha não passa”*.

Outra vez, tanto questões como o resumo mostram que houve mudança no conceito efeito estufa em relação ao questionário investigativo, além de que questões relacionadas a produção e natureza dos gases traços foram contestadas corretamente, mostrando também diferenciação em relação aos conhecimentos prévios.

## 4.5 Relatório da aula 5

Aula 5: Aumento do Efeito Estufa (Aquecimento Global)

Data: 20/08/2019, 22/08/2019, 27/08/2019 e 10/09/2019

Duração: 4 períodos, 4h.

Esta aula foi expositiva e teve intuito de determinar o aquecimento global e verificar as principais causas mais aceitas pelas sociedades científicas, sempre relacionando-as ao efeito estufa. A aula foi dividida em quatro períodos de uma hora cada.

No primeiro dia, o que gerou mais discussão foi o Ciclo de Milankovich, que inclusive gerou perguntas sobre astronomia que não estavam relacionadas ao assunto, como distâncias interplanetárias e relação de tamanhos entre planetas e estrelas. O segundo dia ainda esteve relacionado as forçantes climáticas e restando pouco tempo do período foi introduzido a ideia da simulação. No terceiro dia, devido à falta de professores no sistema público, o período foi paralelo, o professor deu aula para duas turmas ao mesmo tempo e, devido a isso, decidi entregar o questionário para os alunos que o fizeram sem acompanhamento. Os alunos acertaram todas as questões e, na hora da correção, comentaram que estranharam o gráfico da questão dois, e que as questões tem enunciado muito longo.

No quarto e quinto períodos foi retomada a simulação para os planetas com e sem atmosfera. Após a descrição feita pelo professor, a simulação foi bem recebida pelos alunos. Os alunos, outra vez, foram divididos em quatro grupos para contestar as questões que orientam a sequência da simulação.

Antes dos alunos iniciarem os cálculos, o professor teve que mostrar como trabalhar com a calculadora científica e para aqueles que não tinham calculadoras científicas, foi lembrado da propriedade da multiplicação de raízes quadradas.

Os estudantes mostraram facilidade ao entender o conteúdo e interpretar as questões 1 até 5:

1. *“Qual é a intensidade de energia ( $I_e$ ) que entra nos planetas Terra e Melissa, considerando  $I = 1.360 \text{ W/m}^2$  e albedo 0,3?*



2. Sabendo que ambos planetas se encontram em estado de equilíbrio térmico, calcule qual é a intensidade de energia que ambos irradiam para o espaço?
3. Agora, supondo que o albedo dos dois planetas mude de 0,3 para 0,5 e que a intensidade de energia que o Sol envia siga em  $I = 1.360 \text{ W/m}^2$ , quanto é a intensidade de energia ( $I_e$ ) que entra nos planetas Terra e Melissa?
4. Desta vez, supondo que, para ambos os planetas, o albedo tenha regressado a 0,3 mas a intensidade de energia aumentou para  $I = 2.650 \text{ W/m}^2$ . Quanto é a intensidade de energia ( $I_e$ ) que entra nos planetas?
5. Por último, supondo que o albedo seja 0,5 e a intensidade de energia que o Sol envia seja  $I = 2.650 \text{ W/m}^2$ , quanto é a intensidade de energia ( $I_e$ ) que entra nos planetas?"

Estas questões foram feitas de maneira rápida e sem problemas, nenhum grupo se equivocou nas resoluções.

A questão seis "6. A temperatura de equilíbrio em Celsius para ambos os planetas, quando  $I = 1.360 \text{ W/m}^2$  e albedo 0,3." foi interpretada rapidamente, mas gerou dificuldade em dois grupos devido a matemática envolvida, para estes grupos o professor retomou características do cálculo de notação científica e radiação e, após esta inferência, os alunos lograram a resolução. Na correção da simulação, notou-se que os alunos não relacionaram a resposta da primeira questão com a sexta questão, refazendo todos os cálculos desde o início.

Para as questões sete e oito "7. Considerando que o albedo aumente de 0,3 para 0,5, a variação da temperatura em Celsius dos planetas Terra e Melissa. 8. A variação da temperatura em Celsius para ambos os planetas se, mantido o albedo a 0,3, a intensidade de radiação solar aumente para  $2.650 \text{ Wm}^{-2}$ .", três grupos não calcularam a variação da temperatura relacionadas com as temperaturas anteriores calculadas nas questões três, quatro e cinco. Na correção feita os alunos entenderam os equívocos apresentados anteriormente.

A última questão (9. Qual a temperatura superficial da Terra e do planeta Melissa em Celsius, considerando o albedo 0,3 e a intensidade de radiação  $1.360 \text{ W/m}^2$  da Tabela A.2?) foi entendida e calculada facilmente.

As respostas da simulação bem como os resumos foram avaliados como positivos pelo professor.

## 4.6 Relatório da Aula 6

Aula 6: Questionário final

Data: 17/09/2019

Duração: 2 períodos, 2h.

O questionário final foi aplicado em dois momentos, o primeiro momento antes da qualificação no dia 24 de setembro e o segundo momento após a qualificação pois devido a sugestões da banca foram incluídas cinco novas questões.

As primeiras nove questões foram aplicadas no primeiro encontro, estas questões são iguais ao questionário investigativo, como os alunos sabiam desde o princípio da sequência didática que iriam responder este questionário ao final, se sentiram confiantes e responderam as questões com tranquilidade.

A segunda parte do questionário, devido as cinco questões incluídas, não foi bem recebida pelos alunos porque foi bastante tempo depois de já ter se encerrado a sequência didática. Ainda assim, as respostas são satisfatórias.

Abaixo são comparadas as respostas das questões entre o questionário investigativo e o questionário final.

## 4.7 Respostas questionário investigativo *versus* questionário final

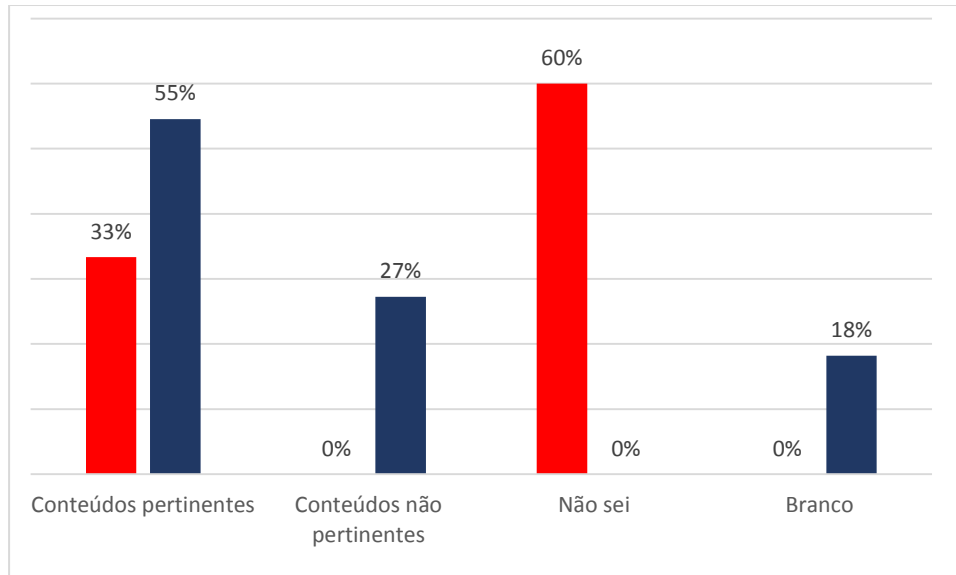
*“1) Você já ouviu falar sobre efeito estufa ou aquecimento global? Onde?”*

Para a primeira aplicação, quinze alunos estiveram na aula neste dia e todos responderam que já ouviram falar sobre efeito estufa e aquecimento global. Das respostas, onze mostram que ouviram na internet e notícias e nove delas escutaram na escola. Ainda, um aluno justificou melhor a resposta, “É um problema muito conhecido na internet. Há pessoas que acreditam, e outras não.” resposta que mostra a abrangência deste estudo.

Para a segunda aplicação estiveram presentes onze alunos e como é de se esperar, todos responderam que sim já ouviram falar.

“2) Quais assuntos de Física poderíamos abordar envolvendo o efeito estufa ou aquecimento global?”

Tabela 4: Análise da questão 2



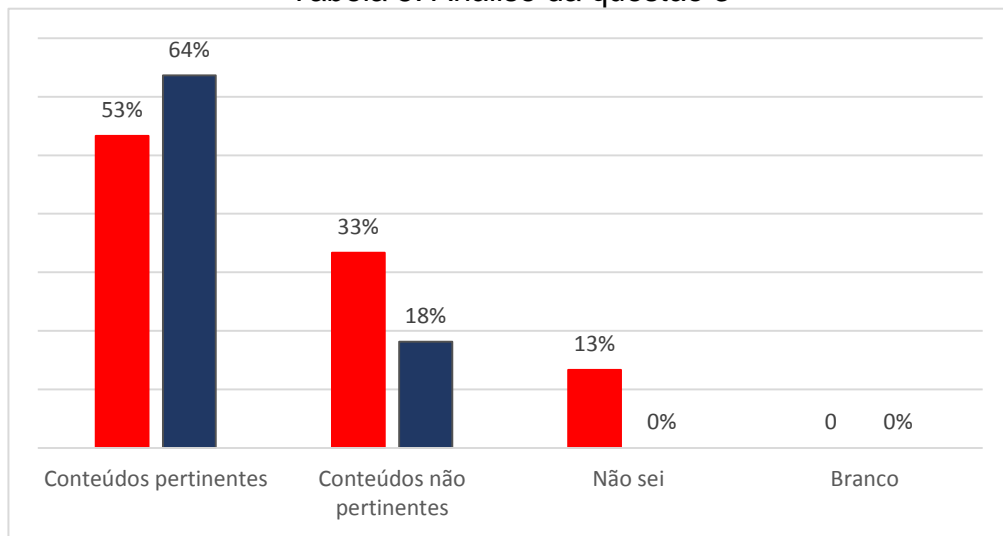
Fonte: O autor

Legenda: Colunas vermelhas estão relacionadas ao questionário investigativo e colunas azuis ao questionário final

No questionário investigativo algumas respostas são “*Qualquer coisa que trabalhe calor e gases*” e quatro respostas que envolvem transmissão de calor, conteúdo estudado antes da aplicação do produto educacional. Já no questionário final, muitas respostas envolveram ondas eletromagnéticas, radiação solar, calor, transmissão de calor, e gases, mostrando uma melhor relação da Física com o aquecimento global.

“3) Você saberia dizer quais são as causas do aquecimento global?”

Tabela 5: Análise da questão 3



Fonte: O autor

Legenda: Colunas vermelhas estão relacionadas ao questionário investigativo e colunas azuis ao questionário final

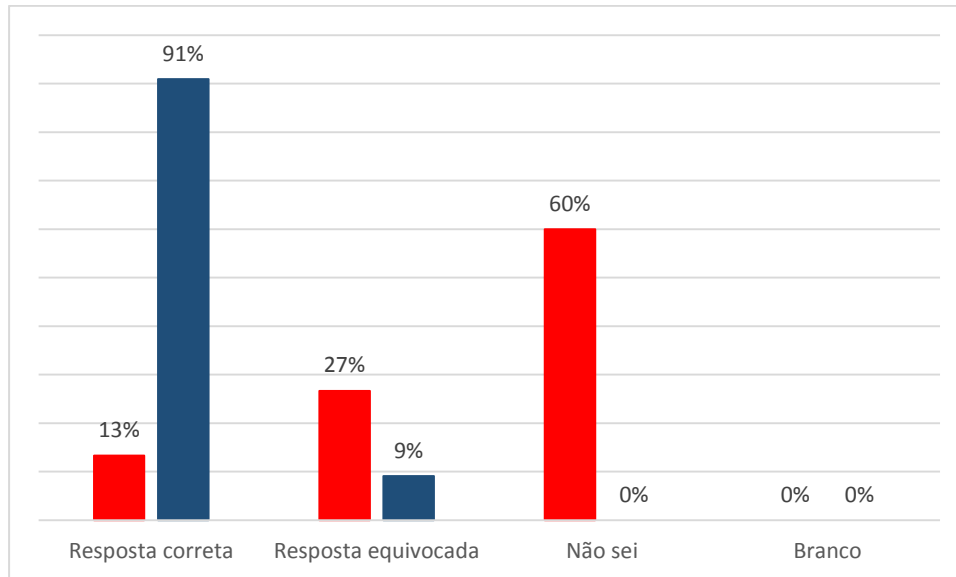
Para o questionário investigativo, respostas rotuladas como não pertinentes davam como causa do aquecimento global a destruição da camada de ozônio, como pertinente foram aceitas respostas como poluição do homem mesmo sendo uma resposta muito ampla, podendo conter erros.

Para o questionário investigativo, respostas consideradas pertinentes envolveram o aumento dos gases estufa na atmosfera, destas respostas algumas consideravam ação antrópica e outras não a consideravam. Das respostas pode-se destacar *“O aumento do efeito estufa, que é gerado pelo aumento de gases da atmosfera”*, que além de responder as causas na segunda parte da frase, também define de modo simples o aquecimento global na primeira parte da frase.

A comparação entre as respostas mostra um aumento das respostas pertinentes e ainda, na segunda aplicação não há respostas em branco ou “não sei”, todos os alunos se posicionaram.

“4) Você sabe o que é o efeito estufa? Saberria dizer como funciona?”

Tabela 6: Análise da questão 4



Fonte: O autor

Legenda: Colunas vermelhas estão relacionadas ao questionário investigativo e colunas azuis ao questionário final.

O questionário investigativo trazia respostas interessantes, como por exemplo *“não saberia dizer exatamente como funciona, mas sei que é algo importantíssimo para o nosso planeta. Se não fosse esse fenômeno, poderíamos ter temperaturas negativas todos os dias, como por exemplo é um Vênus.”* a qual relaciona o efeito estufa com outros planetas, outra resposta *“é quando a radiação do sol passa da camada de ozônio bate na terra e volta para a camada mas não tem mais força para sair.”* que é uma resposta bastante aceita, contudo se confunde ao citar a camada de ozônio.

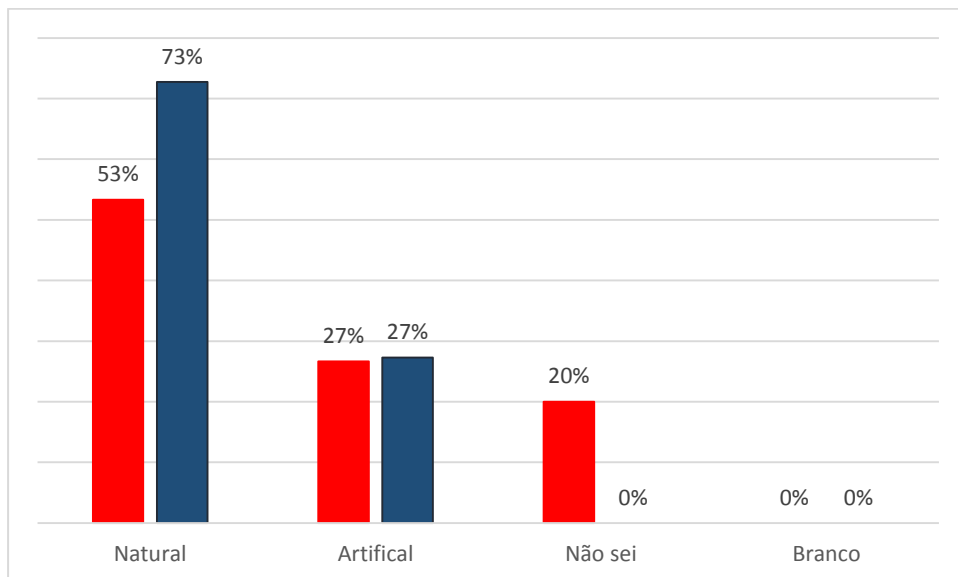
Já para o questionário final 91% das respostas foram consideradas corretas e destas se destacam duas: *“é quando a radiação do sol passa dos gases da atmosfera a Terra absorve e reemite em forma de infravermelho, que não consegue passar toda dos gases da atmosfera”* esta resposta está bem explicada, se equivocando apenas na parte que diz que a radiação infravermelha não consegue passar toda pela atmosfera; a outra resposta *“é um fenômeno natural que permite nosso planeta estar em uma temperatura equilibrada e propícia para a vida na Terra. Os raios solares são emitidos pelo Sol para a superfície da Terra,*

*esta, que reemite a radiação, fazendo com que algumas moléculas passem pela atmosfera e outras reajam com os gases da mesma, devolvendo a radiação pro planeta” a questão está equivocada ao considerar as a radiação infravermelha como moléculas, no mais é uma boa resposta.*

No gráfico fica evidente o aumento das respostas pertinentes, podemos considerar esse aumento como positivo, ainda mais considerando que este é o principal fenômeno na sequência didática.

*“5) Você considera o fenômeno do efeito estufa como natural ou artificial (gerado pela ação humana)? Explique.”*

Tabela 7: Análise da questão 5



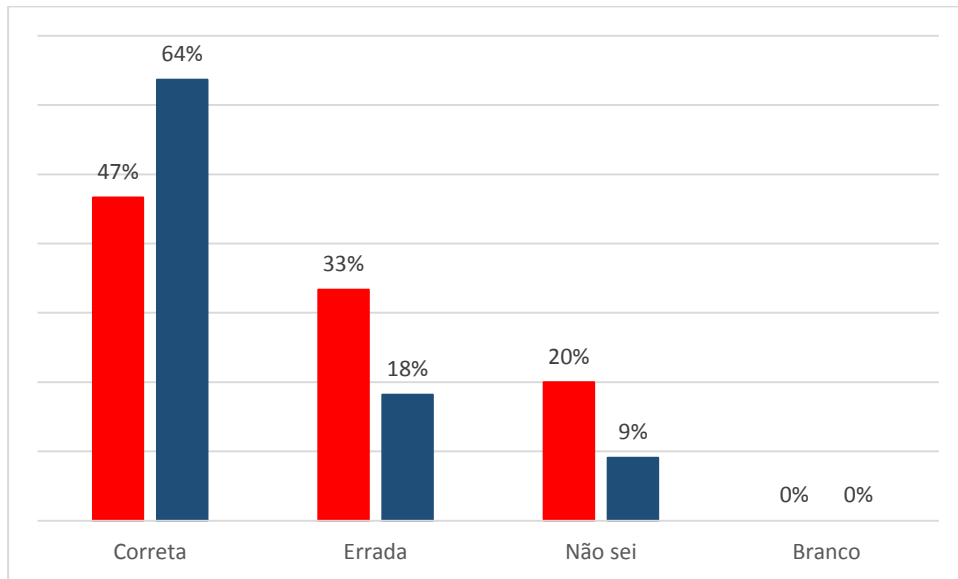
Fonte: O autor

Legenda: Colunas vermelhas estão relacionadas ao questionário investigativo e colunas azuis ao questionário final.

