



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**EXPLORANDO O EFEITO ESTUFA EM TURMAS DA EDUCAÇÃO DE  
JOVENS E ADULTOS**

Luan Gomes Souza

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:  
Marta Feijó Barroso

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2023

EXPLORANDO O EFEITO ESTUFA EM TURMAS DA EDUCAÇÃO DE  
JOVENS E ADULTOS

Luan Gomes Souza

Orientadora:  
Marta Feijó Barroso

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Dra. Marta Feijó Barroso (Presidente)

---

Dra. Claudine Pereira Dereczynski (UFRJ / IGeo, externo)

---

Dr. Alexandre Lopes de Oliveira (IFRJ, externo)

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586p Souza, Luan Gomes  
Explorando o Efeito Estufa em turmas da Educação de Jovens e Adultos / Luan Gomes Souza - Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2023.  
viii, 91 f.: il.;30cm.  
Orientador: Marta Feijó Barroso  
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2023.  
Referências Bibliográficas: f. 50-53  
1. Ensino de Física. 2. Efeito estufa. 3. EJA. I. Barroso, Marta Feijó, orient. II. Título

Dedico esta dissertação aos meus pais e minha esposa.

## **Agradecimentos**

De início gostaria de agradecer aos meus pais que sempre me auxiliaram e incentivaram na realização dos meus sonhos.

Um agradecimento especial à minha esposa Tatiane Freitas Dias por toda ajuda e apoio nos momentos de maior dificuldade durante a realização deste trabalho. Uma pessoa especial em minha vida.

Agradeço todo apoio e incentivo da minha orientadora Marta Feijó Barroso. Obrigado por cada sugestão e correção apontada neste trabalho. Além das excelentes aulas de Aprendizagem em Física, que serviram de base para a idealização desse material.

Agradeço também a todos os professores e colegas de turma do mestrado que mesmo sob condições não usuais devido a pandemia de COVID, continuamos a nos apoiar e superar os obstáculos até esse momento.

A todos meus amigos que me acompanharam e incentivaram.

Por fim agradeço aos meus estudantes da Educação de Jovens e Adultos, que contribuíram com a aplicação deste trabalho participando e se dedicando em todas as atividades.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

### EXPLORANDO O EFEITO ESTUFA EM TURMAS DA EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS

Luan Gomes Souza

Orientadora:  
Marta Feijó Barroso

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Ensinar Física para jovens e adultos exige uma discussão sobre os temas e métodos a serem utilizados. Neste trabalho, apresentamos a elaboração, aplicação e discussão de uma sequência didática sobre o Efeito Estufa, em uma proposta de abordagem mais geral relativa a questões climáticas no ensino médio. Apresenta-se um levantamento bibliográfico sobre ensino para jovens e adultos, discutem-se possibilidades e características de metodologias ativas, e faz-se a escolha do tema efeito estufa e da metodologia, uma adaptação do Ensino sob Medida e Aprendizagem Baseada em Equipes para a Educação de Jovens e Adultos (EJA). Elabora-se uma sequência didática e descrita a aplicação desta sequência a uma turma noturna de EJA. Alguns resultados desta aplicação são relatados. O material instrucional utilizado é apresentado no Apêndice.

Palavras-chave: Ensino de Física, Efeito Estufa, EJA.

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2023

## **ABSTRACT**

### **EXPLORING THE GREENHOUSE EFFECT IN YOUTH AND ADULT EDUCATION CLASSES**

Luan Gomes Souza

Supervisor:  
Marta Feijó Barroso

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

Teaching Physics to adults that did not complete high school at appropriate age requires a discussion about the topics and methods to be used. In this work, we present the elaboration, application and discussion of a didactic sequence on the Greenhouse Effect, in an approach to present climate issues in high school. A bibliographical survey on teaching physics for adults is presented, possibilities and characteristics of active methodologies are discussed, and the Greenhouse Effect was presented using an adaptation of Just-in-Time Teaching and Team-Based Learning methodologies. A didactic sequence is developed and the application of this sequence to an adult high school night class is described. Some results of this application are reported. The instructional material used is presented in the Appendix.

Keywords: Physics education, Greenhouse Effect, Young and adults education

Rio de Janeiro  
December of 2023

## Sumário

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Capítulo 1 | Introdução  | 1  |
| Capítulo 2 | Ensino de Física para jovens e adultos                              | 3  |
|            | 2.1. Sobre a EJA e o Ensino de Física                               | 3  |
|            | 2.2. Projetos didáticos   | 7  |
|            | 2.3. Sala de aula invertida   | 8  |
|            | 2.4. Ensino sob Medida (Just-in-time Teaching)                      | 8  |
|            | 2.5. Aprendizagem por equipes (Team Based Learning)                 | 10 |
| Capítulo 3 | A preparação da sequência didática: o projeto piloto                | 12 |
|            | 3.1. Estrutura da EJA no colégio de aplicação da sequência didática | 12 |
|            | 3.2. Caracterização da turma  | 14 |
|            | 3.3. Preparação das equipes   | 15 |
|            | 3.4. A sequência de atividades                                      | 16 |
|            | 3.4.1. Aula piloto  | 16 |
|            | 3.4.2. Aplicação do Teste de Preparação Individual (TPI)            | 18 |
|            | 3.4.3. Discussão do TPI e as aulas de conteúdos específicos         | 20 |
|            | 3.4.4. Problema de resolução em equipe                              | 21 |
| Capítulo 4 | Um modelo simples para a descrição do Efeito Estufa                 | 25 |
|            | 4.1. A elaboração do modelo   | 25 |
|            | 4.2. A energia solar absorvida pela Terra                           | 27 |
|            | 4.3. A energia reemitida pela Terra                                 | 31 |
| Capítulo 5 | As atividades em sala de aula                                       | 34 |
|            | 5.1. A aplicação do Teste de Preparação Individual (TPI)            | 34 |
|            | 5.2. A aplicação do Problema de Resolução por Equipes (PRE)         | 39 |
|            | 5.3. Impressões sobre a aplicação da sequência didática             | 47 |
| Capítulo 6 | Considerações finais  | 48 |
|            | Referências Bibliográficas  | 50 |
| Apêndice   | Efeito estufa na Educação de Jovens e Adultos                       | 54 |

# Capítulo 1

## Introdução

A Educação de Jovens e Adultos (EJA) é uma modalidade de ensino que envolve uma série de dimensões que vão além da dimensão curricular, fazendo com que esta modalidade tenha um caráter complexo. Rocha (2017) faz observações acerca necessidade que o ensino na EJA esteja adequado aos seus sujeitos, talvez o apontamento mais relevante ao tratar da modalidade.

Um levantamento de trabalhos voltados a esta área evidencia a escassez de publicações e a falta de expressividade que apresentam as propostas de ensino de ciência, em especial o ensino de Física, voltadas para esse público.

O ensino de Física no contexto da EJA necessita de estratégias que sejam diferenciadas em relação àquelas utilizadas para turmas de ensino médio regular (Krummenauer, 2020). Dentre os fatores que tornam a prática de sala de aula desafiadora em turmas de EJA, podemos destacar carga horária reduzida, a heterogeneidade das turmas, a evasão escolar e falta de estímulo dos estudantes.

Este trabalho propõe a utilização de metodologias ativas de ensino, em particular a baseada na aprendizagem por equipes, aplicadas no formato de projeto temático bimestral, em uma turma de concluintes do Ensino Médio na EJA. A ideia preliminar era construir uma atividade que abordasse a física de fenômenos climáticos diversos. Contudo, ao voltar a atenção para a estrutura da EJA no colégio para o qual o material foi preparado, somado ao curto prazo apontado pelo calendário escolar, foi necessária uma adaptação e apenas um fenômeno específico foi escolhido, o Efeito Estufa. Este trabalho apresenta uma sequência didática sobre temática do Efeito Estufa, que pode ser replicada por outros professores em suas aulas.

A elaboração da sequência didática teve início com um levantamento bibliográfico com o objetivo de compreender como a EJA está inserida no Ensino de Física, bem como tomar conhecimento de trabalhos que ressaltassem as vantagens da utilização das práticas de projetos e o uso de metodologias ativas. Esses tópicos constituem o capítulo 2.

No capítulo 3, apresenta-se o colégio no qual foi feita a aplicação da sequência didática, com a caracterização da turma na qual foi aplicada. Toda a organização das aulas, preparação das equipes e a descrição das atividades realizadas estão descritas neste trecho, cujo título é “projeto piloto”.

No capítulo 4, apresentam-se os conhecimentos de física envolvidos no fenômeno do Efeito Estufa; a estrutura desse capítulo foi a base para a elaboração dos materiais instrucionais disponibilizados aos estudantes ao longo de toda a sequência de atividades.

O capítulo 5 discute a aplicação da sequência didática, destacando a participação dos estudantes em cada etapa, assim como comentários descritos pelo docente sobre as impressões durante a fase de aplicação.

Por fim, no capítulo 6 estão as considerações finais. Aqui constam apontamentos sobre os pontos desafiadores e de destaque durante a elaboração e aplicação da sequência didática, além de comentários sobre as potencialidades da utilização de metodologias ativas no ensino de Física, em especial o Ensino sob Medida e a Aprendizagem por equipes.

Os materiais instrucionais elaborados para os estudantes, assim como algumas instruções para os docentes, podem ser encontrados nos apêndices da dissertação.

## Capítulo 2

### Ensino de Física para jovens e adultos

Na primeira parte deste capítulo apresenta-se um breve panorama a respeito de como o ensino de Física está inserido na Educação de Jovens e Adultos (EJA), seguido de uma revisão na literatura que tem por objetivo expandir a discussão do tema. Na sequência, apresentamos as metodologias que são utilizadas para trabalhar Física no contexto da EJA.

#### 2.1 Sobre a EJA e o ensino de Física

O sistema educacional adotado no Brasil é composto pela Educação Básica e o Ensino superior. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação (BRASIL, 1996) estrutura a Educação Básica em níveis que compreendem a Educação Infantil, o Ensino Fundamental obrigatório de nove anos e o Ensino Médio, além de suas inúmeras modalidades, dentre elas a Educação de Jovens e Adultos (EJA). A EJA é objeto de uma seção na LDB/96, a seção 5, e teve seu artigo 37 alterado pela Lei 13632/2018,

*Art. 37. A educação de jovens e adultos será destinada àqueles que não tiveram acesso ou continuidade de estudos nos ensinos fundamental e médio na idade própria e constituirá instrumento para a educação e a aprendizagem ao longo da vida. (Redação dada pela Lei nº 13.632, de 2018) (BRASIL, 1996)*

Strelhow (2010) destaca a complexidade dessa modalidade, pois envolve dimensões que transcendem a questão educacional. Rocha (2017) salienta a importância do ensino na EJA estar adequado aos seus sujeitos. Os autores fazem uma série de apontamentos no campo das políticas públicas, e chegam à conclusão de que há uma variedade de maneiras para ensinar na EJA, em particular ensinar Ciências.

Nesse levantamento bibliográfico (Rocha, 2017) são trazidas informações interessantes para definir como a EJA está inserida no contexto da pesquisa em ensino de Ciências. De acordo com os autores, são poucas as contribuições voltadas para o ensino de Ciências, e as produções até então eram consideradas pouco expressivas.

Baseado no grande tema “Ensino de Ciências”, destacam-se a seguir os pontos que aparecem como fatores comuns nos trabalhos por eles analisados:

- Uso de materiais impressos (apostilas, fichas, materiais de apoio);
- Trabalho em equipes;
- Atividades práticas, como laboratório ou visita a espaços de ciências (museus, por exemplo); e
- Uso de projetos temáticos.

É interessante ressaltar que, de um universo de mais de 20 artigos citados no levantamento (Rocha, 2017), apenas 3 abordavam propostas ou discussões especificamente sobre o ensino de Física nessa modalidade.

Krummenauer (2020) afirma que o ensino de Física, no contexto da EJA, necessita de estratégias distintas das utilizadas no ensino médio regular. De acordo com Faria (2017), devemos considerar fatores como respeito aos interesses e saberes dos estudantes, carga horária reduzida e heterogeneidade das turmas, quando analisamos o ensino na EJA. Propostas deslocadas de um contexto podem levar a um cenário de evasão e reprovação.

Por meio de um questionário estruturado, Krummenauer (2020) avaliou a percepção de estudantes e professores sobre a disciplina de Física e seu ensino nas escolas. Das informações extraídas dos estudantes, três quartos consideram que a Física tem sua importância, porém esse mesmo grupo não conseguiu apresentar uma justificativa sólida do porquê. O restante considerou a Física sem importância. Dentro dos argumentos, destacam-se a falta de conexão com o cotidiano, ausência do laboratório no espaço escolar, o não uso de recursos computacionais pelo professor e a falta de interesse em ingressar no ensino superior. O autor discute que a EJA recebe, em geral, uma física abordada em apenas um tópico, a cinemática, com foco na preparação para o vestibular, fazendo com que os estudantes não consigam estabelecer uma ponte entre o conhecimento apresentado em sala de aula e seu cotidiano.

Com relação aos docentes, Krummenauer (2020) os divide em duas categorias, os que utilizam de teorias de aprendizagem para fundamentar suas aulas, e os que não fazem uso dessa prática. Para os que fazem parte do primeiro grupo, o destaque está nas práticas construtivistas, aproveitando o conhecimento prévio dos estudantes e utilizando mapas conceituais como forma de avaliação. O segundo grupo, no entanto, justifica a

falta dessa prática com base na não formação sobre o tema e a descrença de que tais teorias possuam alguma relação com a sala de aula.