Para o questionário final, das três respostas (27%) dizendo que o efeito estufa é artificial, duas delas o fazem porque se referem ao aquecimento global, mostrando que ainda há uma mescla entre os fenômenos efeito estufa e aquecimento global.

*“6) O Efeito Estufa é um fenômeno exclusivo de nosso Planeta?”*

Tabela 8: Análise da questão 6



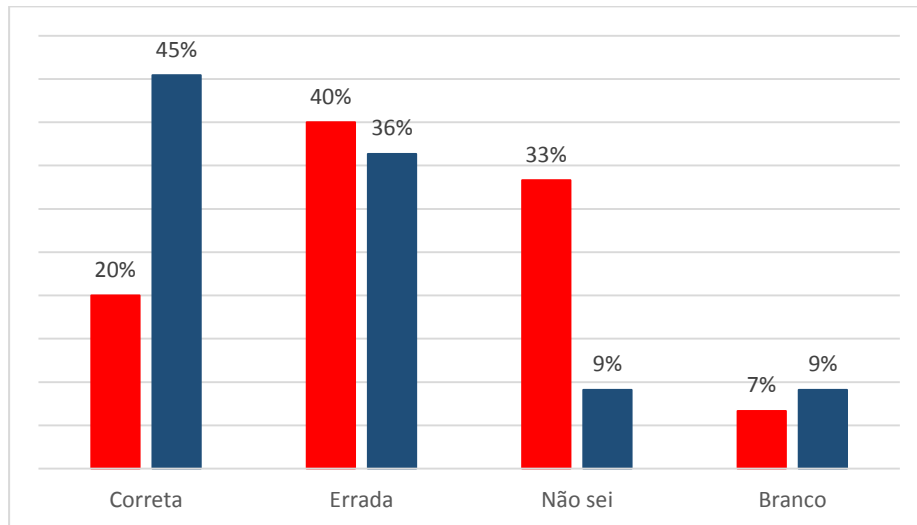
Fonte: O autor

Legenda: Colunas vermelhas estão relacionadas ao questionário investigativo e colunas azuis ao questionário final.

Na aplicação como questionário investigativo houve um aluno que respondeu corretamente “*Não, Vênus é considerado o mais quente do sistema solar por causa do efeito estufa*”, já para a segunda aplicação foram 3 respostas que relacionam Vênus e destes ainda completa “*é exclusivo dos planetas com atmosfera*”. Para esta questão houve um aumento de 47% para 64% de respostas corretas, fator considerado positivo para a aplicação do produto educacional.

“7) *Você acha que os movimentos da Terra, do Sol, da Lua, têm relação com o aquecimento global? Explique.*”

Tabela 9: Análise da questão 7



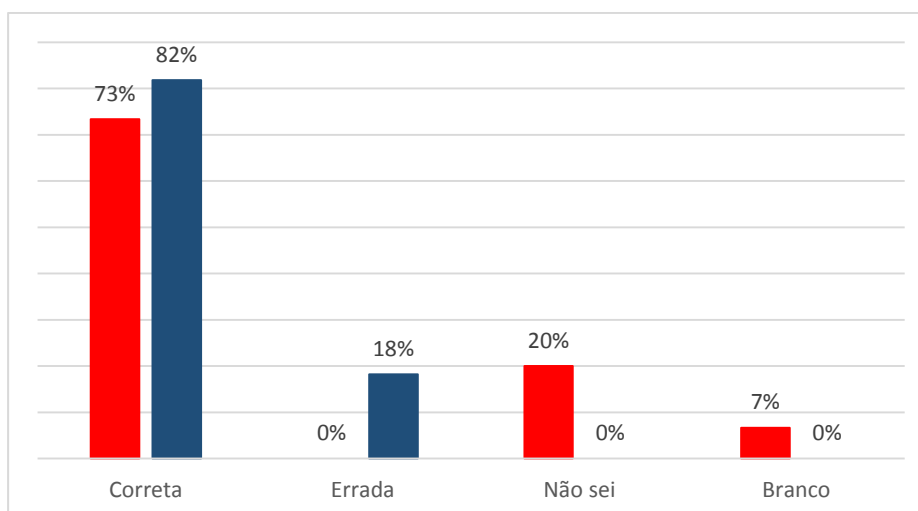
Fonte: O autor

Legenda: Colunas vermelhas estão relacionadas ao questionário investigativo e colunas azuis ao questionário final.

Esta foi a questão que mostrou menor índice de acerto na segunda aplicação, ainda assim, houve um aumento nas questões corretas. Dois pontos chamam a atenção, o primeiro é que quando se discutiu o Ciclo de Milankovich na aula, foi grande a participação dos alunos, inclusive levando a outros temas; o segundo ponto é que nas duas aplicações apenas um aluno explicou sua resposta e o fez de maneira equivocada *“não, porque todos têm seu movimento natural (algo que eles já são acostumados)”*.

*“8) Existe relação entre a temperatura e a radiação que o Sol emite?”*

Tabela 10: Análise da questão 8



Fonte: O autor

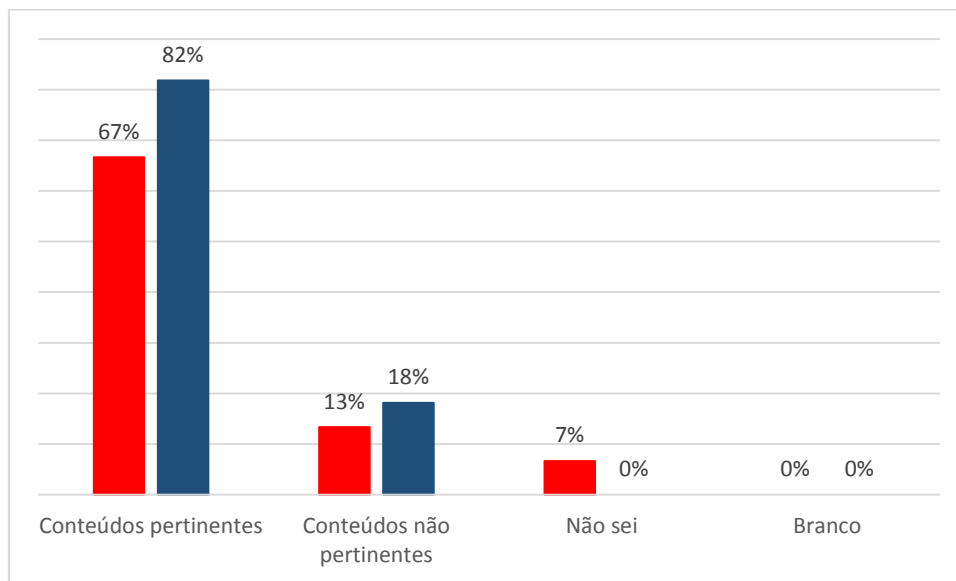
Legenda: Colunas vermelhas estão relacionadas ao questionário investigativo e colunas azuis ao questionário final.



Esta foi a única questão que o a porcentagem de erros cresceu na segunda aplicação, entretanto também subiu o número de acertos e mais uma vez todos os alunos responderam.

“9) O que você sabe sobre calor? (Exemplo: definição, como ocorrem as trocas de calor, etc.)”

Tabela 11: Análise da questão 9



Fonte: O autor

Legenda: Colunas vermelhas estão relacionadas ao questionário investigativo e colunas azuis ao questionário final.

O conceito trabalhado em sala foi: Calor é por definição a transferência de energia entre corpos com temperaturas distintas. Para um sistema isolado (adiabático), o calor é a energia que é transferida de um corpo de maior temperatura para um corpo de menor temperatura.

Na primeira aplicação, os alunos já haviam trabalhado com o conceito antes da aplicação do produto educacional, ainda assim chama a atenção apenas 67% de acertos. Já na segunda aplicação a porcentagem aumentou significativamente para 82% embora não se tenha abordado o conceito de calor nenhuma vez de forma específica, apenas mencionava-se transmissão de calor e/ou transmissão de energia ou radiação. Outro ponto que chama a atenção é que a porcentagem de equívocos dos conceitos científicos escolares, houve aumento de 13% para

18% porém, em números absolutos não houve mudança, foram dois alunos para cada aplicação.

As questões dez, onze, doze, treze, catorze e quinze constam apenas no questionário final. Doze alunos responderam e a análise das respostas está abaixo.

*“10) Por que não são todos os gases da atmosfera que influenciam no efeito estufa?”*

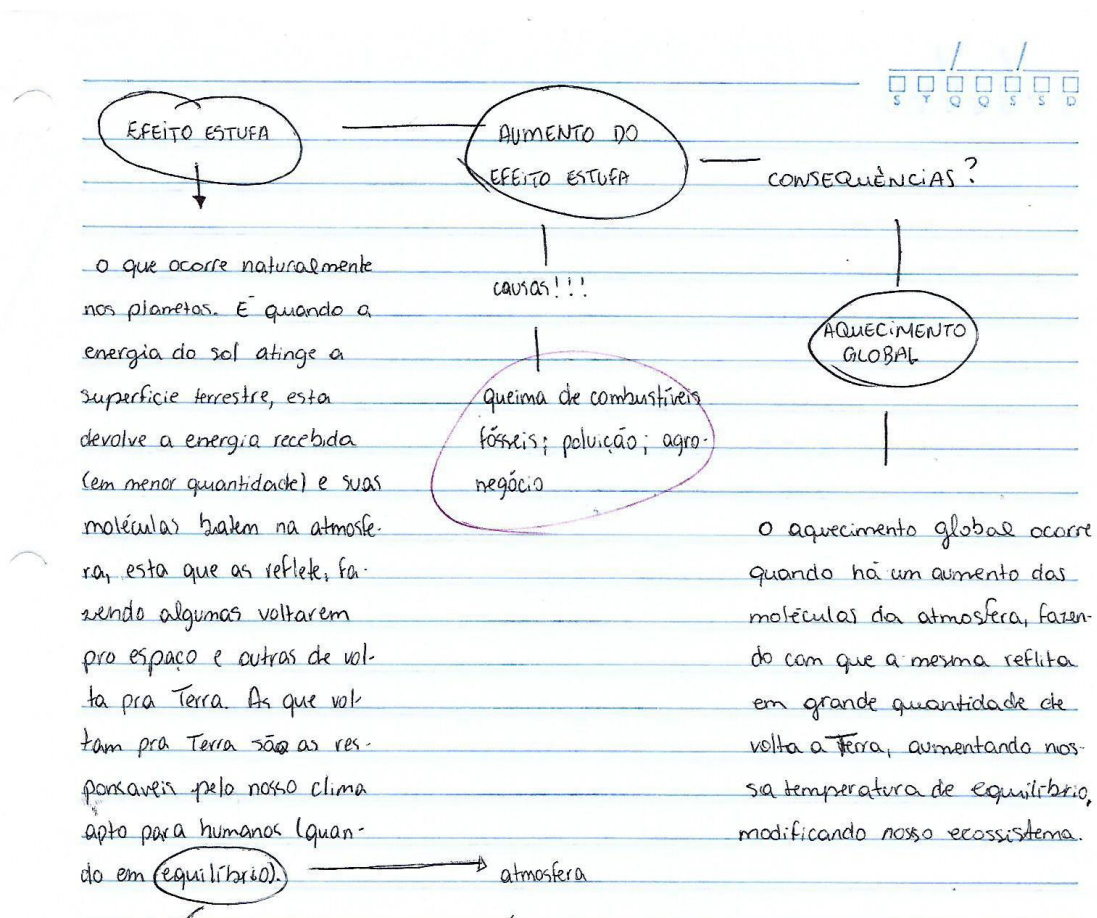
Seis alunos responderam que não sabiam exatamente o porquê, mas que está relacionado a vibração das moléculas. Dois alunos deixaram a resposta em branco e quatro responderam, depois de discutirem bastante (mesmo sendo respostas individuais), sobre a quantidade de átomos que as moléculas têm e o modo que a molécula vibra a deformando, estes quatro colocaram que a resposta foi com base na simulação.

Houve bastante dificuldade em responder esta questão, os alunos se queixaram de que não *“lembravam”* a resposta e perguntaram se poderiam olhar nas anotações no caderno. Como as respostas eram individuais e sem consulta a materiais didáticos, o professor lembrou-os da simulação Luz e Moléculas do computador, a partir deste ponto as respostas foram formuladas.

*“11) Você saberia diferenciar efeito estufa de aquecimento global?”*

A resposta de um aluno esteve equivocada conceitualmente, tanto na definição do efeito estufa quanto na do aquecimento global. As demais respostas conceituaram bem o efeito estufa e o diferenciam do aquecimento global. Podemos citar a resposta de um aluno: *“Sim, o sol “esquenta a Terra” com raios solares, boa parte a terra reflete, mas com o efeito estufa, os gases que fica na atmosfera seguram esse calor assim fazendo como se fosse uma estufa. O aquecimento global é a intensificação do efeito estufa”*, ou ainda outro aluno que montou uma espécie de mapa conceitual Figura 13, mostrando equívocos no conceito científico escolar do efeito estufa, contudo, evidenciando a diferença entre este e aquecimento global.

Figura 13: Digitalização da resposta de um aluno



Fonte: O autor

Nessa questão alguns alunos, antes de responder, perceberam que se equivocaram, questão de número cinco (aplicada na primeira parte do questionário) e comentaram este fato em voz alta.

“13) O estudo do aquecimento global é estudado por apenas uma área do conhecimento? Você saberia indicar qual ou quais?”

Todos os alunos responderam que não para a primeira pergunta. Para a segunda pergunta a primeira ciência que todos responderam foi a Física; dez alunos incluíram nas respostas política e meteorologia; outros quatro também puseram responderam química. As respostas são satisfatórias na medida que mostram que os alunos conseguiram entender que são muitas as áreas que estudam o fenômeno com diferentes abordagens.

*“14) Você poderia dizer se o seu modo de vida pode influenciar nos fenômenos efeito estufa ou aquecimento global? Por quê?”*

Dez alunos responderam que sim, destes todos falaram sobre as questões de geração de gases poluentes como por exemplo, andar em carros movidos a gasolina, ainda, três alunos vegetarianos responderam também sobre o consumo de carne que deriva da criação de gado. Um aluno deixou em branco a resposta e outro respondeu não sei.

Importante ressaltar que é a primeira vez que houve, ainda que de forma generalizada, respostas que conseguem mostrar a influência de nossos estilos de vida em questões ambientais globais.

*“15) Quais os principais fatores que geram discussão nas questões relacionadas ao aquecimento global?”*

Mais uma vez, nas respostas foram dadas ênfases nas questões políticas e econômicas como a produção de produtos derivados do petróleo e criação de gado. Segundo as respostas, os alunos já levam em consideração que a forçante radiativa é o que mais influencia no aquecimento global, é a mudança de radiação terrestre para o espaço, que realmente é o fator que gera maior discussão nas sociedades científicas.

## 4.8 Avaliação

A aprendizagem significativa é um processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura pré-existente e específica do indivíduo, a qual é conhecida como conceito subsunçor, ocorre quando uma nova informação interage e se organiza de forma não arbitrária com os subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Para identificar evidências da aprendizagem significativa, a melhor maneira é formular questões e problemas de maneira nova e não familiar que requeiram máxima transformação do conhecimento adquirido. Avaliações devem ser escritas de maneira diferente e apresentadas em contexto diferente daquela trabalhada no material instrucional (MOREIRA, OSTERMANN, 1999).

Esta sequência teve o cuidado de avaliar os alunos de diferentes maneiras com diferentes abordagens, tanto de maneira qualitativa quanto quantitativa.

Qualitativamente os alunos dissertavam (resumiam), individualmente, o que haviam entendido ao final de cada aula. Nos resumos foram observados os conceitos físicos, a evolução dos conceitos nas aulas seguintes e a conexão dos conceitos entre as aulas. Outro momento de avaliação qualitativa, que serviu de maneira enriquecedora, foi a aplicação do questionário da aula seis, ao final da sequência didática, que também serviu como análise da sequência didática.

Os resumos da aula três foram os melhores escritos, os alunos definiram bem o conceito de ondas eletromagnética e as diferentes ondas em relação ao comprimento de onda. Nada explícito foi escrito sobre as diferenças entre o comprimento de onda da luz visível e radiação infravermelha, contudo, considerou-se que esta diferença estava contida na explicação das ondas eletromagnéticas e seus diferentes comprimentos de onda. Por fim, para esta avaliação, a aula foi considerada positiva.

Nos resumos da aula quatro, os alunos conceituaram o efeito estufa com bastante precisão, contudo não escreveram nada sobre o movimento das moléculas que é um dos pontos chaves desta aula. Os poucos equívocos dos conceitos científicos escolares se deram novamente nos nomes das radiações, trocaram infravermelho por ultravioleta. Analisando os resultados desta avaliação, consideramos a aula e os alunos positivamente.

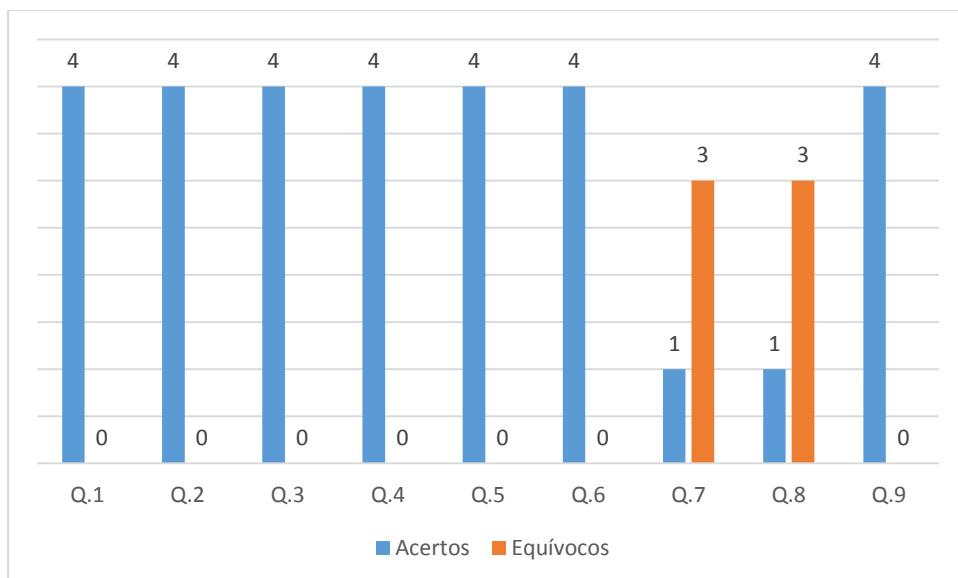
As avaliações quantitativas foram feitas em três momentos, o primeiro momento foi na aplicação das sete questões que compõem a aula quatro, o segundo momento foi na aplicação das três questões na aula seis sobre aquecimento global, e por fim, também na aula seis, com a aplicação da simulação dos cálculos das temperaturas para dois planetas, um com e outro sem atmosfera.

Na primeira avaliação os alunos tiveram bom desempenho, as questões de múltipla escolha foram respondidas sem equívocos nos conceitos científicos escolares e as questões dissertativas foram respondidas corretamente, mas com pouca profundidade conceitual. Como o número de acertos foi maior que a média seis, que é a exigida pelo Colégio, os alunos ficaram acima da média.

A segunda avaliação foi a aplicação das quatro questões do ENEM relacionadas ao aquecimento global ao final da aula seis. Os alunos foram divididos em grupos e responderam as questões sozinhos em sala. Não houve nenhum equívoco, e por isso os alunos ficaram acima da média do Colégio.

Na terceira avaliação a turma foi separada em quatro grupos e os acertos nas respostas foram:

Tabela 12: Resultados das questões da simulação



Fonte: O autor

Legenda: cada questão foi assinalada com a letra Q e seu número, eram quatro grupos, desse modo a soma máxima por questão é quatro. As colunas azuis são respostas corretas e as colunas laranjas são questões equivocadas.

As questões geraram um estranhamento no início devido a raiz quarta e, na correção das questões, os alunos comentaram que houve pouca atenção na hora de responder as questões sete e oito (Q.7 e Q.8). Contudo, sendo qualitativa a avaliação, todos os grupos acertaram a grande maioria das questões, sendo assim os grupos atingiram media maior que seis, que é a média cobrada pelo Colégio.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem a questões ambientais se mostrou próspera dado a verificação da construção de conhecimento através do resultado das avaliações, entretanto, carrega alguns pontos problemáticos, pois são questões complexas que podem ser interpretadas de diferentes maneiras em diferentes contextos, deste modo o conteúdo se estende por tempo relativamente longo se considerarmos o ano letivo em relação à quantidade de conteúdo de Física que é comumente abordado nas escolas. A sequência didática, em algum momento, enveredou para abordagens políticas acerca do aquecimento global, neste ponto o professor deve estar preparado para discutir com os alunos tentando sempre conectar a conversa as percepções científicas. Outro ponto a ser considerado para melhor desenvolvimento do conteúdo relacionado a questões ambientais é o estudo destas por professores de outras disciplinas, principalmente de química e biologia que compõem a área da ciência da Natureza, uma vez que, os colégios da rede pública estadual avaliam o aluno por área do conhecimento. Considerados os pontos a serem debatidos para melhoria do produto educacional, cabe ressaltar que, ainda sendo com poucas aulas, a sequência didática colabora para o ensino de Física, traz ao debate, sobre a ótica da Física, questões que estão em voga na sociedade e que, muitas vezes, são tratadas de maneira simplista ou sensacionalista. Em suma, a sequência didática é um instrumento para uso do professor em sala de aula que ajuda na construção de uma sociedade mais crítica através do ensino de Física.



## 6 REFERÊNCIAS

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **What is the Greenhouse Effect?**, 2016. Disponível em: <<https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/climatesciencenarratives/what-is-the-greenhouse-effect.html>>. Acesso em 9 jun 2018.

\_\_\_\_\_ **A natureza da Luz.** Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/espectro.htm>> Acesso 20 jun. de 2018

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, D; HENESIAN, H. **Psicologia educacional.** 1 ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BARRY, R. G. **Atmosfera, tempo e clima.** 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base. Ministério da Educação, 2018.** Disponível em: <[http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf)> Acesso: 26 jun. 2019.

BATISTA, R. C; OLIVEIRA, J. E.; RODRIGUES, S. F. P. **Sequência didática-ponderações teórico-metodológicas.** [s. l.], p. 5380–5385, 2016. Disponível em: <[https://www.ufmt.br/endipe2016/downloads/233\\_9937\\_37285.pdf](https://www.ufmt.br/endipe2016/downloads/233_9937_37285.pdf)>

BRASIL. **PCN + Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais.** Ministério da Educação e Cultura, [s. l.], p. 1–40, 2002.

CACHAPUZ, A. PÉREZ, D. G.; CARVALHO A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. **A necessária renovação do ensino de ciências.** São Paulo: Cortez, 2005.

CARRARO, F. L.; PEREIRA, R. F. O uso de simuladores virtuais do Phet metodologia de ensino de eletrodinâmica. In: **PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Superintendência de Educação. O professor PDE e os desafios da escola pública paranaense: produção didático-pedagógica,** 2014. Curitiba: SEED/PR., 2014. V.1. (Cadernos PDE). Disponível em: <[http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernos/pde/pdebusca/producoes\\_pde/2014/2014\\_uem\\_fis\\_artigo\\_francisco\\_luiz\\_carraro.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernos/pde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uem_fis_artigo_francisco_luiz_carraro.pdf)>. Acesso em: 08 nov. 2019.

CHASSOT, A. I. **Das disciplinas à indisciplina.** 1ª ed. Curitiba: Appris, 2016. 239 p.

CHILINGAR, G. V. **Global Warming : Are We Confusing Cause and Effect ?**[s. l.], v. 25, n. November 2002, p. 357–370, 2003.

CINELLI, N. P. F. **A influência do vídeo no processo de aprendizagem.** 73 f. Dissertação – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003

CPTEC. Efeito Estufa. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Disponível: < <http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/>> Acesso em 04 nov. 2019.

CRETON, J. C. **Conceitos Físicos Envolvidos na Temática do Aquecimento Global na Perspectiva CTS: Uma Proposta de Material Paradidático**. [s. l.], 2010.

DARROZ, L. M. **Uma proposta para trabalhar conceitos de astronomia com alunos concluintes do curso de formação de professores na modalidade normal**. Porto Alegre: UFRGS, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/24712>> Acesso em 30 jul. 2019.

DAYRELL, J. **Múltiplos Olhares sobre educação e cultura**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001.

FOSTER, G.; RAHMSTORF, S. **Global temperature evolution 1979 – 2010**. [s. l.], 2011.

FURTADO, M. T. **Modelo adiabático da atmosfera terrestre compatível com o aquecimento global e o efeito estufa**. [s. l.], v. 3310, 2012.

GLEISER, M. Por que ensinar Física? **Física na Escola**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 4–5, 2000. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol1/Num1/artigo1.pdf>> Acesso em 30 jul. 2018.

GRIMM, A. M., **Meteorologia Básica - Notas de Aula**. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>> Acesso 20 de jun. 2018.

GUIMARÃES, O; PIQUEIRA J. R.; CARRON W. **Física térmica, ondas e óptica. Guimarães, Piqueira e Carron**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.

HANSEN, J. *et al.* **Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide**. [s. l.], v. 213, n. 4511, 1981.

HANSEN, J. *et al.* **Global Climate Changes as Forecast by Goddard Institute for Space Studies**. [s. l.], v. 93, p. 9341–9364, 1988.

HANSEN, J. *et al.* **Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario**. [s. l.], v. 97, n. 18, p. 9875–9880, 2000.

HOUGHTON, J. **Global Warming: The complete Briefing**. [s. l.], p. 351, 2004. Disponível em: <<http://www.gci.org.uk/Documents/Global-Warming-the-Complete-Briefing.pdf>> Acesso em 03 abr. 2019.

IPCC. **Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático**. [s.l: s.n.]. v. 446 Disponível em:

<<http://doi.wiley.com/10.1256/004316502320517344%5Cnhttp://www.nature.com/doi/finder/10.1038/446727a>> Acesso em 04 jan. 2018.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nau. [s.l: s.n.].

IPCC. **Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático**. Ginebra. 2014.

JOS, R.; DISSERTA R.; SBAMPATO, M. E. **Simulação de Espectros de Absorção Determinação de Temperaturas em Chamas**. São José dos Campos: INPE, 2007.

KEPLER, S. O. **Astronomia e astrofísica**. 4 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

KOULALIDIS, V.; CHRISTIDOU, V. Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. **Science Education**, [s. l.], v. 83, n. 5, p. 559–576, 1999.

LOCKWOOD, M. Recent changes in solar outputs and the global mean surface temperature. III. Analysis of contributions to global mean air surface temperature rise. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [s. l.], v. 464, n. 2094, p. 1387–1404, 2008.

LUTGENS, F. K.; TARBUCK, E. J. **The Atmosphere: An Introduction to Meteorology**; illustrated by Dennis Tasa. — 12th ed. Boston: Pearson, 2013.

MACHADO, M.; OSTERMANN, F. Unidades Didáticas para a Formação de Docentes das séries Iniciais do Ensino Fundamental. **Textos De Apoio Ao Professor De Física**, [s. l.], v. 176, 2006. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ta/v17n6\\_Araujo\\_Ostermann.pdf](http://www.if.ufrgs.br/ta/v17n6_Araujo_Ostermann.pdf)> Acesso em 06 Mar. 2018.

MAGALHÃES, D. A. Aquecimento global: uma abordagem para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 36, n. 4, p. 01–09, 2014. Disponível em: <[https://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=22&SID=P15h9yxgxexDOViZtRL&page=1&doc=11&excludeEventConfig=ExcludelfReload](https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=22&SID=P15h9yxgxexDOViZtRL&page=1&doc=11&excludeEventConfig=ExcludelfReload)> Acesso em 06 Mar. 2018.

MOLION, L. C. B. Considerações Sobre O Aquecimento Global Antropogênico. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, p. 7-18, 2008.

MORAN, J. M. Influência dos meios de comunicação no conhecimento. **Ciência da Informação**, Brasília. v. 23, p. 233-238, 1994.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas UEPS\*.

**Textos de apoio ao professor de Física**, [s. l.], v. 23, p. 27, 2012. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>> Acesso em 30 Jul. 2019.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Teorias Construtivistas. **Textos De Apoio Ao Professor De Física**, Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS. v. 176, 2006. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ta/v17n6\\_Araujo\\_Ostermann.pdf](http://www.if.ufrgs.br/ta/v17n6_Araujo_Ostermann.pdf)> Acesso em 06 Mar. 2018.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Teorias construtivistas. **Textos de apoio ao professor de Física**. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 1999. 56 p.: il.

MYHRE, G.; SHINDELL, D.; BRÉON, F. M.; COLLINS, W.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, J.; KOCH, D.; LAMARQUE, J. F.; LEE, D.; MENDOZA, B.; NAKAJIMA, T.; ROBOCK, A.; STEPHENS, G.; TAKEMURA T.; ZHANG H. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

NASA, The Causes of Climate Change. **NASA's Jet Propulsion Laboratory**. Califórnia, 10 de setembro, 2019. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/causes/>> Acesso em 21 set. 2019.

NOAA. Climate at a Glance: Global Time Series. **National Centers for Environmental information**. 4 Nov. 2019. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/cag>. Acesso em 4 nov. 2019.

OLIVEIRA M. J.; CARNEIRO C.D.R.; VECCHIA F.A.S.; BAPTISTA G. M. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **Terra Didática**, [s. l.], v. 13, p. 149–184, 2017. Disponível em: <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatic>> Acesso: 24 Mai. 2018.

OLIVEIRA, M. M. Sequência didática interativa no processo de formação de professores. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013.

PBMC. **Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: COPPE. UFRJ, 2014.

PÉREZ, D. G.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 125–153, 2001.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. Moléculas e Luz. **University of Colorado Boulder**. Disponível: < [https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html)> Acesso em 04 nov. 2019.

PIERREHUMBERT, R. T. Warming the world. **Nature**, [s. l.], v. 432, n. December, p. 266, 2004. Disponível em: <[http://www.phys.ufl.edu/~bernard/met1010\\_S05/warming.pdf](http://www.phys.ufl.edu/~bernard/met1010_S05/warming.pdf)> Acesso em 30 Jul. 2019.

PINA, A. P.; SILVA, L. F.; OLIVEIRA J. Z. T. Mudanças Climáticas: reflexões para subsidiar esta discussão em aulas de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 449–472, 2011. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/12834>> Acesso em 30 Jul. 2019.

REIS, G. R. **Controvérsias Sócio-Científicas: Discutir Ou Não Discutir?**. Lisboa: U. Lisboa, [s. l.], 2004.

RUBINO, L. N. **A Física envolvida no fenômeno do efeito estufa – uma abordagem CTS para o Ensino Médio**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, [s. l.], 2010. Disponível em: <[https://www.if.ufrj.br/~pef/producao\\_academica/dissertacoes/2010\\_Leandro\\_Rubino/dissertacao\\_Leandro\\_Rubino.pdf](https://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2010_Leandro_Rubino/dissertacao_Leandro_Rubino.pdf)> Acesso em 30 Jul. 2019.

SANTOS, A. V.; SANTOS, S. R.; FRAGA, L. M. Sistema de realidade virtual para simulação e visualização de cargas pontuais discretas e seu campo elétrico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 185-195, jun.2002.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E.F.; **Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S ( Ciência – Tecnologia – Sociedade ) no contexto da educação brasileira**. [s. l.], v. 02, p. 110–132, 2002.

SCHWERTL, S. L.; BAZZO, W. A. Aquecimento Global e Educação Científica e Tecnológica. In: ATAS DO IX ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS – IX ENPEC 2013, **Anais...** [s.l: s.n.]

SENA, E. T. **Variabilidade espacial e temporal da forçante radiativa direta de aerossóis de queimadas e os efeitos da mudança de uso do solo na Amazônia**. São Carlos: USP, 2013.

SCHWARZACHER, W. **Cyclostratigraphy and the Milankovitch Theory**. 52. ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V, 1993.

SILVA, C. N. D.; LOBATO, A. C.; LAGO, R. M.; CARDEAL, Z. L.; QUADROS, A. L. Ensinando a Química do Efeito Estufa no Ensino Médio: Possibilidades e Limites. **Química Nova na Escola**, [s. l.], v. 31, n. 4, 2009.

SOUSA, L. F.; COSTA, I. F. **APLICAÇÕES DOS CONCEITOS DA FÍSICA NO COTIDIANO**. Planaltina: Universidade de Brasília, 2017.

SOUZA, R. S. **A FÍSICA NO DIA A DIA: materialização da interdisciplinaridade no ensino médio**. [s. l.], p. 76–91, 2016.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO R. C. **A química no Efeito Estufa.** Química Nova na Escola. nº 8, Nov. 1988.

USOSKIN, I. G. **Solar activity , cosmic rays , and Earth ' s temperature : A millennium-scale comparison.**[s. l.], v. 110, p. 1–11, 2005.

VEISSID, N.; PEREIRA, E. B. **Estimativa do albedo planetário empregando dados do experimento célula solar do satélite brasileiro.** [s. l.], v. 18, n. 012, 2000.

VENDITTI, F. C. F. **manobras orbitais ao redor de corpos irregulares.** São José dos Campos: INPE, [s. l.], 2013. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3F7Q5U2%3E>> Acesso em 30 Jul. 2019.

WANNER, W. et al. Global retrieval of bidirectional reflectance and albedo over land from EOS MODIS and MISR data: Theory and algorithm. [s. l.], v. 102, p. 143–161, 1997.

ZABALA, A. V., **La práctica educativa: cómo enseñar.** 2. Ed. Barcelona: Graó, 1997.

**APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL**

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**PRODUTO EDUCACIONAL**

**UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA FACILITADORA DA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA NO ESTUDO DO EFEITO ESTUFA E DO  
AQUECIMENTO GLOBAL**

Augusto Cezar Gessi Caneppele

Prof. Dr. Dakir Larara Machado da Silva  
Orientador

Prof. Dr. Silvana Da Dalt  
Coorientador

Tramandaí  
Dezembro de 2019

## LISTA DE FIGURAS

Figura A.1: Anomalias das temperaturas dos oceanos e terrestres

Figura A.2: Equilíbrio térmico

Figura A.3: Espectro Eletromagnético

Figura A.4: Intensidade de radiação para corpos negros em diferentes temperaturas

Figura A. 5: Gráficos das intensidades de radiação para o Sol e a Terra

Figura A.6: Efeito Estufa

Figura A.7: Modelo ideal do efeito estufa

Figura A.8: Comparação entre as intensidades dos espectros solar e terrestre, considerando Sol e Terra como corpos negros

Figura A.9: Modos de vibração da molécula de dióxido de carbono

Figura A. 10: Moléculas e Luz. A interação de determinadas

Figura A. 11: Distribuição dos percentuais da radiação solar e da emissão da Terra

Figura A.12: Equilíbrio térmico

Figura A.13: Excentricidade da órbita terrestre

Figura A.14: Obliquidade da eclíptica

Figura A.15: Precessão dos Equinócios

Figura A.16: Irradiância solar ao longo de 60 anos

Figura A.17: Temperatura *versus* Irradiância Solar

Figura A.18: À esquerda o planeta Melissa (a) com atmosfera sem gases de efeito estufa, a direita (b) a Terra tem atmosfera com gases de efeito estufa



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela A.1 – Planejamento do produto educacional

Tabela A.2 – Dados relevantes de alguns planetas no estudo do clima

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	83
Aula 1 – QUESTIONÁRIO INVESTIGATIVO	85
Aula 2– INTRODUÇÃO AO EFEITO ESTUFA E AO AQUECIMENTO GLOBAL	87
Aula 3 – RADIAÇÃO SOLAR	94
Aula 4 – EFEITO ESTUFA	100
Aula 5 – AUMENTO DO EFEITO ESTUFA (AQUECIMENTO GLOBAL)	113
Aula 6 – AVALIAÇÃO FINAL	126

## APRESENTAÇÃO

Questões ambientais, muitas vezes, são apresentados pela mídia com informações sensacionalistas ou com abordagens simplistas, influenciando concepções equivocadas no aluno. Somam-se a isso dois fatores: o primeiro que na grande maioria das escolas a aprendizagem é feita de forma mecânica; e ainda o segundo fator é que as ciências são apresentadas, geralmente, com aulas abstratas e puramente formais desmotivando os alunos. Nesse contexto o produto educacional visa abordar de maneira contextualizada questões ambientais como os fenômenos efeito estufa e aquecimento global, relacionando-os entre si e com alguns fenômenos físicos.