Krummenauer (2016) mostra que a escolha da metodologia utilizada pelo docente tem influência direta no interesse dos estudantes para com a disciplina. Associar a um contexto, a uma situação conhecida pelo estudante, o que está sendo ensinado torna o ensino de Física mais atrativo e significativo. Por fim, Krummenauer (2016) afirma que repetir estratégias utilizadas no ensino médio regular com os estudantes adultos influencia de forma negativa seus interesses; em pesquisa realizada com os docentes que atuam com o público da EJA, o autor afirma que adaptar o currículo de forma a aproveitar conhecimentos prévios dos estudantes é um caminho satisfatório para a aplicação de propostas em sala de aula.

Guiado pelos contextos apresentados por Krummenauer (2016; 2020) e o levantamento de trabalhos feitos por Rocha (2017) que possuíam como tema principal o Ensino de Física na EJA, expandiu-se a busca na realizada na literatura de pesquisa. A base para a busca constituiu-se de periódicos que compõem a base da plataforma *Scielo*, ampliada para trabalhos publicados em anais do Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências (ENPEC) entre os anos de 2010 e 2019, e a plataforma do *Google Scholar*. As palavras-chaves utilizadas foram: “Educação de Jovens e Adultos”; “EJA”; e “Ensino de Física”.

Foram encontrados 11 trabalhos que têm aulas de Física como discussão central. Na intenção de compreender melhor os principais assuntos que os trabalhos abordam, foram criadas quatro categorias, dispostas na tabela 2.1.

**Tabela 2.1:** Principais assuntos discutidos e propostos nos trabalhos levantados que abordam o Ensino de Física na EJA.  
(Fonte: o autor)

|   | <b>Número de trabalhos</b> |
|---|----------------------------|
| Análises do discurso e concepções espontâneas | 2                          |
| Uso e/ou produção de materiais didáticos      | 2                          |
| Uso de metodologias de ensino                 | 4                          |
| Práticas experimentais                        | 3                          |

Dos trabalhos que compõem a categoria de *Análises do discurso e concepções espontâneas*, Almeida, Cerqueira Jr e Silva (2016) tentam identificar e analisar concepções alternativas sobre fenômenos ligados à eletricidade atmosférica. Por meio

da análise dos diálogos com os estudantes, os autores estabelecem que concepções alternativas nesse público podem surgir através de informações vinculadas em seu meio familiar, muitas vezes passadas de geração em geração ou por simples interpretações pessoais errôneas sobre a dinâmica da natureza.

Freitas e Aguiar Jr (2010) apresentam uma atividade de elaboração conceitual tendo como tema a primeira lei de Newton. Toda a análise foi feita com base nas produções escritas dos estudantes. Seus resultados mostraram que essa prática estabelece proximidade entre o estudante e o discurso científico.

Na categoria de *Uso e/ou produção de materiais didáticos*, Barbosa e Cavalcanti (2019) realizam um estudo qualitativo que investiga a utilização de textos de divulgação científica para ensinar Física. O material instrucional consiste em uma sequência de leitura, debate e exercícios que, segundo os autores, contribuiu para a mudança de paradigma com relação a disciplina de Física.

Motivadas por buscar uma proposta de intervenção que utilize diversas técnicas de ensino como exibição de vídeos, leitura de artigos de divulgação científica, reconstrução e demonstração de experimentos e discussões em grupo, o trabalho de Cunha e Dickman (2018) dialoga com a proposta de Almeida, Cerqueira Jr e Silva (2016). Nesse caso, o uso de materiais diversos permitiu identificar a construção de conceitos científicos a partir de noções espontâneas.

No grupo que concentra maior quantidades de trabalhos – *Uso de metodologias de ensino* –, Silva (2019) explora as limitações e potencialidades que o uso de CTS (Ciência Tecnologia e Sociedade) possui ao ser trabalhada em turmas da EJA. Embora o trabalho seja apenas um recorte de uma pesquisa de grande porte, o autor conclui que o uso dessa metodologia oferece um ensino significativo e de relevância no cotidiano dos estudantes.

Santos (2015) avalia o uso da metodologia POE (Previsão-Observação-Explicação) para abordar concepções alternativas mais presentes em mecânica. É interessante destacar que, de acordo com o autor, fatores sociais influenciavam no processo de ensino-aprendizagem, no qual o estudante não atingia os objetivos esperados com a metodologia aplicada.

Krummenauer, Costa e Lang (2010), partindo da característica rotina trabalhadora de seus estudantes no setor coureiro e calçadista de uma cidade do Rio Grande do Sul, alinham as teorias de aprendizagem de Ausubel e Novak às ideias de

Paulo Freire, e estruturaram uma sequência didática sobre Cinemática e Dinâmica do Movimento Circular.

Por fim, na categoria de *Práticas experimentais*, Neto (2017) faz uso de experimentos nas aulas de Física. O autor propõe uma sequência de experimentos em mecânica e conclui que sua utilização favorece a aprendizagem ao apoiar-se em aulas que explorem, além dos conhecimentos específicos, práticas colaborativas, interações sociais entre os estudantes e o desenvolvimento de suas habilidades investigativas.

## **2.2. Projetos Didáticos**

Segundo Espíndola e Moreira (2006), projetos didáticos têm funções importantes no processo de construção do conhecimento. O uso dessa prática facilita a organização das atividades, auxilia a elaboração de estratégias de organização de conhecimentos, cria vínculo entre os conteúdos estudados e situações do cotidiano, e torna o estudante protagonista no processo de aprendizagem.

O uso dessa prática dá aos estudantes habilidades como responsabilidade, autonomia, reflexão, cooperação e crítica durante o processo de ensino e aprendizagem. Todo o conteúdo deve ser desenvolvido a partir da escolha do eixo temático a ser trabalhado, e o docente passa a ocupar uma função de mediador atuante.

Ainda segundo Espíndola e Moreira (2006), toda ação que passa a ser desenvolvida dentro dos projetos propicia uma aprendizagem potencialmente significativa, evitando com que a prática de sala de aula se torne uma superposição de informações isoladas e exercícios exaustivos.

Para Krummenauer, Costa e Lang (2010), ensinar Física na EJA requer estratégias que vão além das usadas no ensino regular. Propostas que sejam desarticuladas do contexto do estudante e com as especificidades presentes no público da EJA aumentam as dificuldades de aprendizagem, podendo gerar consequências como alto índice de evasão.

Espíndola e Moreira (2006) mostram que o uso de projetos didáticos constitui uma estratégia diferenciada. Para a Física em particular, passa a ser uma alternativa para que os estudantes relacionem conceitos e princípios científicos abordados com aplicações no contexto cotidiano.