Para tanto, optou-se para a criação de uma sequência didática amparada na Teoria da Aprendizagem Significativa. A sequência tem por objetivo definir o fenômeno do efeito estufa a partir do estudo de alguns conceitos físicos como radiação solar, absorção e emissão de radiação pelas moléculas e mostrar a diferença entre os fenômenos de efeito estufa e aquecimento global.

Sequência didática é o conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que tem um princípio e um fim conhecidos tanto por professores como pelos alunos (ZABALA, 1997).

Esta sequência didática foi organizada em 6 aulas que, dependendo da turma, duram em média 14 períodos. Inicia-se com um questionário investigativo de 9 questões que buscam determinar os conhecimentos prévios denominados subsunçores dos alunos, após contextualiza os fenômenos efeito estufa e aquecimento global, definindo o primeiro a partir de alguns fenômenos físicos, para então ser diferenciado e relacionado ao segundo.

Ainda, para esta sequência são abordados vídeos para a contextualização dos problemas que envolvam o efeito estufa e aquecimento global, textos para demonstrar o contexto histórico, aulas expositivas e simulação computacional mostrando fenômenos físicos relacionados. Com essas diferentes didáticas busca-se motivar o aluno no processo de aprendizagem para que as aulas não sejam repetitivas.

Na Tabela A.1, está sintetizado planejamento da sequência didática (produto educacional) com suas etapas, aulas, conteúdos e objetivos

Tabela A.1 – Planejamento do produto educacional

		Conteúdo	Objetivo
1ª Etapa	Aula 1	Questionário investigativo com 9 perguntas.	Aplicação do questionário para definir os conhecimentos prévios referentes a efeito estufa e aquecimento global.
	Aula 2	Efeito Estufa; Aquecimento Global.	Incluir os/as estudantes no contexto da sequência didática.
2ª Etapa	Aula 3	Radiação solar; Espectro eletromagnético; Comprimento e frequência de ondas; Lei de Wien; Espectro de radiação do Sol e da Terra.	Mostrar o balanço de energia entre a Terra e o Sol; entender a diferença nos comprimentos de ondas da radiação que chega até a Terra e é emitida pela mesma e com isso verificar os espectros de radiação da Terra e do Sol
	Aula 4	Interação entre radiação e matéria; Movimento das moléculas dos gases de efeito estufa; Efeito estufa.	Entender o efeito estufa a partir da interação entre radiação e matéria.
	Aula 5	Forçantes Radiativas; Aquecimento Global	Verificar algumas causas que reconhecidamente geram desequilíbrio do balanço de energia, gerando assim, aquecimento global.
3ª Etapa	Aula 6	Questionário Final.	Avaliar os alunos com a aplicação do questionário final

Abaixo estão as 6 aulas que compõem a sequência didática, no início de cada aula há um parágrafo que contextualiza a aula e expõe os objetivos da mesma, após verifica-se o tempo estimado para aplicação da aula, os procedimentos a serem seguidos e, por fim, uma sugestão de avaliação dos alunos para a aula.

## **Aula 1 – QUESTIONÁRIO INVESTIGATIVO**

As nove perguntas deste questionário (APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL) foram adaptadas do trabalho Conceitos Físicos Envolvidos na Temática do Aquecimento Global na Perspectiva CTS: Uma Proposta de Material Paradidático, de Joziel Costa Creton. O questionário visa reconhecer os conhecimentos prévios dos alunos a respeito do Efeito estufa e Aquecimento global, para então, a partir dos subsunçores encontrados, construir a sequência didática.

### **Tempo estimado:**

1 a 2 períodos de aula.

### **Procedimento:**

Faz-se uma breve explanação aos alunos de que o questionário servirá para verificar seus conhecimentos prévios sobre o efeito estufa e aquecimento global, e que, a partir desses conhecimentos, as atividades serão adaptadas. As respostas são individuais e sem consulta. É interessante ler todas as questões em voz alta para verificar dúvidas dos alunos.

Nome:

Turma:

Data:

**Por favor, responda de forma resumida e objetiva.**

- 1) Você já ouviu falar sobre efeito estufa ou aquecimento global? Onde?
- 2) Quais assuntos de Física poderíamos abordar envolvendo o efeito estufa ou aquecimento global?
- 3) Você saberia dizer quais são as causas do aquecimento global?
- 4) Você sabe o que é o efeito estufa? Saberia dizer como funciona?
- 5) Você considera o fenômeno do efeito estufa como natural ou artificial (gerado pela ação humana)? Explique.
- 6) O Efeito Estufa é um fenômeno exclusivo do nosso Planeta?
- 7) Você acha que os movimentos da Terra, do Sol, da Lua têm relação com o aquecimento global? Explique.
- 8) Existe relação entre a temperatura e a radiação que o Sol emite?
- 9) O que você sabe sobre calor? (Exemplo: definição, como ocorrem as trocas de calor, etc.)

## **Aula 2– INTRODUÇÃO AO AQUECIMENTO GLOBAL**

Esta aula está pensada para contextualizar os alunos com os assuntos sobre efeito estufa e aquecimento global. Primeiramente assiste-se a vídeos de repositórios de vídeos, nos quais, há diferentes opiniões sobre os fenômenos mostrando assim, diferentes modos de interpretação dos mesmos e, na sequência, lê-se um texto adaptado de um livro didático que mostra o início do estudo do efeito estufa e mostra um panorama do estudo do aquecimento global.

### **Tempo estimado:**

1 a 2 períodos de aula.

### **Procedimentos:**

- Os vídeos que esta sequência propõem e que são encontrados na página 89 são: Aquecimento Global I Nerdologia; O que causa o aquecimento global; Nando Moura x Ricardo Felício – Aquecimento Global.; Prof. Luiz Carlos Molion: não existe aquecimento global, são encontrados no repositório de vídeo YouTube e devem ser assistidos primeiramente pelo professor para que, em sala, o professor possa pular partes desnecessárias e dar foco às principais partes dos vídeos segundo as perspectivas do efeito estufa e aquecimento global. A cada vídeo assistido é recomendável abrir espaço para perguntas ou comentários dos alunos e, se for de preferência do professor, fazer um breve comentário.
- Na sequência, faz-se uma leitura do texto ESTUDO SOBRE QUESTÕES AMBIENTAIS o mesmo se encontra na página 90, adaptado do livro Física térmica, ondas e óptica. Guimarães, Piqueira e Carron. O texto é dividido em duas partes, a primeira, DESCOBERTA DO EFEITO ESTUFA, aborda o contexto histórico do estudo do efeito estufa e a segunda parte, AQUECIMENTO GLOBAL, relata brevemente como o aquecimento global é abordado por grupos de estudo. Recomenda-se uma leitura em voz alta e interpretação do gráfico em conjunto. Ao final abre-se um tempo para perguntas ou comentários sobre o texto.

### **Avaliação:**

Após essa introdução, recomenda-se pedir aos alunos que façam um breve relatório da aula, no qual abordem os fenômenos estudados.



## Vídeos abordados na sala de aula e seus respectivos URL's para acesso.



### Aquecimento Global | Nerdologia

Nerdologia • 641 mil visualizaciones • hace 2 años

No Nerdologia de hoje vamos ver porque ainda se debate aquecimento global. Apresentação e Roteiro: Áttila Iamarino ...

9:20

Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=8sovsUzYZFM>>



### O que causa o aquecimento global

Senado Federal • 173 mil visualizaciones • hace 3 años

Animação do Jornal do Senado explica o mecanismo que está provocando o aquecimento global, quais são os maiores ...

3:46

Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=Oe0npq64-LI>>



### Nando Moura x Ricardo Felício - Aquecimento Global.

Nando Moura • 771 mil visualizaciones • hace 2 años

Mídias Sociais Prof. Ricardo Felício: - Youtube: <https://www.youtube.com/channel/UC50d2Cgxy574C1Ila305orA> - Twitter: ...

48:01

Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=Fsz1i7Vpou0>>



### Prof. Luiz Carlos Molion: não existe aquecimento global

Luis Dufaur • 428 mil visualizaciones • hace 1 año

Veja mais em: Molion fez crítica científica da encíclica que antecipa as conclusões do Sinodo Pan-amazônico ...

41:19

Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=CMecSb3dDnY>>

## ESTUDO SOBRE QUESTÕES AMBIENTAIS

### A DESCOBERTA DO EFEITO ESTUFA

(Texto adaptado do livro Física térmica, ondas e óptica. Guimarães, Piqueira e Carron)

Em 1681, o cientista francês Edme Mariotte (1620-1684) já observava que, embora o calor solar passasse facilmente pelo vidro, o calor de uma lareira não o fazia. Em 1760, o geólogo e físico suíço Horace Benedict Saussure (1740-1799) construiu o heliôtermômetro, um aparato formado por um termômetro dentro de uma caixa escura envolta por placas de vidro. Benedict mostrou que as temperaturas medidas eram bem maiores quando as placas de vidro eram colocadas.

Em 1824, o cientista francês Joseph Fourier (1764-1830), citando Benedict, argumentou: “a temperatura da Terra é aumentada pela interposição da atmosfera, porque o calor luminoso encontra menos resistência para penetrar através do ar do que o calor não luminoso repassado pela Terra”, Contudo, não se sabia exatamente quais substâncias eram responsáveis por essa diferença.

Em 1859, o físico inglês John Tyndall (1820-1893) identificou, por meio de experimentos, que moléculas mais complexas do que as simples diatômicas  $O_2$  e  $N_2$ , como o  $CO_2$  e  $H_2O$ , absorviam muito mais o “calor não luminoso” (infravermelho).

O vidro comum e outros materiais também têm a propriedade de retenção do infravermelho. Por exemplo, algumas plantas necessitam de temperaturas maiores que as do ambiente local em que são cultivadas para sobreviver. Por isso, elas são cultivadas em uma estufa: um galpão, geralmente de vidro, que permite a entrada da maior parte da radiação solar, mas bloqueia boa parte do que seria emitido na faixa do infravermelho, tornando o ambiente interno mais quente do que o externo. Daí a razão do nome efeito estufa.

### AQUECIMENTO GLOBAL

O efeito estufa é um fenômeno natural que tem aspectos benéficos para o planeta, propiciando temperatura médias adequadas para os seres vivos.

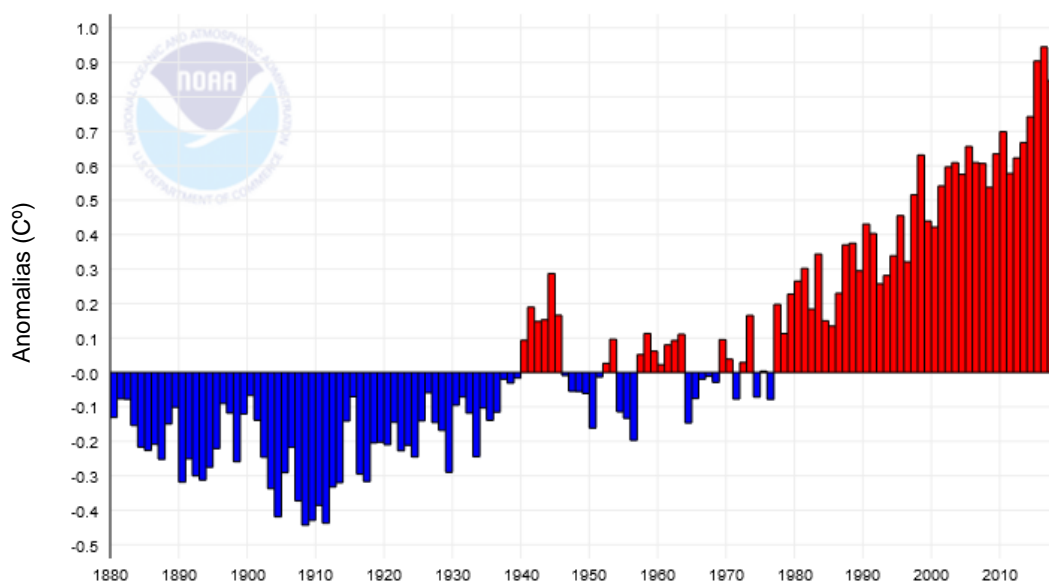
Contudo, o aumento desse fenômeno pode ser prejudicial, ocasionando aumento nas temperaturas médias.

O aumento do efeito estufa, conhecido como aquecimento global, é um ramo interdisciplinar que envolve diversas áreas do conhecimento. Nesse ramo são levadas em consideração contribuições de físicos, químicos, biólogos, geógrafos, meteorológicos, entre outros. A grande quantidade de relatórios sobre o assunto, devido às diversas contribuições das variadas áreas do conhecimento, é um fator que dificulta a sintetização do conhecimento construído.

Um órgão internacional constituído por cientistas do mundo todo é expoente na pesquisa, monitoramento e sistematização de questões ambientais: é o Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC – em inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change*), criado em 1988 pelas Nações Unidas e pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, na sigla em inglês).

Cientistas registram a temperatura em todo o globo, para isso, usam diversas técnicas e aparelhos que vão sendo melhorados com o passar dos anos. As medidas são feitas com a ajuda de termômetros em estações climatométricas, satélites com medidas no espectro do infravermelho, entre outras. Estas medidas da temperatura são analisadas e comparadas desde muito tempo, como mostra a Figura A.1.

Figura A.1: Anomalias das temperaturas dos oceanos e terrestres



Fonte: <[https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land\\_ocean/ytd/12/1880-2019](https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land_ocean/ytd/12/1880-2019)>

(Adaptado)

Hoje em dia o mais apropriado instrumento para medir a temperatura global são os satélites, pois levam em consideração grandes áreas, incluídos oceanos, porém, os principais estudos levam em consideração, também, as estações climatométricas de superfície.

Os dados históricos colocados nos principais relatórios mundiais datam de 1880 (Figura A.1), pouco mais que 130 anos atrás, porém, calcula-se aproximadamente que a Terra tenha 4,5 bilhões anos e, sabe-se que a Terra passou por diversas mudanças climáticas, períodos quentes e eras glaciais, por isso pergunta-se: é suficiente pouco mais de 130 anos de dados para determinar se há realmente aquecimento global?

Os debates sobre o aquecimento global, bem como seus potenciais impactos ambientais e socioeconômicos, são amplamente divulgados para a sociedade em geral. Muitas vezes, informações são publicadas pelos meios de comunicação de maior acesso da população, sem o devido cuidado e esclarecimento sobre os conceitos utilizados, gerando por vezes, conclusões alarmistas e conflitantes, desse modo é necessário compreender melhor o efeito estufa e o aquecimento global para conseguir analisar de forma crítica as informações e se posicionar como cidadão.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_Aquecimento Global I Nerdologia. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=8sovsUzYZFM>> Acesso em 05 ago. 2018.

\_\_\_\_\_Nando Moura x Ricardo Felício – Aquecimento Global. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Fsz1i7Vpou0>> Acesso em 05 ago. 2018.

GUIMARÃES, O; PIQUEIRA J. R.; CARRON W. **Física térmica, ondas e óptica. Guimarães, Piqueira e Carron.** 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.

MOLION, L. C. B. Considerações Sobre O Aquecimento Global Antropogênico. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, p. 7-18, 2008.

NOAA. Climate at a Glance: Global Time Series. **National Centers for Environmental information.** 4 nov. 2019. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/cag>. Acesso em 4 nov. 2019.

\_\_\_\_\_O que causa o aquecimento global. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Oe0npq64-LI>> Acesso em 05 ago. 2018.

Prof. Luiz Carlos Molion: não existe aquecimento global. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=CMecSb3dDnY>> Acesso em 05 ago. 2018.

## **Aula 3 – RADIAÇÃO SOLAR**

Nesta aula, o objetivo geral é mostrar que a radiação solar e a radiação terrestre têm comprimentos de ondas diferentes. Para lograr o objetivo geral, serão abordados objetivos específicos:

- Transmissão de calor por radiação;
- Equilíbrio térmico da Terra;
- Espectro eletromagnético;
- Lei de Wien.

Os objetivos específicos serão abordados de modo que a sequência levará ao objetivo geral.

### **Tempo estimado**

2 a 3 períodos.

### **Procedimentos**

- Para esta aula é necessário que o aluno saiba o que é calor. O texto pode ser lido em sala de aula pelo professor, em conjunto com a turma; desse modo, toda vez que necessitar a explicação dos objetivos específicos, o professor para a leitura e aborda os objetivos, levando sempre em consideração o objetivo geral.
- A abordagem da Lei de Wien deve ser feita pelo professor dando ênfase nos comprimentos de onda dos picos de emissões da Terra e do Sol.
- Os alunos devem responder as 5 questões do texto, verificando que as diferenças nos comprimentos de ondas em relação à temperatura.

### **Avaliação:**

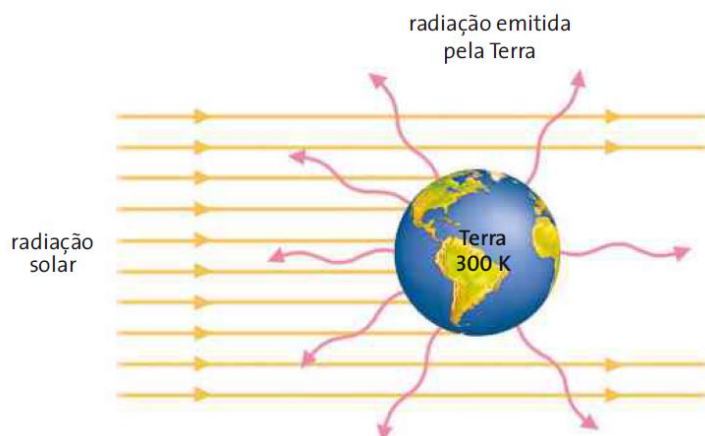
Após a aula, recomenda-se pedir para os alunos fazerem um resumo da aula.

## RADIAÇÃO SOLAR

O Sol é a principal fonte de energia da Terra, quando nos expomos ao Sol, recebemos uma quantidade de energia que nos chega por meio de ondas eletromagnéticas. O processo de transferência de energia através de ondas eletromagnéticas denomina-se **radiação**<sup>9</sup>. No nosso sistema solar quase não há matéria no espaço interplanetário, assim, podemos considerar o espaço muito próximo de um vácuo, nesta configuração, a transferência de energia do Sol para os seus planetas é por radiação.

Assumindo que a energia que chega até a Terra é absorvida pela mesma, podemos nos perguntar: por que a Terra não aumenta a temperatura? Para responder isso, Jean Baptista Fourier (1768-1830) assumiu que a taxa de energia recebida pela Terra era reemitida com mesma taxa para o espaço, chegando a um equilíbrio térmico, assim a Terra e os outros planetas podem manter uma temperatura constante.

Figura A.2: Equilíbrio térmico



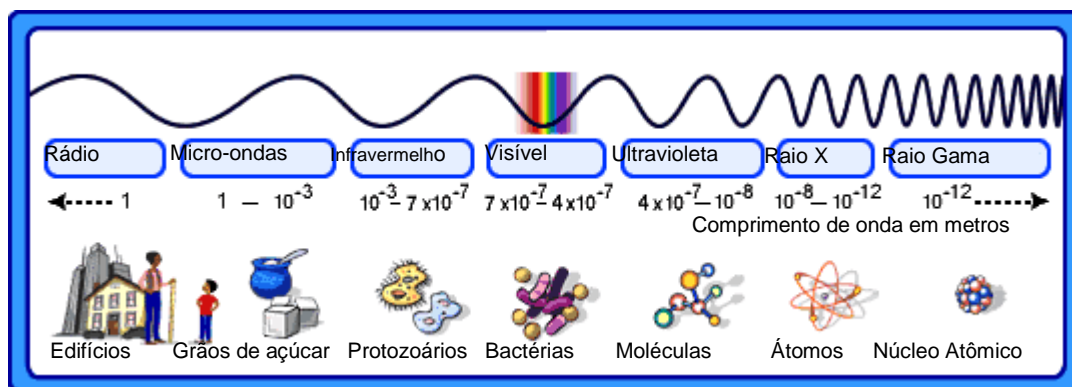
Fonte: Física – Física térmica – Ondas – Óptica (Adaptada)

Legenda: A Terra Absorve radiação solar à mesma taxa com que irradia radiação infravermelha para o espaço. A temperatura global se mantém em torno de uma mesma média.

<sup>9</sup> **Irradiação** é outra denominação dada por muitos livros para o processo de transferência de energia através de ondas eletromagnéticas.

A energia irradiada em forma de ondas eletromagnéticas inclui ondas de rádio, as micro-ondas, a radiação infravermelha, a radiação visível, a radiação ultravioleta, os raios X e raios gama. Essas formas de energia estão listadas por ordem de comprimento de onda, do mais longo ao mais curto, esta forma de ordenar as ondas são mostradas no espectro eletromagnético (Figura A.3). Também, percebe-se que o comprimento de onda está associado a taxa de vibração da onda, a qual chamamos frequência.

Figura A.3: Espectro Eletromagnético



Fonte: <<http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/espectro.htm>> (Adaptada)

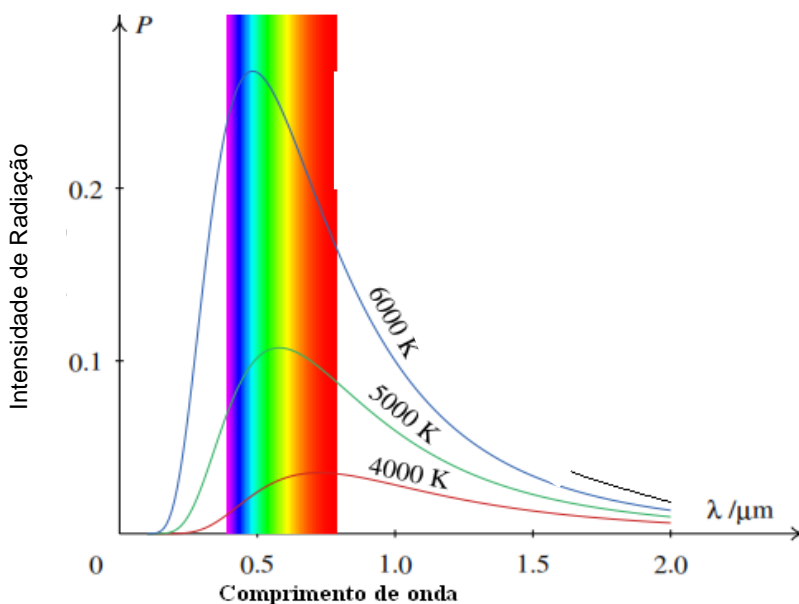
A maior parte da energia radiante do sol está concentrada em partes visíveis e próximo do visível do espectro. A luz visível corresponde a ~43% do total emitido, 49% estão no infravermelho próximo e 7% no ultravioleta. Menos de 1% da radiação solar é emitida como raios X, raios gama e ondas de rádio. Assim, nós evoluímos como seres em contato com a Luz Solar; desse modo, as células da retina do olho humano são sensíveis a uma radiação num estreito intervalo entre  $0,4 \times 10^{-6}$  m a  $0,7 \times 10^{-6}$  m. Toda as substâncias a qualquer temperatura acima do zero absoluto (0 Kelvin = - 273°C) emitem energia geradas pelas agitações moleculares. Os corpos mais quentes (com maior agitação molecular) emitem maior quantidade de energia que os mais frios. Deste modo, a energia emitida por um corpo (o Sol e a Terra, por exemplo) está relacionada a sua temperatura e pode ser determinada através de leis físicas. O comprimento de onda máximo de emissão (pico de emissão) é dado pela lei de Wien.

A lei de Wien explica porque uma barra de ferro, quando aquecida, primeiro torna-se vermelha, depois amarela e ao fim esbranquiçada, pois quanto maior é a



temperatura, menor o comprimento de onda em que ocorre a emissão de máxima intensidade.

Figura A.4: Intensidade de radiação para corpos negros em diferentes temperaturas



#### LEI DE WIEN:

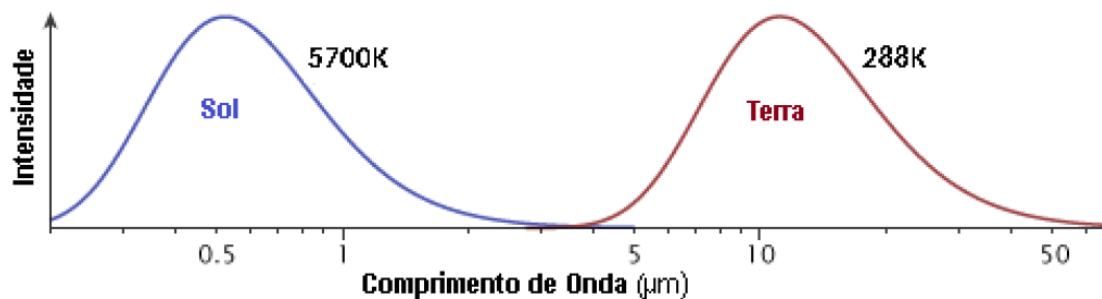
$$\lambda_{(máx)} \cdot T = 2\,897,6 \mu m k$$

Onde  $\lambda_{(máx)}$  é o comprimento de onda de máxima intensidade, T é a temperatura para o determinado comprimento de onda e 2,8976  $\mu m K$  é o coeficiente de proporcionalidade.

O estudo das características da radiação foi desenvolvido considerando a radiação emitida por um observador e emissor ideal, o assim chamado corpo negro. Deste modo, um corpo negro se manterá sempre em equilíbrio térmico, uma vez que absorve radiação na mesma taxa que emite. Na Astrofísica, o estudo de estrelas e planetas é feito considerando os mesmos como corpos negros.

Podemos agora compreender a diferença entre os picos de emissão (comprimento de onda de máxima intensidade) do Sol e da Terra (Figura A.5).

Figura A. 5: Gráficos das intensidades de radiação para o Sol e a Terra



Fonte: O autor

O Sol, que está a uma temperatura de superfície de cerca de 5.700 K, emite a maior parte de sua energia na faixa de comprimentos de onda da luz visível. Por sua vez, a Terra que possui temperatura média de superfície de 288 K tem seu pico de emissão na faixa de comprimentos de onda do infravermelho.

1. Qual é o comprimento de onda do pico de emissão para o Sol?
2. Analisando o espectro eletromagnético, qual tipo de onda eletromagnética corresponde ao comprimento de onda da pergunta 1?
3. Qual a temperatura da Terra em Celsius?
4. Qual o comprimento de onda do pico de emissão da Terra?
5. Analisando o espectro eletromagnético, qual tipo de onda eletromagnética corresponde ao comprimento de onda da pergunta 4?

Uma vez que a taxa de radiação de um corpo depende de sua temperatura, essa condição pode ser usada para obter a temperatura média da Terra, cujo valor médio é de 15°C. O responsável por manter a temperatura média em torno dos 15°C é o chamado **Efeito Estufa**.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_ **A natureza da Luz.** Disponível em:  
<<http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/espectro.htm>> Acesso 20 jun. 2018

GUIMARÃES, O; PIQUEIRA J. R.; CARRON W. **Física térmica, ondas e óptica. Guimarães, Piqueira e Carron.** 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.

KEPLER, S. O. **Astronomia e astrofísica.** 4 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

\_\_\_\_\_ **Radiação Espectral. Wikimedia Commons.** Disponível em:  
<[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radia%C3%A7%C3%A3o\\_espectral.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radia%C3%A7%C3%A3o_espectral.png)  
> Acesso em 20 de jun 2008

## Aula 4 – EFEITO ESTUFA

Nesta aula define-se o efeito estufa, retomando as diferenças entre os comprimentos de ondas das radiações de emissão da Terra e do Sol e demonstrando que a dificuldade da passagem da radiação infravermelha na atmosfera se deve aos gases de efeito estufa, especificamente, através da interação entre radiação e matéria.

### Tempo estimado

3 a 4 períodos.

### Procedimentos

- Iniciar a aula com a pergunta: por que o ar que está dentro de um carro que está ao Sol com os vidros fechados esquenta?
- Discutir as hipóteses explicitadas pelos alunos;
- Assistir ao vídeo educacional Efeito Estufa, gravado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), parte do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O link para acessar ao vídeo encontra-se no texto abaixo;
- Problematizar as hipóteses levantadas pelos alunos antes de assistir o vídeo;
- Conceituar o efeito estufa; o texto de apoio abaixo contém tal conceito além de ilustrar o efeito através de uma figura;
- Verificar que o a luz visível passa pela atmosfera e a radiação infravermelha encontra dificuldades ao passar; conectar esse efeito com os cálculos feitos na última aula.
- Comentar que a dificuldade da radiação infravermelha, ao tentar sair da atmosfera, é devido a absorção da radiação pelos gases de efeito estufa fazendo com que as moléculas desses gases aumentem determinados tipos de movimento, criando assim dipolos eletromagnéticos; o texto de apoio traz uma figura que ilustra a situação descrita.
- Utilizar o simulador Moléculas e Luz do *Phet* Simulações para verificar a absorção de radiação pelos gases do efeito estufa. Sugere-se que seja

usado um computador para par ou trio de alunos. O texto abaixo mostra como acessar a esta simulação.

- Comparar os espectros de radiação do Sol e da Terra frente com os espectros de absorção de distintos gases. O texto de apoio mostra através de uma figura.

### **Avaliação**

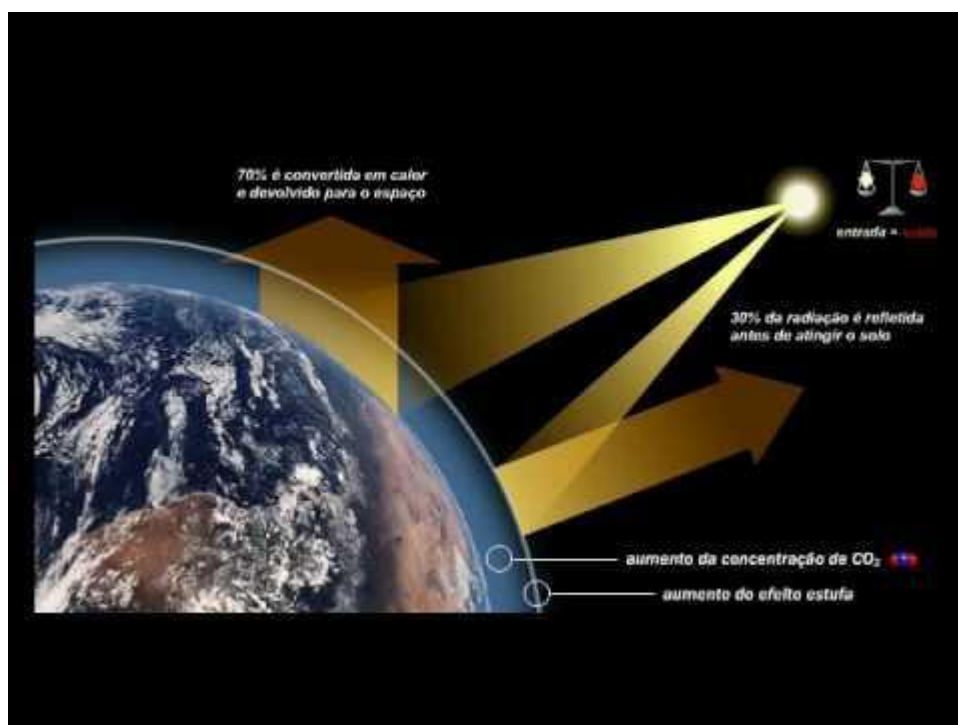
Sugere-se que os alunos respondam as questões abaixo.

## EFEITO ESTUFA

Por que o ar que está dentro de um carro está ao Sol com os vidros fechados esquenta?

Para ajudar a responder esta questão, o vídeo retirado do programa Materiais Educacionais (Figura A.6) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), parte do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pode ajudar.

Figura A.6: Efeito Estufa



Fonte: <<http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/>>

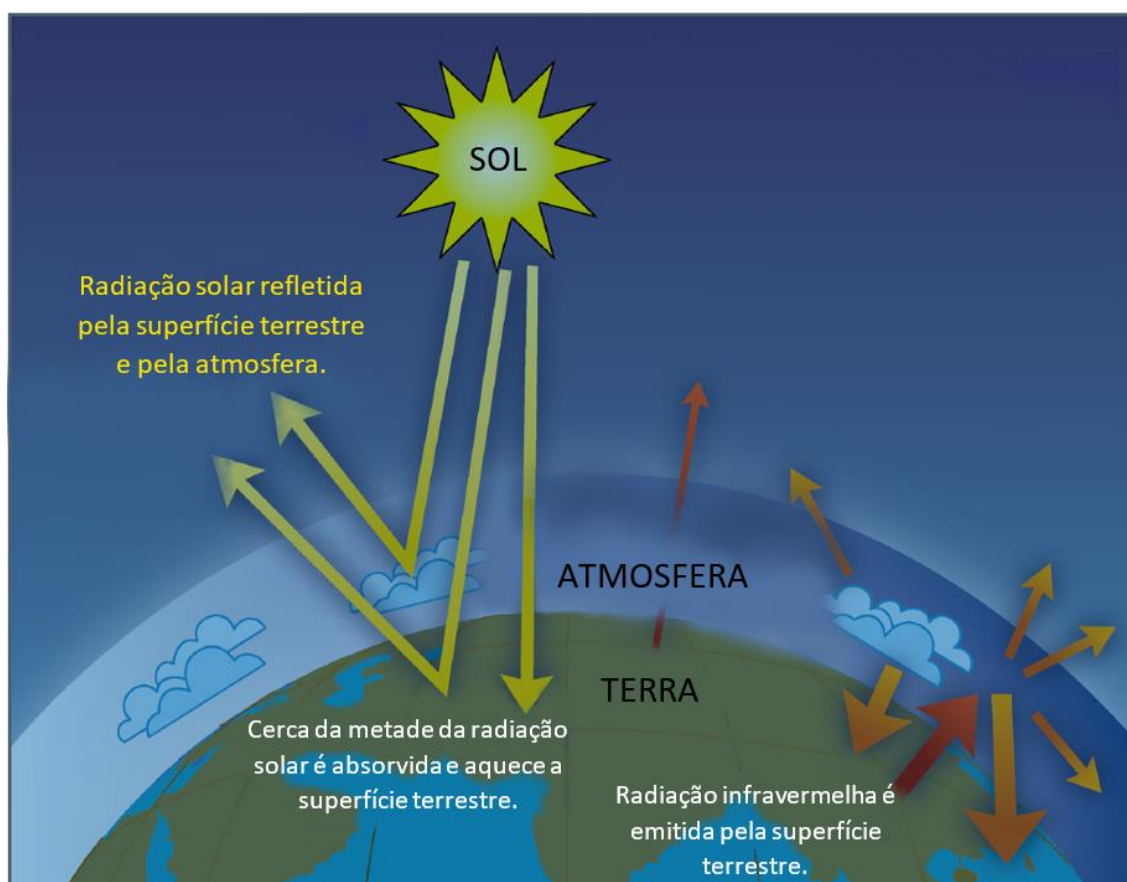
O efeito estufa é o aumento de temperatura que a Terra apresenta em função da retenção de radiação proveniente do Sol, propiciada pela presença de certos gases na atmosfera (vapor d'água, dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, metano e outros). Em função disso, a temperatura da Terra é, em média, 30°C maior do que seria na ausência desses gases na atmosfera. Nesse processo, parte da radiação proveniente do Sol, ao ser absorvida pelos materiais ou pelas substâncias na superfície da Terra, é convertida e emitida para a atmosfera na forma de radiação infravermelha (Figura A.7). Alguns gases

atmosféricos absorvem essa radiação, causando aquecimento da atmosfera. Como resultado dessa absorção, esses gases também emitem radiação infravermelha em todas as direções, inclusive para a superfície. Desse modo, a energia fica aprisionada na região superfície-troposfera principalmente.