Em suma, a metodologia de projetos com o objetivo de solucionar problemas interessantes gera estímulo com a inserção de atividades dinâmicas no processo

educativo, produzindo uma necessidade de aprendizagem. No processo, os estudantes não terão que aprender os conteúdos partindo de noções abstratas, pois irão construir seu conhecimento partindo de situações específicas.

### **2.3. Sala de Aula Invertida**

Oliveira, Araujo e Veit (2016) inserem a Sala de Aula Invertida como uma forma de aprendizagem ativa envolvendo a realização de atividades que dão aos estudantes a possibilidade de se sentirem encorajados cognitivamente e que eles reflitam ao longo do processo sobre aquilo que estão aprendendo.

A base para inverter a sala de aula é apresentada por Bergmann e Sam (2012), e o conceito proposto é fazer com que os estudantes tenham contato com os conteúdos a serem trabalhados na escola por meio de atividades de preparação. O estudante previamente tem contato com o conteúdo a ser trabalhado por meio de materiais de apoio (vídeos gravados ou sugeridos pelo professor, apostilas, capítulos de livro, entre outros) em ambiente externo à sala de aula.

Oliveira, Araujo e Veit (2016) exemplificam que esse contato prévio pode ser feito por meio da leitura e/ou visualização de vídeos recomendados pelo docente junto a algumas questões sobre os conteúdos abordados.

A prática desse tipo de metodologia tem como ganho o aproveitamento de tempo em sala para que atividades ou discussões sobre conceitos físicos, antes negligenciadas, possam acontecer, além de possibilitar um maior tempo para sanar dúvidas e focar a atenção nas dificuldades que os estudantes possam apresentar.

De acordo com Oliveira, Araujo e Veit (2016), não há uma única forma de inverter a sala de aula. Ao conhecer diferentes abordagens, o professor pode escolher aquela(s) que melhor se adapta(m) ao seu contexto de sala de aula. A seguir iremos concentrar nossa atenção em dois métodos: Ensino sob Medida (*Just-in-time Teaching*) e a Aprendizagem por Equipes (*Team Based Learning*).

### **2.4. Ensino sob Medida (*Just-in-time Teaching*)**

Araujo e Mazur (2013) descrevem que o objetivo geral do Ensino sob Medida, do original em inglês *Just-in-time Teaching*, é estruturar as atividades de aula tomando como ponto de partida os conhecimentos e dificuldades dos estudantes. Essas

informações são coletadas por atividades de leitura elaboradas pelo professor e respondidas pelos estudantes (e analisadas pelo professor) antes das aulas.

A estrutura de todo o método é feita em etapas. O professor prepara uma atividade prévia à aula. Essa atividade é desenvolvida pelos estudantes através da leitura de materiais de apoio, sendo seguida por um questionário eletrônico composto por questões conceituais sobre os tópicos. De acordo com Araujo e Mazur (2013), o questionário deve promover o pensamento crítico sobre a leitura realizada, introduzir os tópicos que serão trabalhados em sala de aula e estimular os alunos a elaborarem argumentações para justificar suas respostas. O professor tem liberdade para estipular o prazo para que os estudantes realizem a tarefa prévia, entretanto deve ter cuidado para que o tempo seja suficiente para que consiga analisar as respostas e preparar a sequência da aula.

Em sala de aula, o professor retoma as questões da tarefa de leitura, transcrevendo aquelas com potencial para fomentar discussões. O cuidado ao se trabalhar com as respostas dos estudantes deve ser constante, a fim de não haver nenhum constrangimento. A dinâmica da aula depende da avaliação que o docente faz dos pontos de maior dificuldade. Algumas ferramentas podem ser utilizadas, como por exemplo vídeos de curta duração, demonstrações experimentais, simulações computacionais, entre outros.

A parte final desse método é composta por atividades em grupo com o intuito de trabalhar a criticidade e argumentação. Oliveira, Araujo e Veit (2016) sugerem que a preparação para esse momento pode ser por meio da resolução de problemas presentes no livro-texto. Os problemas sugeridos aos grupos podem exigir soluções mais complexas. É recomendável que todos os grupos recebam o mesmo problema, o que ajuda na troca de informações. Araujo e Mazur (2013) salientam que após as aulas os estudantes recebam questões desafios (ou *Puzzles*, quebra-cabeças), que podem ser respondidas remotamente e que fazem parte das discussões realizadas em sala. É interessante ressaltar que, ao propor uma nova questão, o professor tente dar um contexto diferente do apresentado em sala, pois essa mudança servirá de parâmetro para que o docente seja capaz de analisar o quanto o estudante consegue se adaptar a novos cenários.

Um comentário interessante apresentado por Oliveira, Araujo e Veit (2016) é que o Ensino sob Medida é uma metodologia flexível, o que resulta em uma prática

colaborativa podendo ser aplicada de diversas maneiras diferentes, inclusive com a junção de outros métodos ativos de ensino.

## 2.5. Aprendizagem por equipes (*Team Based Learning*)

Oliveira, Araujo e Veit (2016) definem a Aprendizagem por Equipes, do inglês *Team Based Learning*, como uma metodologia ativa que tem por objetivo colocar o estudante como protagonista de sua aprendizagem e a dos demais colegas. A proposta procura melhorar a aprendizagem e criar uma prática de trabalho colaborativo. A estrutura do método é descrita na tabela 2.2, onde a disciplina na qual a metodologia é aplicada passa a ser desenvolvida em módulos, que contam com duas fases, contendo atividades de preparação e aplicação.

**Tabela 2.2:** Estrutura de aplicação da Aprendizagem por Equipes.

|                             | Fases   |  |
|-----------------------------|---|--|
|                             | Preparação  | Aplicação                                      |
| <b>Fora da sala de aula</b> | Estudo prévio sobre o que será trabalhado em aula.              | Tarefas de casa                                |
| <b>Em sala de aula</b>      | Teste de Preparação Individual<br>Teste de Preparação em Equipe | Tarefas para serem desenvolvidas pelas equipes |

É importante destacar a necessidade de cuidados quanto à formação das equipes. Oliveira, Araujo e Veit (2016) destacam que o número de integrantes varia entre 5 e 7 estudantes, que são organizados pelo professor, com o intuito de valorizar a heterogeneidade dos integrantes no que diz respeito ao conhecimento, experiências pessoais, interesses, entre outros fatores. Também salientam que equipes compostas por estudantes com as mesmas características não atingem os resultados esperados.