Os principais gases de efeito estufa são listados abaixo:

Gás	Origem
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), constitui 0,035 % de gases na atmosfera.	Produzido pela respiração da biota, micróbio do solo, evaporação oceânica, erupções vulcânicas e atividades humanas (desflorestamento, mudanças no uso do solo e queima de combustíveis fósseis).
Vapor de água (H <sub>2</sub> O)	Evaporação
Metano (CH <sub>4</sub> )	Processo anaeróbicos em áreas úmidas naturais e plantações de arroz (40% do total), decomposição de aterros, queima de biomassa, fermentação entérica em animais e manejo do esterco.
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	Combustão de combustíveis fósseis, uso de fertilizantes nitrogenados comerciais e orgânicos, produção de ácido nitroso e queima de biomassa.

Figura A.7: Modelo ideal do efeito estufa



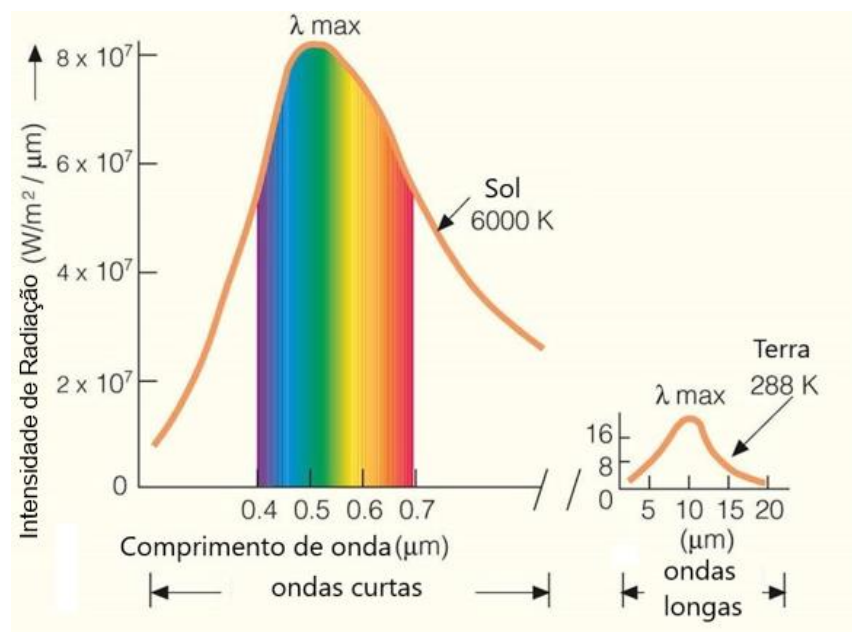
Fonte: <[https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html)> (Adaptada)

O efeito estufa causado pela interação entre a radiação térmica (radiação infravermelha) e os gases do efeito estufa é um efeito natural, sem o qual o planeta seria em média cerca de 30°C mais frio e praticamente inabitável.

Mas por que esses gases não retêm a entrada de radiação, uma vez que retêm na saída?

A radiação solar nos chega em sua maioria com comprimento de onda na luz visível e, após absorvida pela Terra, a radiação é emitida nos comprimentos de onda no infravermelho (Figura A.8).

Figura A.8: Comparação entre as intensidades dos espectros solar e terrestre, considerando Sol e Terra como corpos negros



Fonte: Tolentino, 1998. (Adaptado)

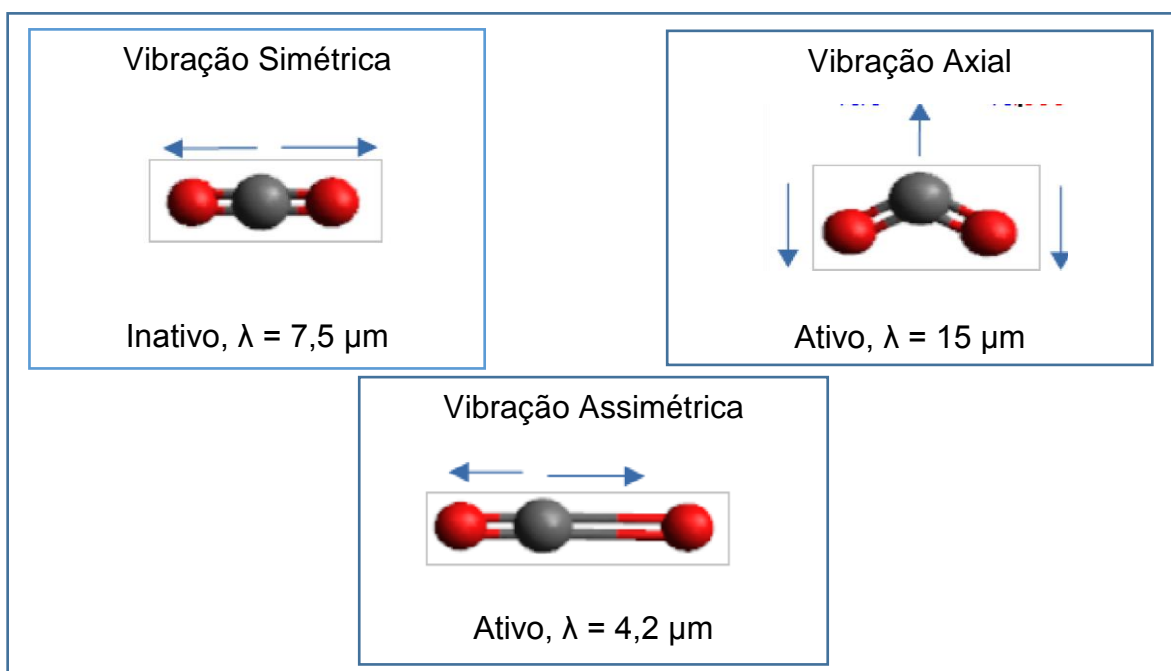
Assim, pode-se observar que os gases do efeito estufa (também conhecidos como gases traços) possuem estruturas moleculares que permitem absorver significativamente na faixa do infravermelho (entre 4  $\mu m$  e 50  $\mu m$ ), ou seja, possuem movimentos de vibração na mesma faixa do comprimento de onda da radiação infravermelha.

## ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO PELAS MOLÉCULAS



Para entender a origem das bandas de absorção do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), devemos olhar como esta molécula interage com a radiação. A radiação infravermelha ( $\lambda = 0,7 \mu\text{m}$  a  $1000 \mu\text{m}$ ) “não tem energia suficiente para provocar excitação dos elétrons, mas faz com que os átomos, ou grupos de átomos, vibrem com maior rapidez e com maior amplitude em torno das ligações covalentes que os unem”. Ela pode induzir a deformações nas moléculas que geram assimetrias e, por consequência, cria momentaneamente dipolos eletromagnéticos<sup>10</sup>, como mostra a Figura 4 para o  $\text{CO}_2$ .

Figura A.9: Modos de vibração da molécula de dióxido de carbono



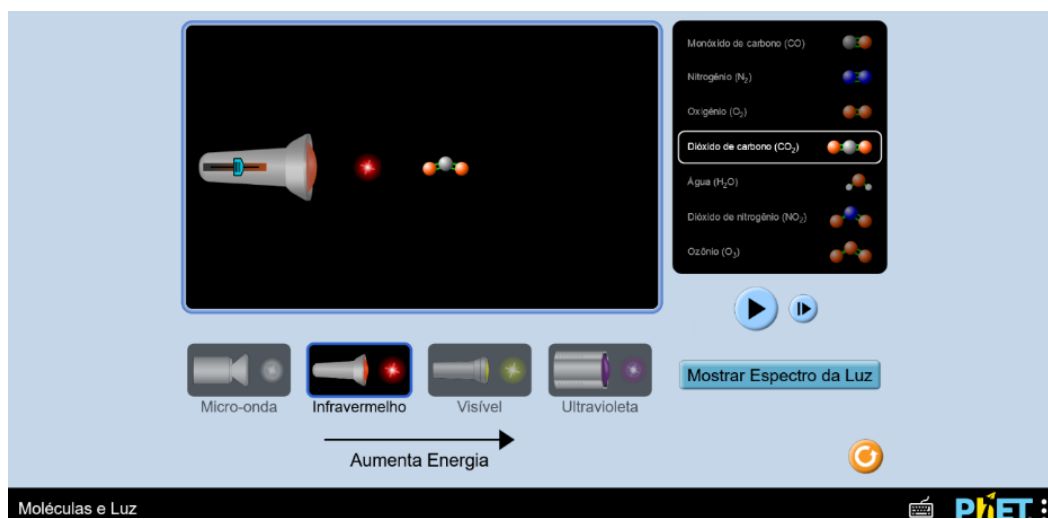
Fonte: O autor

Vê-se na Figura A.9 que o modo simétrico à molécula é alternadamente esticado e comprimido, não criando dipolos eletromagnéticos, sendo assim, “inativo no infravermelho”. Já se a molécula vibra no modo “assimétrico” ou ainda “modo axial”, a vibração é “ativa no infravermelho”, pois ocorre uma alteração periódica do momento dipolar da molécula.

<sup>10</sup> Dipolo eletromagnético pode ser entendido como uma separação das cargas positivas e negativas da molécula. Uma molécula apresenta dipolo eletromagnético se nela existirem duas cargas  $q$  e  $-q$  separadas por uma distância  $l$ . Ou seja, as moléculas possuem ligações com átomos diferentes, moléculas polares.

Para verificar tais movimentos, podemos usar o simulador educacional<sup>11</sup>, que simula a interação entre diversas bandas de radiação e moléculas de gases do efeito estufa.

Figura A. 10: Moléculas e Luz. A interação de determinadas moléculas de gases do efeito estufa com a radiação



Fonte: <[https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html)>

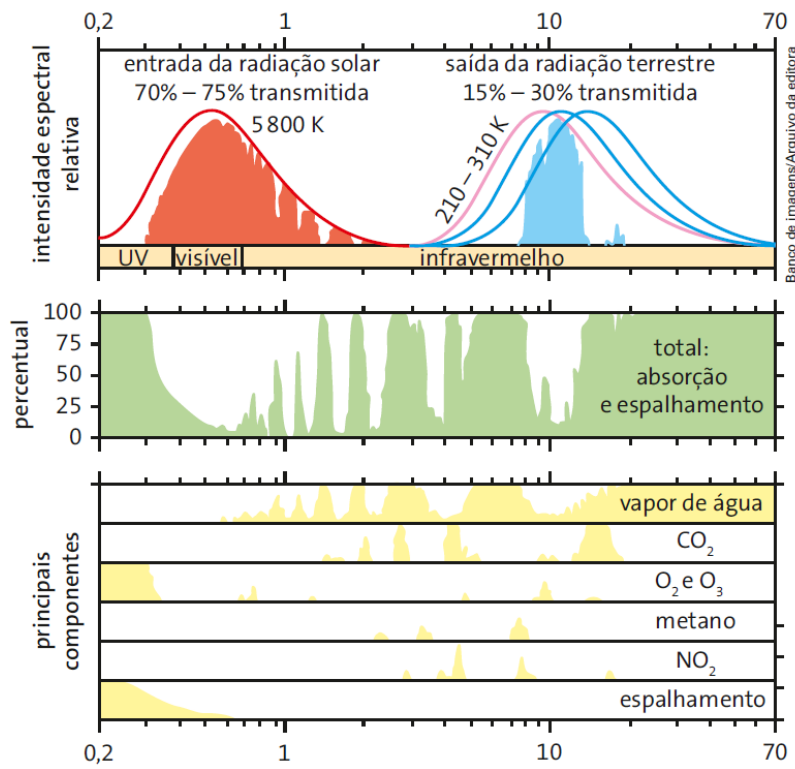
A deformação assimétrica, associada a rotações dos átomos, é responsável pela absorção de radiação pelo CO<sub>2</sub> em torno da banda de 4,25 μm. Já o modo vibracional axial é responsável pela absorção de radiação do CO<sub>2</sub> em torno da banda de 1,5 μm.

Estamos agora em condições de entender por que o CO<sub>2</sub> é um gás de efeito estufa<sup>12</sup>. Olhando a Figura A.11, vemos que o CO<sub>2</sub> absorve radiação na banda de 4,2 μm e 15 μm, e que estas bandas estão na faixa de comprimentos de onda do infravermelho emitidos pela Terra.

<sup>11</sup> Moléculas e Luz. [https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html)

<sup>12</sup> Poderíamos fazer a mesma análise com outros gases de efeito estufa como o H<sub>2</sub>O ou o CH<sub>4</sub>, contudo demos enfoque ao dióxido de carbono pois o mesmo tem papel principal na discussão do Aquecimento Global Antropogênico.

Figura A. 11: Distribuição dos percentuais da radiação solar e da emissão da Terra



Fonte: Física: Física térmica – Ondas – Óptica.

## QUESTÕES

1. O que é exatamente o efeito estufa?
  
2. Completa as seguintes definições utilizando uma das palavras que estão ao final das frases em parênteses:
  - a. O  é um gás imprescindível para a vida porque é fundamental nos processos de respiração, combustão e oxidação. (nitrogênio, oxigênio, ozônio)
  
  - b. O componente fundamental da atmosfera responsável de filtrar e deter as radiações ultravioletas é . (nitrogênio, oxigênio, ozônio)
  
  - c. A comunicação entre os seres vivos seria impossível sem atmosfera já que o  se transmite através do ar. (vento, som, conhecimento)
  
  - d. Determinados gases de efeito estufa a atmosfera interagem com a radiação infravermelha emitida pela Terra, um gás de efeito é o . (oxigênio, vapor d'água, CFC)

3 – (Acafe – SC) O efeito estufa é essencial à manutenção do equilíbrio térmico do nosso planeta porque sem ele a temperatura da Terra seria de aproximadamente - 15 °C. Um dos gases mais importantes nesse processo é o gás carbônico, no entanto, um aumento de 10% na sua concentração faria a temperatura média do planeta aumentar aproximadamente 3 °C, trazendo graves consequências para o nível dos oceanos e para o clima. Essa participação do gás carbônico se dá porque ele é \_\_\_\_\_ às radiações visíveis e \_\_\_\_\_ às radiações infravermelhas.

A alternativa que completa o enunciado acima, em sequência, é:

- a) opaco – opaco
- b) opaco – transparente
- c) transparente – opaco
- d) transparente – transparente

e) absorvente – transparente

4 – (ENEM 2011 – Adaptada) Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2008, do Ministério das Minas e Energia, a matriz energética brasileira é composta por hidrelétrica (80%), termelétrica (19,9%) e eólica (0,1%). Nas termelétricas, esse percentual é dividido conforme o combustível usado, sendo: gás natural (6,6%), biomassa (5,3%), derivados de petróleo (3,3%), energia nuclear (3,1%) e carvão mineral (1,6%). Com a geração de eletricidade da biomassa, pode-se considerar que ocorre uma compensação do carbono liberado na queima do material vegetal pela absorção desse elemento no crescimento das plantas. Entretanto, estudos indicam que as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) das hidrelétricas podem ser comparáveis às emissões de CO<sub>2</sub> das termelétricas.

MORET, A. S.; FERREIRA, I. A. As hidrelétricas do Rio Madeira e os impactos socioambientais Da eletrificação no Brasil. **Revista Ciência Hoje**. V. 45, n° 265, 2009 (adaptado).

No Brasil, em termos do impacto das fontes de energia no crescimento do efeito estufa, quanto à emissão de gases, as hidrelétricas seriam consideradas como uma fonte.

- a) limpa de energia, contribuindo para minimizar os efeitos deste fenômeno.
- b) eficaz de energia, tomando-se o percentual de oferta e os benefícios verificados.
- c) limpa de energia, não afetando ou alterando os níveis dos gases do efeito estufa.
- d) poluidora, colaborando com níveis altos de gases de efeito estufa em função de seu potencial de oferta.
- e) alternativa, tomando-se por referência a grande emissão de gases de efeito estufa das demais fontes geradoras.

5. De onde saem os gases metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), os quais são gases de efeito estufa?

6 – (UFG – GO) Estufas rurais são áreas limitadas de plantação cobertas por lonas plásticas transparentes que fazem, entre outras coisas, com que a temperatura interna seja superior à externa. Isso se dá porque:

a) o ar aquecido junto à lona desce por convecção até as plantas.

b) as lonas são mais transparentes às radiações da luz visível que às radiações infravermelhas.

c) um fluxo líquido contínuo de energia se estabelece de fora para dentro da estufa.

d) a expansão do ar expulsa o ar frio para fora da estufa.

e) o ar retido na estufa atua como um bom condutor de calor, aquecendo o solo.

7 – Por que as lonas, assim como os gases do efeito estufa, são mais transparentes às radiações da luz visível que às radiações infravermelhas? Explique a partir da absorção de radiação pelas moléculas.

## REFERÊNCIAS

CPTEC. Efeito Estufa. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Disponível: < <http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/>> Acesso em 04 nov. 2019.

GUIMARÃES, O; PIQUEIRA J. R.; CARRON W. **Física térmica, ondas e óptica. Guimarães, Piqueira e Carron**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.

IPCC. **Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático**. [s.l: s.n.]. v. 446 Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1256/004316502320517344%5Cnhttp://www.nature.com/doi/10.1038/446727a>> Acesso em 04 jan. 2018.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. Moléculas e Luz. **University of Colorado Boulder**. Disponível: < [https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html)> Acesso em 04 nov. 2019.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO R. C. **A química no Efeito Estufa**. Química Nova na Escola. nº 8, Nov. 1988.