Na fase de preparação, os estudantes recebem, com alguns dias de antecedência, um material de apoio que tem por objetivo prepará-los para as atividades de aula. Esses materiais podem ser entregues em formato de textos, vídeos, simulações, dentre outros. Em sala de aula, a dinâmica ocorre em duas etapas: um Teste de Preparação Individual (TPI), contendo questões – preferencialmente conceituais – sobre o estudo prévio; e um Teste de Preparação em Equipes (TPE), igual ao TPI, com o objetivo de tornar mais produtivas as discussões sobre os mesmos problemas.

Por fim, na fase de aplicação, em casa a turma desenvolve tarefas individuais mais simples do que as que farão em aula. De acordo com Oliveira, Araujo e Veit (2016), as atividades realizadas em sala devem promover interações entre os estudantes e fortalecer o espírito de equipe. Portanto, em sala as equipes recebem um problema na forma de exercícios convencionais, práticas experimentais, simulações, entre outros. Os autores ressaltam que a escolha do problema deve obedecer a quatro critérios: o problema deve ser significativo, para prover engajamento da equipe; todas as equipes recebem o mesmo problema; os problemas devem conduzir a equipe para uma escolha específica; o final da atividade deve estar acompanhado de uma troca de ideias entre as equipes, para compartilharem suas soluções.

Um exemplo de que a utilização desse tipo de metodologia produz bons frutos é relatado no trabalho desenvolvido por Higino (2018). Na ocasião, o autor ressaltou que as atividades desenvolvidas pelas equipes modificaram a postura passiva dos estudantes em sala de aula. Para além, houve ganho de participação e maior motivação nas discussões realizadas em sala de aula se comparado a estrutura tradicional das aulas de física.

No próximo capítulo, apresenta-se a construção do trabalho aplicado, desde a caracterização do colégio e da turma, como a construção das equipes. É importante salientar que são observadas algumas modificações na aplicação desses métodos ativos, para que adequem a estrutura e ritmo de uma turma da EJA.

## Capítulo 3

### A preparação da sequência didática: o projeto piloto

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um Projeto Didático a ser desenvolvido em turmas de Física inseridas na modalidade Educação de Jovens e Adultos (EJA), no intervalo de tempo característico de um bimestre letivo. O projeto foi idealizado para utilizar características do ensino sob medida (*Just-in-time Teaching*) e da Aprendizagem por equipes (*Team Based Learning*), aplicados em uma sala de aula da EJA.

A ideia preliminar era discutir a física envolvida em uma série de fenômenos climáticos recorrentes na nossa atmosfera, o que dividiria o projeto em alguns módulos a serem trabalhados pela turma. Contudo devido à estrutura da EJA no colégio em que o material foi aplicado, e à divulgação do calendário escolar no início do semestre letivo, foi necessária uma adaptação da proposta inicial.

O desenvolvimento do trabalho culminou por definir que a sequência didática abordaria um tema específico, compreender a Física envolvida no fenômeno do Efeito Estufa. Descrevemos a seguir esses aspectos.

#### 3.1. Estrutura da EJA no colégio de aplicação da sequência didática

Localizado na zona Sul do Rio de Janeiro, no bairro de Botafogo, o colégio no qual o produto foi aplicado tem a EJA como parte principal do seu projeto de filantropia, totalizando mais de 50 anos de atividade. A EJA é composta por Ensino Médio e Ensino Profissionalizante e possui um corpo discente de mais de 200 estudantes com bolsa integral desde a matrícula até a conclusão do ensino médio e/ou do curso profissional. O ingresso no colégio ocorre por meio de um processo seletivo semestral, com entrevistas para candidatos do Ensino Médio e prova de conhecimentos de Português e Matemática para os que concorrem ao Ensino Profissional.

O Ensino Médio tem duração de 2 anos corridos, com aulas em regime presencial no período noturno (das 18h20min às 22h) e algumas atividades extraclasse aos sábados, como práticas de educação física coletivas, saídas culturais, eventos

acadêmicos, entre outros. O estudante concluinte do Ensino Médio tem vaga garantida em um curso técnico de sua preferência<sup>1</sup>, podendo escolher entre Técnico em Administração, Técnico em Informática, Técnico em Análises Clínicas ou Técnico em Enfermagem. Caso deseje continuar em algum curso, o estudante mantém vínculo com o colégio por mais 2 anos, totalizando 4 anos para formação total (ensino básico e profissional).

A organização do Ensino Médio é composta por quatro fases<sup>2</sup> de mesma duração (um semestre). Hoje, a EJA conta com apenas uma turma por fase, com média de 30 estudantes cada. Como salientado por autores como Krummenauer (2016), Rocha (2017) e Krummenauer (2020), o ensino na EJA deve estar adequado aos sujeitos, e não fazer uso das mesmas propostas articuladas para o ensino médio regular. O colégio conta com uma ferramenta chamada de Plano de Ensino Individual (PEI); essa ferramenta tem como objetivo reconhecer as especificidades de estudantes em cada turma, e promover melhores abordagens para suprir suas necessidades educacionais.

As avaliações no colégio são bimestrais e divididas em três notas distintas: Prova (50 pontos), Teste (30 pontos) e Avaliação Formativa (20 pontos). Esta última está atrelada a uma série de tópicos que dizem respeito ao comportamento do estudante, sua frequência nas aulas, seu comprometimento na participação das atividades e projetos da disciplina, entre outros. Esse modelo de três notas categorizadas é o que o sistema do colégio reconhece como o processo avaliativo. Entretanto todos os professores têm a liberdade de escolher a melhor forma de avaliar suas turmas por exemplo usando avaliações processuais<sup>3</sup>.

Hoje o colégio funciona com duas matrizes curriculares, sendo uma nos padrões exigidos pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). As turmas que ingressaram no Ensino Médio a partir do primeiro semestre de 2022 já estão nos moldes da nova matriz curricular. A turma para a qual esse projeto foi aplicado já fazia parte do corpo discente antes desse período, o que configura a utilização da matriz do antigo ensino médio. Entre as duas matrizes não há diferença entre cargas horárias da disciplina de Física. Na figura 3.1, apresenta-se a matriz curricular atual para o ensino médio.

---

<sup>1</sup> As demais vagas para o Ensino Profissionalizante são ofertadas por processo seletivo.

<sup>2</sup> Na rede pública do Rio de Janeiro, a EJA é dividida em módulos temáticos semestrais de ensino, que ao final totalizam também 2 anos para formação básica completa.

<sup>3</sup> Importante salientar que, por mais que se divida as atividades em vários trabalhos separados, ao final a soma das notas deve ser consolidada pelo professor com o formato das notas estipuladas pelo sistema.

|  | Áreas de conhecimento                   | Componentes curriculares | FASES SEMESTRAIS – TEMPOS DE 40 MIN |            |           |            |           |            |           |            | TOTAL AULAS  |
|--|---|--------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|--------------|
|  |   |                          | 1ª FASE                             |            | 2ª FASE   |            | 3ª FASE   |            | 4ª FASE   |            |              |
|  |   |                          | CS                                  | Csem       | CS        | Csem       | CS        | Csem       | CS        | Csem       |              |
| FORMAÇÃO GERAL BÁSICA BNCC<br><br>960h | LINGUAGENS E SUAS TECNOLOGIAS           | LP/LIT                   | 4                                   | 80         | 4         | 80         | 4         | 80         | 4         | 80         | 320          |
|  |   | INGLÊS                   | 2                                   | 40         | 2         | 40         | 2         | 40         | 2         | 40         | 160          |
|  |   | ED. FÍSICA               | 1                                   | 20         | 1         | 20         | 1         | 20         | 1         | 20         | 80           |
|  | MATEMÁTICA E SUAS TECNOLOGIAS           | MATEMÁTICA               | 3                                   | 60         | 3         | 60         | 4         | 80         | 4         | 80         | 280          |
|  | CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS | FÍSICA                   | 1                                   | 20         | 1         | 20         | 1         | 20         | 1         | 20         | 80           |
|  |   | QUÍMICA                  | 1                                   | 20         | 1         | 20         | 2         | 40         | 2         | 40         | 120          |
|  |   | BIOLOGIA                 | 2                                   | 40         | 2         | 40         | 1         | 20         | 1         | 20         | 120          |
|  | CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS APLICADAS    | GEOGRAFIA                | 1                                   | 20         | 1         | 20         | 2         | 40         | 2         | 40         | 120          |
|  |   | HISTÓRIA                 | 2                                   | 40         | 2         | 40         | 1         | 20         | 1         | 20         | 120          |
|  |   | FILOSOFIA                | 1                                   | 20         | 1         | 20         | 1         | 20         | 1         | 20         | 80           |
| SOCIOLOGIA                             |   | 1                        | 20                                  | 1          | 20        | -          | -         | -          | -         | 40         |              |
| <b>TOTAL DA FORMAÇÃO GERAL BÁSICA</b>  |   |                          | <b>19</b>                           | <b>380</b> | <b>19</b> | <b>380</b> | <b>19</b> | <b>380</b> | <b>19</b> | <b>380</b> | <b>/1520</b> |
| PARTE DIVERSIFICADA                    |   | E. RELIGIOSO             | 1                                   | 20         | 1         | 20         | 1         | 20         | 1         | 20         | 80           |

**Figura 3.1:** Matriz curricular para o Ensino Médio da Educação de Jovens e Adultos, nos moldes da BNCC. Em comparação com a matriz anterior do colégio, não houve alteração de carga horária da disciplina de Física, que conta com 1 tempo semanal de 40 minutos.

Todas as áreas de conhecimento têm total liberdade de usufruir de todos os ambientes da escola para desenvolver suas propostas: biblioteca, auditório, sala de informática, quadras poliesportivas, pátios, laboratórios, teatros, entre outros espaços. A equipe de Ciências da Natureza possui espaços de laboratório que são compartilhados com o ensino profissional. A disciplina de Física possui seu próprio laboratório, com diversos equipamentos.

### 3.2. Caracterização da turma

A sequência didática foi aplicada em uma turma concluinte do ensino médio. No início do semestre, o número de matriculados na turma era de 36 estudantes, e os encontros eram realizados semanalmente durante o 1º tempo de aula da noite, correspondendo a 40 minutos corridos. É interessante ressaltar que o indicador de presença dos estudantes nas aulas varia de acordo com o tempo ocupado pela sua disciplina ao longo da noite. Por exemplo, as aulas acontecem entre 18h20min e 22h; caso a disciplina ocupe o primeiro tempo, a frequência de comparecimento dos estudantes é bem menor do que o de uma disciplina que ocupe o último tempo, no mesmo dia. Isso se deve ao fato que a maioria dos estudantes não consegue sair de seus empregos e se deslocar para o colégio a tempo de assistir a primeira aula por completo.

Essa situação produz duas consequências para a aplicação da proposta deste trabalho. A primeira é a de que, em todas as aulas, o número de estudantes cresce

conforme nos aproximamos do final da aula. Isso faz com que pouco mais de um quarto da turma não consiga acompanhar todas as discussões por inteiro. A segunda consequência é a organização das aulas. A estrutura que a sequência foi aplicada levou em conta a importância de tentar alcançar a participação do máximo de estudantes. Portanto a sequência de algumas aulas pode variar se em outro momento quisermos aplicar a mesma proposta em um grupo que não tenha essa característica.

As aulas aconteceram em dois ambientes, a sala de aula e o laboratório didático. Todas as salas de aula do colégio são equipadas com um projetor e um computador com acesso à internet. O laboratório didático é equipado com diversos kits experimentais abordando vários temas da física. Contudo, o fato de não haver monitor ou técnico responsável faz com que os experimentos estejam incompletos, com defeito ou sem manutenção adequada. Na maioria das vezes, ficou a cargo do professor chegar antes do horário da aula para organizar todo o equipamento necessário que seria usado no dia.

Toda a realização do trabalho aconteceu durante os meses de fevereiro, março e início de abril. Foram ao todo 8 encontros, totalizando aproximadamente 5h de atividade. Durante toda a aplicação não ocorreram imprevistos que resultassem na suspensão de encontros.

### **3.3. Preparação das equipes**

A turma é formada por 36 estudantes e foram propostas 6 equipes. Quatro delas eram constituídas por 5 integrantes e 2 com apenas 4. Ao pensar nas equipes, a preocupação era de construir grupos heterogêneos e equilibrados, para que o desempenho durante a realização das atividades não fosse prejudicado. Segundo Cohen e Lotan (2017), um professor, ao se deparar com turmas heterogêneas, utiliza frequentemente o trabalho em grupo,

não há evidências que mostrem maior aprendizagem de alunos com dificuldades trabalhando juntos (...). Muito pelo contrário, alunos com dificuldade claramente se beneficiam de grupos heterogêneos (...).

Uma alternativa é o uso de grupos heterogêneos e alunos capacitados a servirem como recurso acadêmico e linguístico uns aos outros. (...) (COHEN; LOTAN, 2017, p. 22)

Por se tratar de uma turma concluinte, o professor já possuía uma noção prévia das características individuais de cada estudante por acompanhá-los desde o ingresso no

ensino médio. Na tabela 3.1 temos uma descrição das características dos componentes de uma equipe.

**Tabela 3.1.** Características de cada participante de uma equipe.

| <b>Participante</b> | <b>Característica</b>                                      |
|---------------------|--|
| 1                   | Bom desempenho nas fases anteriores                        |
| 2                   | Comunicativo   |
| 3                   | Faz parte do PEI   |
| 4                   | Tímido   |
| 5                   | Dificuldades com o horário e/ou baixa frequência nas aulas |

Pensar nas características de cada participante levou um certo tempo, contudo, atividades já desenvolvidas no colégio anteriormente ajudaram a preparar a estrutura apresentada acima.