## Aula 5 – AUMENTO DO EFEITO ESTUFA (AQUECIMENTO GLOBAL)

Nesta aula, o objetivo principal é mostrar o aquecimento global a partir do aumento do efeito estufa. Para tal, essa aula retoma a ideia de balanço de energia da Terra visto nas aulas anteriores e, partindo desse ponto, verifica quais os principais fatores (forçantes radiativas) que causam este balanço. A aula é encerrada com uma simulação da verificação da temperatura entre um planeta com e outro sem atmosfera.

### Procedimentos

- Abordar o balanço de energia da Terra definindo intensidade de energia que entra ( $I_e$ ) e sai ( $I_s$ ) da Terra. Para tal o professor pode fazer uma retomada das aulas anteriores;
- Definir o conceito forçante radiativa;
- Analisar a forçante radiativa: mudança da radiação que entra na Terra devido a mudanças na órbita da Terra (Ciclo de Milankovich) ou variações da irradiância solar. Sugere-se abordar com mais cuidado a irradiância solar, uma vez que esta é considerada por muitos cientistas como a principal forçante radiativa que atua no aquecimento global;
- Analisar a forçante radiativa: albedo terrestre;
- Analisar a forçante radiativa: mudando a radiação terrestre para o espaço. Sugere-se abordar com mais ênfase essa forçante, pois é considerada pelas comunidades científicas a de maior influência no aquecimento global.
- Aplicar a simulação hipotética descrita no texto de apoio; sugere-se trabalhar em grupos de 4 ou 5 alunos. Observa-se que a raiz está na quarta potência e devido a isso alguns alunos encontrarão dificuldade, por isso o professor pode pedir na aula anterior para que os alunos levem calculadora científica, outra opção é usar aplicativos no celular para o cálculo, ou ainda, o professor pode preparar as equações sem alguma folha de cálculo (Excel ou LibreOffice Calc), pois, desse modo, os alunos apenas mudam as variáveis e verificam as respostas.



**Avaliação**

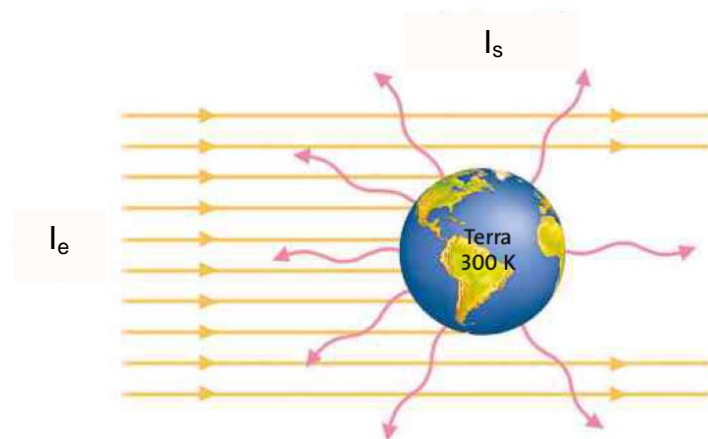
A simulação serve como avaliação da aula. Sugere-se retomar a simulação em outro momento para correções e comentários sobre as respostas.

Após as aulas, encontram-se algumas questões a serem respondidas pelos alunos.

## BALANÇO DE ENERGIA DA TERRA:

Nas aulas anteriores vimos alguns conceitos importantes para a compreensão do efeito estufa. Passamos agora a discutir outro conceito, o balanço de energia da Terra. Este balanço é, para muitos cientistas, o principal mecanismo que devemos considerar quando estamos interessados na questão da temperatura da Terra. Quando consideramos, na aula de radiação solar, que a Terra absorvia a metade da energia advinda do Sol e depois emitia de volta para o espaço a mesma quantidade, consideramos o balanço energético, mas sem o nomear. Ou ainda, no vídeo educacional da aula Efeito Estufa, o conceito de balanço energético também é comentado. Para um planeta manter uma temperatura média constante, deve existir um equilíbrio entre a quantidade de energia que entra ( $I_e$ ) e a intensidade de energia que sai ( $I_s$ ). Qualquer desequilíbrio no balanço de energia acarretaria desequilíbrio direto na temperatura planetária, ou acréscimo ou decréscimo.

Figura A.12: Equilíbrio térmico



Fonte: Física – Física térmica – Ondas – Óptica (Adaptada)

Legenda: A Terra absorve radiação solar ( $I_e$ ) à mesma taxa com que irradia radiação infravermelha para o espaço ( $I_s$ ). A temperatura global se mantém em torno de uma mesma média.

Atualmente grande parte dos cientistas considera que há três maneiras fundamentais de mudar o balanço de energia da Terra, comumente estas três maneiras de afetar o balanço de energia da Terra por fatores externos que atuam sobre o sistema climático, são conhecidas como *forçantes radiativas*.

**1ª FORÇANTE** – Mudança da radiação que entra na Terra devido a mudanças nas órbita da Terra ou variações da irradiância solar.

**Ciclo de Milankovich:**

Dados históricos mostram períodos de grandes alterações no clima como Eras Glaciais. Milankovich publicou em 1941 no seu livro, Eras do Gelo, descreve que a intensidade dos efeitos da insolação varia com a latitude. Assim identificou outros ciclos, além da rotação e translação, que têm uma participação sutil na variação do clima e que, quando combinados, em um longo prazo, mostram tendência em aquecer ou resfriar o planeta. Esses ciclos são a variação na excentricidade da órbita, a obliquidade da eclíptica e a precessão dos equinócios.

### Excentricidade da órbita terrestre:

A Terra orbita o Sol, esta órbita é elíptica e varia de 92.000 a 100.000 anos levando o planeta para mais perto e mais longe do Sol, variando assim, a intensidade dos raios solares a longo dos anos.

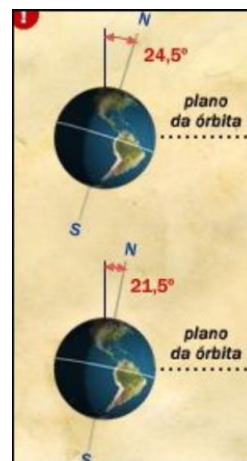


Figura A.13: Excentricidade da órbita terrestre

Fonte: EAB/INPE

### Obliquidade da eclíptica:

O eixo de rotação terrestre, que hoje está inclinado cerca de  $23,5^\circ$  em relação à esfera celeste, varia entre  $21,5^\circ$  e  $24,5^\circ$  num ciclo que dura aproximadamente 40.000 a 41.000 anos. Esse ciclo influencia o ângulo de incidência dos raios solares na Terra, tendo maior influência nos polos.



Fonte: EAB/INPE

Figura A.14: Obliquidade da eclíptica

### Precessão dos equinócios:

Corresponde a oscilação do eixo da Terra em torno da posição média de sua órbita, afastando-se ou aproximando-se do plano da eclíptica (movimento conhecido como nutação). Este movimento tem um ciclo de 19.000 a 23.000 anos e afeta a intensidade das estações, pois provoca uma leve mudança na distância entre a Terra e o Sol. Esse efeito é mais intenso na região próxima a linha do equador.



Fonte: EAB/INPE

Figura A.15: Precessão dos Equinócios

No entanto, apenas estas variações não são suficientes para provocar toda a variação climática que a Terra já passou. Os ciclos de Milankovich contribuem para uma variação anual de 0,1% na qualidade total de luz solar que chega a Terra. Portanto, a existência de outros fatores para amplificar a variação climática deve ser considerada.

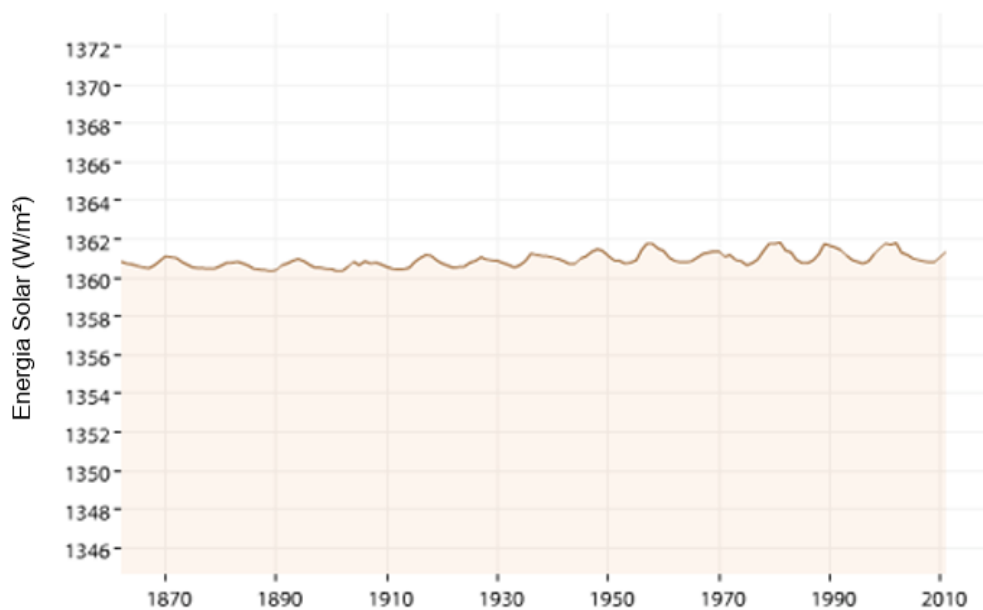
## O Sol:

O sol tem, obviamente, uma influência forte no clima, pois é a fonte de quase toda a energia do clima da Terra. Uma comparação entre sol e clima nos últimos 1160 anos mostrou que as temperaturas estão estreitamente relacionadas com a atividade solar. Contudo, após 1975, as temperaturas terrestres aumentaram enquanto a atividade solar ficou praticamente estável, ou mostraram pouca tendência ao longo do prazo. Isso levou vários grupos de pesquisa a concluir que durante os 30 anos a irradiância solar total não mostrou nenhuma tendência significativa no episódio do aquecimento global (LOCKWOOD, 2008; FOSTER *et al.*, 2011).

De fato, muitas medições independentes de atividade solar indicam que a irradiância solar teve ligeira tendência de resfriamento desde 1960, em dito período as temperaturas globais se elevaram. Durante os últimos 35 anos o sol e o clima têm se movido em direções contrárias.

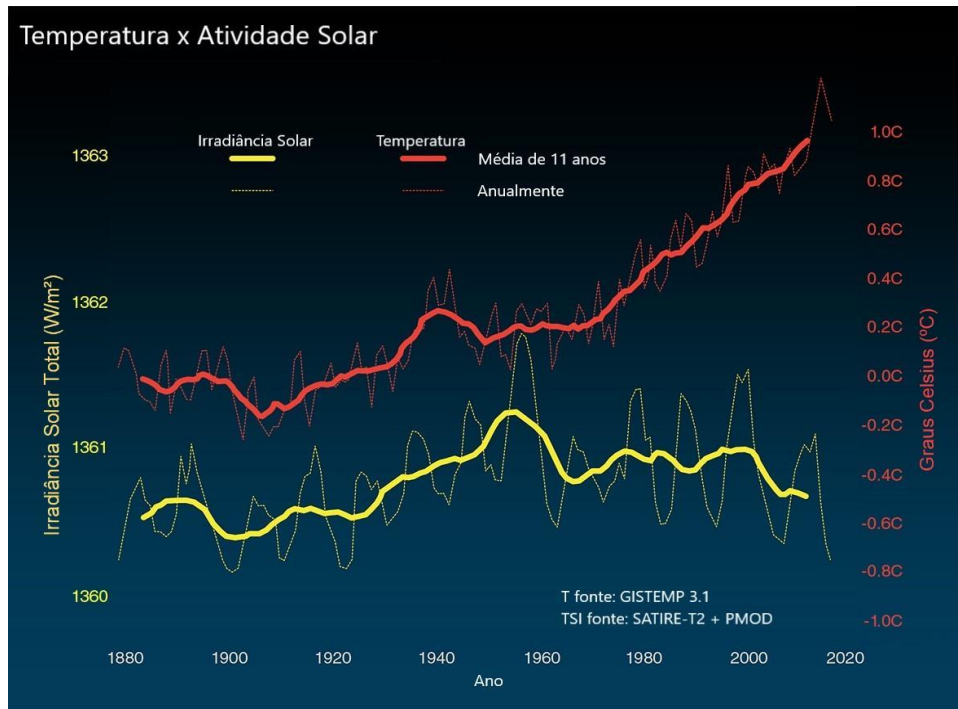
A Figura A.16 mostra um ciclo de variação de aproximadamente 11 anos da irradiância solar, contudo, essa variação de energia não é a principal responsável pelo aumento da temperatura registrado nos últimos 30 anos.

Figura A.16: Irradiância solar ao longo de 60 anos



Fonte: <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-incoming-sunlight>> (Adaptado)

Figura A.17: Temperatura versus Irradiância Solar



Fonte: <<https://climate.nasa.gov/causes/>> (Adaptado)

Legenda: Gráfico da temperatura global anual (linha vermelha suave) com a média de temperatura de 11 anos (linha vermelha forte) X Irradiância Solar Anual Total (linha amarela suave) com a média de irradiância de 11 anos (linha amarela forte).

## 2ª FORÇANTE – Albedo terrestre

O albedo é a fração entre a radiação solar incidente na Terra pela radiação refletida de volta ao espaço e depende das propriedades refletoras da superfície terrestre. A parcela de radiação devolvida é, portanto, maior nos polos (onde a presença de grandes massas de gelo aumenta a refletividade) e menor no equador. Outro fator que influencia muito o albedo são as nuvens.

Tabela A.2 – Dados relevantes de alguns planetas no estudo do clima

Planeta	Intensidade (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	Temperatura Equilíbrio (K)	Temperatura Superfície (K)
Mercúrio	9200	0.1	440	450
Vênus	2650	0.65	250	750
Terra	1360	0.3	255	288
Marte	650	0.15	220	210

Fonte: O autor

### **3ª FORÇANTE** – Mudando a radiação terrestre para o espaço.

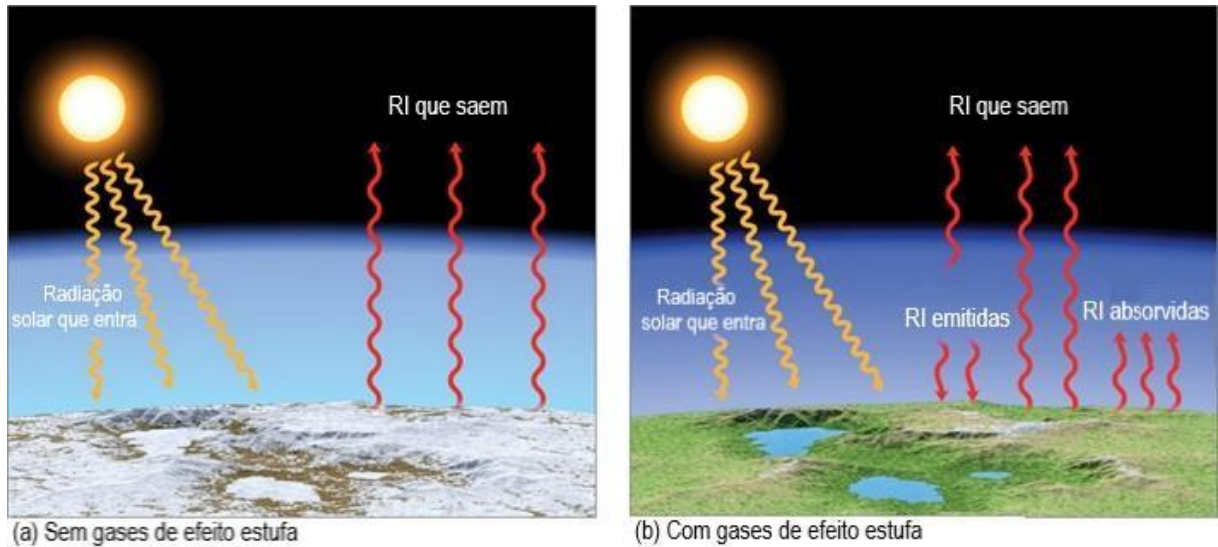
Esta mudança está associada ao aumento dos gases de efeito estufa. Como visto na aula de efeito estufa, há gases na atmosfera que absorvem e reemitem radiação infravermelha de volta para a superfície terrestre, influenciando na temperatura da mesma.

Conhecendo as principais características das forçantes radiativas, a situação abaixo é proposta com o intuito de verificar o efeito da mudança da quantidade de radiação terrestre emitida para o espaço. Uma vez que os gases de efeito estufa são a forçante mais debatida pela mídia e as que mais geram discussões e controvérsias. Verificaremos numa situação hipotética bem simplificada, sua influência na temperatura terrestre média.

#### **DESCRIÇÃO DAS SITUAÇÕES**

Imaginaremos duas situações hipotéticas: na Figura A.18 temos dois planetas, o planeta da esquerda (Planeta Melissa) é similar à Terra, porém não contém gases de efeito estufa. Já o planeta da direita (b) na Figura A.18 é a Terra atual, na qual o efeito estufa existe devido à presença de gases de efeito estufa. Imaginemos ainda que os dois planetas estão à mesma distância do Sol, assim, a mesma quantidade de radiação solar atinge a superfície planetária de ambos os planetas.

Figura A.18: À esquerda o planeta Melissa (a) com atmosfera sem gases de efeito estufa, a direita (b) a Terra tem atmosfera com gases de efeito estufa



Ainda, ponderando a condição de equilíbrio térmico dos planetas, pode-se calcular a intensidade de energia que entra pela equação:

$$I_e = \frac{I \cdot (1 - \alpha)}{4}$$

Onde:	Unidade de medida
$I_e$	Intensidade de energia que entra na Terra W/m <sup>2</sup>
$I$	Intensidade de energia solar W/m <sup>2</sup>
$\alpha$	Albedo terrestre

Considerando os dados da Tabela A.2 para ambos os planetas, pode-se determinar:

6. Qual é a intensidade de energia ( $I_e$ ) que entra nos planetas Terra e Melissa, considerando  $I = 1.360 \text{ W/m}^2$  e albedo 0,3?
7. Sabendo que ambos planetas se encontram em estado de equilíbrio térmico, calcule qual é a intensidade de energia que ambos irradiam para o espaço?
8. Agora, supondo que o albedo dos dois planetas mude de 0,3 para 0,5 e que a intensidade de energia que o Sol envia siga em  $I = 1.360 \text{ W/m}^2$ , quanto é a intensidade de energia ( $I_e$ ) que entra nos planetas Terra e Melissa?