### **3.4. A sequência de atividades**

Todas as atividades foram realizadas durante 8 encontros. Na tabela 3.2, apresentam-se os assuntos desenvolvidos em cada momento. Como o tempo de aula é curto, algumas atividades sugeridas nas metodologias de Aprendizagem por Equipes e Ensino sob Medida tiveram de ser adaptadas para a realidade da aula, caso contrário não seria possível desenvolver toda a proposta em tempo hábil.

**Tabela 3.2.** Sequência das atividades desenvolvidas.

| <b>Aula</b> | <b>Assunto</b>                                  |
|-------------|---|
| 1           | Aula piloto                                     |
| 2           | Aplicação do TPI                                |
| 3           | Discussão do TPI<br>Sistema climático terrestre |
| 4           | Estimando a temperatura da Terra                |
| 5           |   |
| 6           | Explorando o efeito estufa                      |
| 7           |   |
| 8           | Problema de resolução em equipes                |

#### *3.4.1. Aula piloto*

A atividade que abre a sequência de aulas do projeto foi de fato a primeira aula do semestre e teve duração de 1 tempo de aula (40 minutos). Esse encontro foi dividido

em duas etapas. Na primeira foram formadas as equipes e na segunda foi realizada uma dinâmica planejada para resgatar os conceitos físicos mais básicos necessários para o restante das atividades. Como já mencionado, o início de cada aula é marcado por um índice de frequência baixo, com apenas 30% da turma presente, por consequência, optou-se por começar discutindo a formação das equipes.

Como a turma é concluinte do ensino médio, os estudantes reconhecem suas próprias características e a dos colegas, por fazerem muitos trabalhos colaborativos em outras disciplinas, e com isso concordaram com as equipes propostas pelo professor. Os minutos gastos para essa primeira etapa da aula foram suficientes para que a outra parte da turma chegasse ao colégio.

Para cada uma das equipes já formadas, foram entregues um conjunto de materiais compostos por pares de placas de diferentes materiais (madeira e alumínio) e uma porção de cubos de gelo. Inicialmente, sorteamos um estudante para começar a experimentação. O estudante sorteado segura em cada uma das mãos uma placa e responde às perguntas propostas pelo professor na tabela 3.3, referentes à parte 1. Cada membro da equipe repete o procedimento em ordem e, ao final, as equipes registram suas respostas para as perguntas.

**Tabela 3.3.** Perguntas propostas pelo professor e o que as equipes desenvolveram em cada parte da dinâmica experimental.

|  | <b>Professor</b>   | <b>Equipes</b>                                 |
|--|--|--|
| <b>Parte 1<br/>Sensação<br/>térmica</b>      | Como vocês descreveriam as temperaturas das placas?  | Discutem e registram suas repostas             |
|  | Vocês são capazes de estimar um valor de temperatura para cada uma das placas?   |  |
| <b>Parte 2<br/>Condutividade<br/>térmica</b> | O gelo sobre as placas derrete na mesma rapidez? (Se sua resposta foi “não”, diga sobre qual placa o derretimento é mais rápido) | Realizam o experimento e registram as repostas |
|  | Coloque agora um cubo de gelo sobre sua mão, e compare com a rapidez de derretimento das placas.                                 |  |
|  | Com base nas suas observações, caso haja uma diferença entre a rapidez de derretimento, o que poderia provocar esse efeito?      | Discutem e registram suas repostas             |

Finalizada a parte 1, o professor utiliza um termômetro infravermelho para medir a temperatura de cada um dos pares de placas que se encontram com os estudantes. O intuito foi o de perceber se há contraste entre as respostas das perguntas acima e o valor marcado pelo termômetro. Nesse momento discute-se o mecanismo de

sensação térmica que o corpo humano possui e se o tato permite medir com alguma precisão a temperatura dos objetos.

Na parte 2, os estudantes utilizaram os cubos de gelo sobre cada uma das placas e observaram o tempo de derretimento do gelo sobre cada material. Após responder às perguntas propostas para essa parte, a aula foi finalizada com a discussão envolvendo a diferença entre dois conceitos: temperatura e condutividade térmica dos materiais.

É importante ressaltar o caráter objetivo desse primeiro encontro. Ao apresentar novos assuntos, é comum os estudantes trazerem suas concepções prévias para tentar explicar as observações. Isso faz com que seja ultrapassado o tempo previsto de discussões para cada parte da aula. O controle do tempo feito pelo professor foi fundamental para que os objetivos da aula piloto fossem alcançados.

### *3.4.2. Aplicação do Teste de Preparação Individual (TPI)*

A estrutura da aprendizagem por equipes indica que os estudantes devem receber previamente um material de apoio, para ajudá-los a se preparar para as tarefas que são realizadas em sala de aula. Contudo as propostas aplicadas na EJA devem estar adequadas aos seus sujeitos. Ao observar a rotina dos estudantes que compõem a turma, vemos trabalhadores. Este trabalho em inúmeros momentos os impede de chegar no horário e, em alguns casos, de ir ao colégio.

Ao refletir sobre a situação, pensou-se em elaborar um material de apoio que pudesse preparar os estudantes já em horário de aula e que possibilitasse a cada um deles realizar o teste de preparação individual (TPI). O material escolhido foi composto por 2 vídeos disponíveis na plataforma do YouTube, que abordam todos os conceitos que foram discutidos na aula piloto e que seriam discutidos em aulas seguintes. As informações sobre esses materiais<sup>4</sup> estão apresentadas na tabela 3.4.

---

<sup>4</sup> O TPI pode ser encontrado no apêndice deste trabalho a partir da página 6.

**Tabela 3.4.** Informações sobre os vídeos utilizados previamente à aplicação do TPI.

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| <b>Vídeo 1</b> | <i>What is the GreenhouseEffect?</i> (O que é o Efeito Estufa?)                   |   |
|                | Autor:  | NASA Space Place  |
|                | Disponível em:  | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=SN5-DnOHQmE&amp;t=5s">https://www.youtube.com/watch?v=SN5-DnOHQmE&amp;t=5s</a>   |
| <b>Vídeo 2</b> | Você sabe a diferença entre EFEITO ESTUFA, AQUECIMENTO GLOBAL e MUDANÇA CLIMÁTICA |   |
|                | Autor:  | Instituto de Física da USP  |
|                | Disponível em:  | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=RKQZrDcxUXA&amp;t=24s">https://www.youtube.com/watch?v=RKQZrDcxUXA&amp;t=24s</a> |

Com o objetivo de contemplar o maior percentual possível de estudantes na atividade, o TPI foi entregue à turma logo de início e uma leitura em conjunto foi feita. Após esse momento, os vídeos seriam exibidos em 3 momentos, com intervalo de 10 minutos entre exibições. Para aqueles estudantes que estavam em sala no início da aula, a reexibição contribuiu para revisassem suas respostas ou tirassem dúvidas sobre o assunto e para aqueles que fossem chegando ao longo do tempo permitiu que participassem da atividade com os colegas. Na tabela 3.5, está descrita a dinâmica de exibição dos vídeos.