9. Desta vez, supondo que, para ambos os planetas, o albedo tenha regressado a 0,3 mas a intensidade de energia aumentou para  $I = 2.650 \text{ W/m}^2$ . Quanto é a intensidade de energia ( $I_e$ ) que entra nos planetas?
10. Por último, supondo que o albedo seja 0,5 e a intensidade de energia que o Sol envia seja  $I = 2.650 \text{ W/m}^2$ , quanto é a intensidade de energia ( $I_e$ ) que entra nos planetas?

Uma vez que ambos os planetas estão recebendo radiação solar, com a equação seguinte pode-se calcular a temperatura de equilíbrio dos dois planetas:

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{I(1 - \alpha)}{4\sigma}}$$

Onde:  $T_e$  é a temperatura de equilíbrio em K,  $I$  é a Intensidade de radiação solar  $\text{W/m}^2$ ,  $\alpha$  o albedo e  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-4}$  é a constante de Stefan-Boltzmann.

Assim, calcula-se:

11. A temperatura de equilíbrio em Celsius para ambos os planetas, quando  $I = 1.360 \text{ W/m}^2$  e albedo 0,3.
12. Considerando que o albedo aumente de 0,3 para 0,5, qual será a variação da temperatura em Celsius dos planetas Terra e Melissa?
13. A variação da temperatura em Celsius para ambos os planetas se, mantido o albedo a 0,3, a intensidade de radiação solar aumente para  $2.650 \text{ Wm}^{-2}$ .

Contudo, cabe ressaltar que cientistas de atmosferas planetárias, ensinam-nos que um planeta que possui uma atmosfera substancial (consideravelmente espessa e que contém gases estufa), a radiação emitida pela superfície é absorvida pelos gases presentes na atmosfera antes que a radiação alcance o

espaço. Assim, satélites que medem a temperatura, não detectariam a radiação emitida pelo planeta como sendo da superfície, mas de uma região emissora da atmosfera localizada a uma certa altura.

Por isso, a temperatura de equilíbrio para o planeta Melissa é medida na altura da superfície, porém para o planeta Terra os satélites medem a temperatura de equilíbrio a uma determinada altura, logo, para calcular a temperatura de superfície, pode-se usar a equação:

$$T_s = T_e \sqrt[4]{2}$$

Consideradas as diferenças entre temperatura de superfície e temperatura de equilíbrio, pode-se determinar:

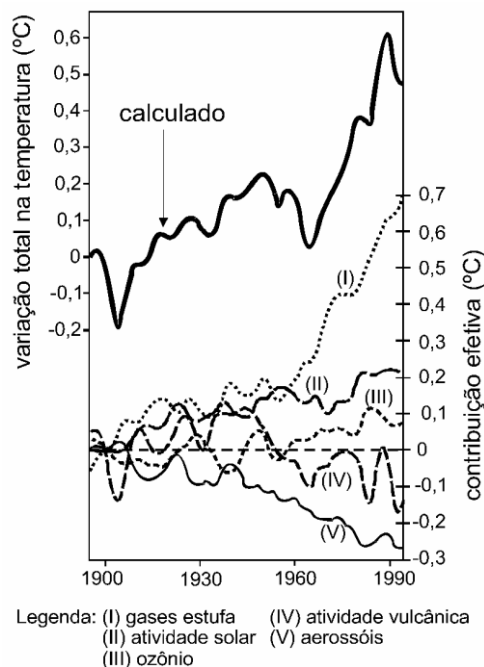
14. A temperatura superficial da Terra e do planeta Melissa em Celsius, considerando o albedo 0,3 e a intensidade de radiação  $1.360 \text{ W/m}^2$  da Tabela A.2?

## QUESTÕES

1. (Enem 2007) Qual das seguintes fontes de produção de energia é a mais recomendável para a diminuição dos gases causadores do aquecimento global?

- Óleo diesel.
- Gasolina.
- Carvão mineral.
- Gás natural.
- Vento.

2. (Enem 2007) O gráfico a seguir ilustra o resultado de um estudo sobre o aquecimento global. A curva mais escura e contínua representa o resultado de um cálculo em que se considerou a soma de cinco fatores que influenciaram a temperatura média global de 1900 a 1990, conforme mostrado na legenda do gráfico. A contribuição efetiva de cada um desses cinco fatores isoladamente é mostrada na parte inferior do gráfico.



Internet: <solar-center.stanford.edu>.

Os dados apresentados revelam que, de 1960 a 1990, contribuíram de forma efetiva e positiva para aumentar a temperatura atmosférica:

- aerossóis, atividade solar e atividade vulcânica.

- b) atividade vulcânica, ozônio e gases estufa.
- c) aerossóis, atividade solar e gases estufa.
- d) aerossóis, atividade vulcânica e ozônio.
- e) atividade solar, gases estufa e ozônio.

3. (ENEM 2009 – adaptada) A atmosfera terrestre é composta pelos gases nitrogênio ( $N_2$ ) e oxigênio ( $O_2$ ), que somam cerca de 99%, e por gases traços, entre eles o gás carbônico ( $CO_2$ ), vapor de água ( $H_2O$ ), metano ( $CH_4$ ), ozônio ( $O_3$ ) e o óxido nitroso ( $N_2O$ ), que compõem o restante 1% do ar que respiramos. Os gases traços, por serem constituídos por pelo menos três átomos, conseguem absorver o calor irradiado (radiação infravermelha) pela Terra, aquecendo o planeta. Esse fenômeno, que acontece há bilhões de anos, é chamado de efeito estufa. A partir da Revolução Industrial (século XIX), a concentração de gases traços na atmosfera, em particular o  $CO_2$ , tem aumentado significativamente, o que resultou no aumento da temperatura em escala global. Mais recentemente, outro fator tornou-se diretamente envolvido no aumento da concentração de  $CO_2$  na atmosfera: o desmatamento.

BROWN, I. F.; ALECHANDRE, A. S. Conceitos básicos sobre clima, carbono, florestas e comunidades. A.G. Moreira & S. Schwartzman. **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2000 (adaptado).

Considerando o texto, uma alternativa viável para combater o efeito estufa é:

- a) reduzir o calor irradiado pela Terra mediante a substituição da produção primária pela industrialização refrigerada.
- b) promover a queima da biomassa vegetal, responsável pelo aumento do efeito estufa devido à produção de  $CH_4$ .
- c) reduzir o desmatamento, mantendo-se, assim, o potencial da vegetação em absorver o  $CO_2$  da atmosfera.
- d) aumentar a concentração atmosférica de  $H_2O$ , molécula capaz de absorver grande quantidade de calor.
- e) remover moléculas orgânicas polares da atmosfera, diminuindo a capacidade delas de reter calor.

## REFERÊNCIAS

CPTEC. Efeito Estufa. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Disponível: < <http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/>> Acesso em 04 nov. 2019.

LOCKWOOD, M. Recent changes in solar outputs and the global mean surface temperature. III. Analysis of contributions to global mean air surface temperature rise. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [s. l.], v. 464, n. 2094, p. 1387–1404, 2008.

FOSTER, G.; RAHMSTORF, S. **Global temperature evolution 1979 – 2010**. [s. l.], 2011.

NOAA. Climate at a Glance: Global Time Series. **National Centers for Environmental information**. 4 Nov. 2019. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/cag>. Acesso em 4 nov. 2019.

NASA, The Causes of Climate Change. **NASA's Jet Propulsion Laboratory**. Califórnia, 10 de setembro, 2019. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/causes/>> Acesso em 21 set. 2019.

## **Aula 6 – Avaliação final**

Nesta aula os alunos respondem, outra vez, o questionário da primeira aula. Contudo, desta vez, o questionário serve como instrumento avaliativo da construção de conhecimento dos alunos com a comparação das respostas na primeira e na segunda aplicação e, também, verificar a construção do conhecimento aos alunos, pois, algumas vezes, o aluno se sente desmotivado por não perceber seus avanços.

### **Tempo previsto**

Um período de aula.

Nome:

Turma:

Data:

**Por favor, responda de forma resumida e objetiva.**

- 1) Você já ouviu falar sobre efeito estufa ou aquecimento global? Onde?
- 2) Quais assuntos de Física poderíamos abordar envolvendo o efeito estufa ou aquecimento global?
- 3) Você saberia dizer quais são as causas do aquecimento global?
- 4) Você sabe o que é o efeito estufa? Saberia dizer como funciona?
- 5) Você considera o fenômeno do efeito estufa como natural ou artificial (gerado pela ação humana)? Explique.
- 6) O Efeito Estufa é um fenômeno exclusivo de nosso Planeta?
- 7) Você acha que os movimentos da Terra, do Sol, da Lua têm relação com o aquecimento global? Explique.
- 8) Existe relação entre a temperatura da Terra e a radiação que o Sol emite?
- 9) O que você sabe sobre calor? (Exemplo: definição, como ocorrem as trocas de calor, etc.)
- 10) Por que não são todos os gases da atmosfera que influenciam no efeito estufa?
- 11) Você saberia diferenciar efeito estufa de aquecimento global?
- 13) O estudo do fenômeno é estudado por apenas uma área do conhecimento? Você saberia indicar qual ou quais? Por quê?

14) Você poderia dizer se o seu modo de vida pode influenciar nos fenômenos efeito estufa ou aquecimento global? Por quê?

15) Quais os principais fatores que geram discussão nas questões relacionadas ao aquecimento global?



## APÊNDICE B – TEMPERATURA TERRESTRE

A temperatura de equilíbrio terrestre na alta atmosfera e a temperatura terrestre superficial, levando em consideração o efeito estufa, podem ser calculadas seguindo os passos a seguir.

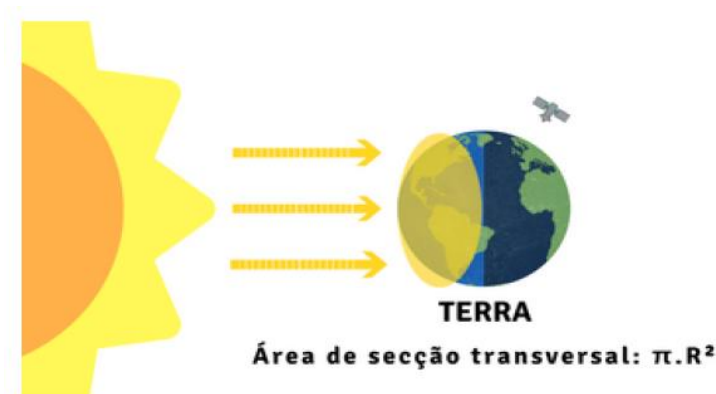
### TEMPERATURA DE EQUILÍBRIO

A intensidade de radiação medida em ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) é estipulada por

$$I = \frac{L}{4\pi R^2} \quad (\text{Equação B.1})$$

Sendo  $3,9 \times 10^{26}$  W a luminosidade do Sol (L) e adotando  $R = 149.600.000.000$  m como a distância média Terra-Sol. A intensidade de radiação  $I$  que chega até a Terra assume valores aproximados de  $1.386 \text{ W}/\text{m}^2$ , valor aproximado ao já conhecido e tabelado  $I = 1.367 \text{ W}/\text{m}^2$ .<sup>13</sup>

Figura B.1: Representação da radiação solar que atinge a Terra



Fonte: O autor

Sendo Potência (taxa de radiação) calculada por:

$$P = I A \quad (\text{Equação B.2})$$

Onde  $I$  é a intensidade de radiação e  $A$  é a área.

Para a taxa de radiação que chega à Terra, teremos o produto da Intensidade de radiação  $1.380 \text{ W}/\text{m}^2$  pela a área da secção transversal que atinge a Terra (sendo  $r =$  raio da Terra), assim:

<sup>13</sup> Valor médio da intensidade de radiação segundo Kepler (2017).

$$P = I \pi r^2 \quad (\text{Equação B.3})$$

Levando em consideração que parte da radiação é refletida devido ao Albedo terrestre, que apresenta valor médio estimado de  $\approx 0,3$ , a potência é calculada por

$$P_{(absorvida)} = I (1 - \alpha) \pi r^2 \quad (\text{Equação B.4})$$

Pelo balanço energético da Terra, a taxa de radiação absorvida (Potência) pela Terra tem o mesmo valor que a emitida, essa consideração carrega intrinsecamente o fato de considerar a Terra com um corpo negro em equilíbrio.

Logo a taxa de radiação que sai da Terra, leva em consideração a Intensidade de Radiação calculada através da Lei de Stefan-Boltzmann, onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  é a constante de Stefan-Boltzmann.

$$I = \sigma T^4 \quad (\text{Equação B.5})^{14}$$

A taxa de energia emitida pela Terra ao espaço dá-se por sua superfície, assim, a Potência emitida pela Terra pode ser calculada utilizando a Equação B.2, substituindo o valor de  $I$  pela Equação B.5 e considerando a área da superfície terrestre como  $4\pi r^2$ , obtemos:

$$P_{(emitida)} = \sigma T_e^4 4 \pi r^2 \quad (\text{Equação B.6})$$

Figura B.2: Representação da emissão de energia pela Terra



Fonte: O autor

Agora, igualando as equações (Equação B.4) e (Equação B.6) e usando um pouco de álgebra, obtém-se a temperatura de equilíbrio da Terra.

$$P_{(absorvida)} = P_{(emitida)}$$

$$I (1 - \alpha) \pi r^2 = \sigma T_e^4 4 \pi r^2$$

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{I(1-\alpha)}{4\sigma}}$$



(Equação B.7)

<sup>14</sup>Como a Terra é considerada um corpo negro em equilíbrio, o fator de emissividade é  $\epsilon=1$ .

Introduzindo os valores de  $I = 1.386 \text{ W/m}^2$ ,  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-4}$ , e  $\alpha = 0,3$  na Equação B.6, obtemos o valor de 255,76 K ou  $-17,24 \text{ }^\circ\text{C}$ , no entanto a medida do valor médio da temperatura é 288 K ou  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , a diferença de  $32,24 \text{ }^\circ\text{C}$  é devido ao efeito estufa.

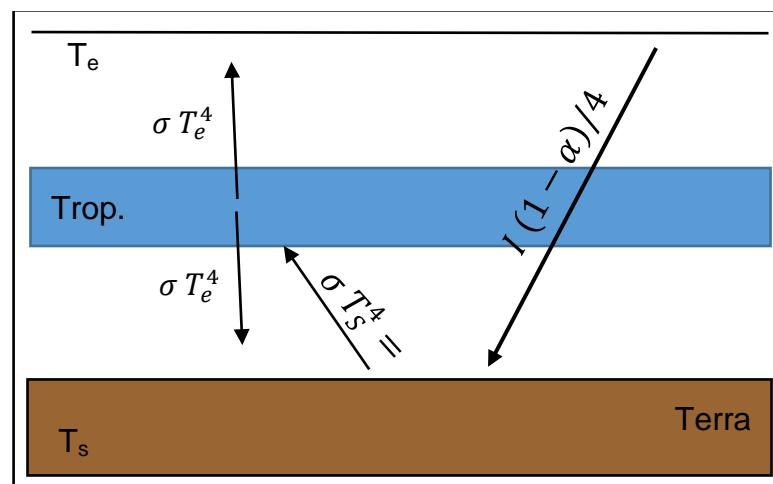
A Equação B.6, determina a temperatura de equilíbrio da Terra partindo do balanço energético, esta equação pode ser usada em Astronomia para determinar a temperatura de todos os planetas. Ainda, essa equação é mostrada por Furtado (2012) quando considera um modelo adiabático da atmosfera terrestre compatível com o modelo de efeito estufa e aquecimento global (FURTADO, 2012). Um modo parecido para calcular a temperatura de equilíbrio é mostrado por Kepler (2017, p. 214) partindo da Lei de Stefan-Boltzmann.

## TEMPERATURA SUPERFICIAL

Ainda considerando equilíbrio no balanço energético da Terra, mas levando em consideração o efeito estufa, o cálculo da temperatura superficial pode ser feito usando um modelo de camadas planas a diferentes temperaturas e constantes, uma delas representa a temperatura superficial da terrestre ( $T_s$ ) e o outro a medida da temperatura numa altura média da troposfera, ou seja a temperatura de equilíbrio ( $T_e$ ) (CHILINGAR, 2003; FURTADO, 2012).

A figura abaixo representa o modelo de camadas mencionado.

Figura D.3: Representação do modelo de camadas para o cálculo da temperatura superficial



Fonte: O autor

Vê-se pelo balanço energético me equilíbrio e facilitado na imagem que:

$$\sigma T_s^4 = \sigma T_e^4 + \sigma T_e^4 \quad (\text{Equação B.7})$$

Fazendo simplificações chega-se à relação entre a Temperatura superficial e a Temperatura de Equilíbrio.

$$T_s = T_e \sqrt[4]{2} \quad (\text{Equação B.8})$$

A Equação B. 8, é um modo de calcular a temperatura superficial da Terra. Usando os dados obtidos até o momento, chegamos ao resultado  $T_s = 304,15$  K, ou  $31,15$  °C. resultado aquém do valor oficial medido.

A diferença entre valor calculado e o valor medido, deve-se à simplificação do modelo de camadas, neste modelo levamos em consideração apenas a radiação como forma de transferência de energia na atmosfera, desconsideramos inclusive a emissividade da atmosfera, que segundo dados do IPCC (2014) tem valor  $\approx 0,77$ . Ainda, segundo Chilingar (2002), modelos mais exatos levam em consideração movimentos devido à condução e convecção de energia pela atmosfera e oceanos. Contudo, tais modelos são bastante complexos de modo que teríamos que usar computadores para calcular, desse modo o cálculo estaria saindo do escopo deste trabalho de mestrado.

## REFERÊNCIAS

CHILINGAR, G. V. **Global Warming: Are We Confusing Cause and Effect ?**[s. l.], v. 25, n. November 2002, p. 357–370, 2003.

FURTADO, M. T. **Modelo adiabático da atmosfera terrestre compatível com o aquecimento global e o efeito estufa.** [s. l.], v. 3310, 2012.

IPCC. **Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.** Ginebra. 2014.

KEPLER, S. O. **Astronomia e astrofísica.** 4 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2017.