**Tabela 3.5.** Dinâmica adotada na aula, relacionando o tempo gasto para realização de cada atividade.

| <b>Tempo decorrido</b> | <b>O que é feito?</b>                         |
|------------------------|---|
| 5 minutos              | Explicação da atividade + distribuição do TPI |
| 15 minutos             | 1ª exibição dos vídeos                        |
| 25 minutos             | 2ª exibição dos vídeos                        |
| 35 minutos             | 3ª exibição dos vídeos                        |
| 40 minutos             | Finalização da atividade                      |

Ao final da atividade, alguns dos estudantes se sentiram à vontade para apresentar seu retorno (*feedback*) sobre a aula. Entre os comentários dos estudantes, podemos destacar que, por exibir um vídeo em inglês apenas com legendas, alguns sentiram dificuldade em assimilar todo o assunto de uma única vez, mas reexibi-lo algumas vezes fez com a classe ficasse mais atenta e pudesse tirar suas próprias dúvidas sem precisar solicitar o professor.

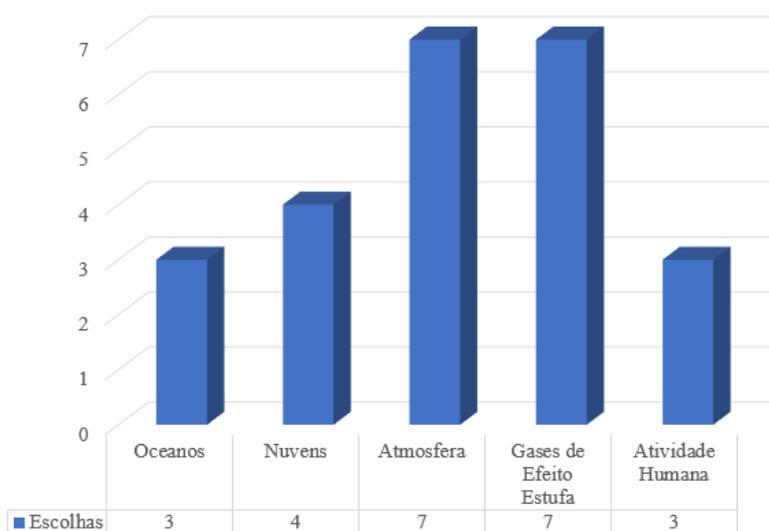
Aqueles que chegaram com a atividade já iniciada puderam acompanhar o restante da classe, mas não se sentiram confiantes nas respostas e explicações que colocaram no TPI, justamente por ter tido menos tempo de assimilar todas as

afirmações. Os estudantes que chegaram em sala apenas na última exibição não conseguiram concluir todas as questões do TPI.

### 3.4.3. Discussão do TPI e as aulas de conteúdos específicos

A programação da terceira aula era fazer um apanhado das respostas que os estudantes apresentaram às questões do TPI, preparando uma breve apresentação revisitando as questões e apresentando um gráfico que continha a frequência de escolhas de cada resposta, como na figura 3.2, que apresenta as respostas à questão 6 (página 9 do apêndice).

A questão 6 tinha como título “Medindo a temperatura da Lua”, e o comando “*A seguir estão listados alguns fatores presentes no nosso planeta. Marque aquele responsável por essa grande diferença [na temperatura da superfície] em relação à Lua*”, com alternativas mencionando a presença de oceanos, de nuvens, de atmosfera, de gases de efeito estufa e atividade humana.



**Figura 3.2.**Exemplo da representação das respostas dos estudantes para a questão de número 6 do teste de preparação individual. (Ver página 9 do apêndice)

Observe que o intuito da representação gráfica das respostas não é identificar o que cada estudante assinalou, mas perceber qual a interpretação feita pelos estudantes a respeito dos conceitos apresentados nos vídeos exibidos . Dessa maneira, foi possível identificar quais os pontos de maior dificuldade e quais ideias não ficaram bem esclarecidas.

Planejava-se nesse momento apenas fazer um panorama junto à turma. No entanto, os estudantes sentiram-se à vontade para fazer perguntas sobre o porquê de suas respostas não serem as corretas. A empolgação da turma nesse momento foi maior do que o esperado, e tornou a discussão produtiva. A discussão complementar sobre sistema climático terrestre foi adaptada, elaborando-se um material impresso complementar entregue aos estudantes. Como a perspectiva de leitura desse material de maneira espontânea por parte dos estudantes era pequena, a solução foi diluir a apresentação desses conceitos nas aulas seguintes.

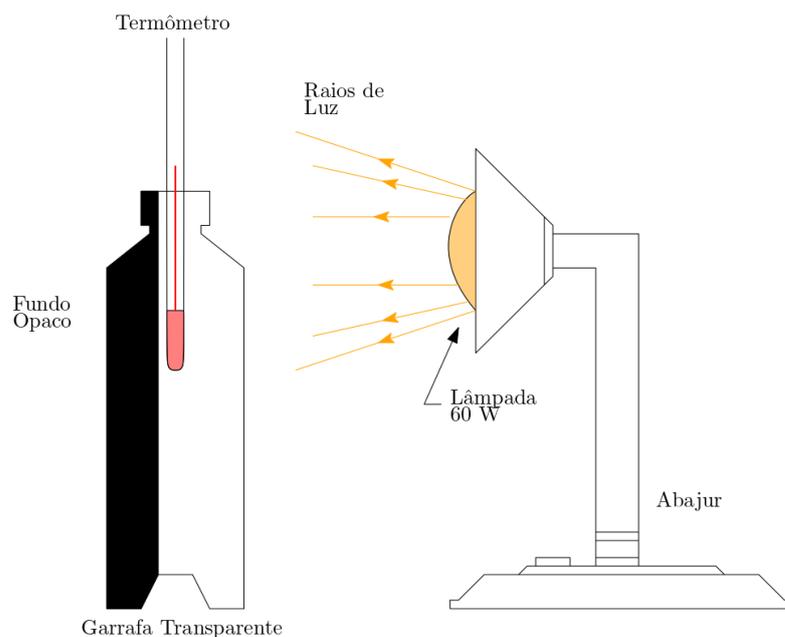
As aulas destinadas aos conteúdos específicos foram realizadas na sala de aula e no laboratório de Física. Com o foco mais expositivo, procuramos desenvolver um pouco a Física envolvida na compreensão do fenômeno. Para os encontros que ocorreram em sala de aula, optou-se pela confecção de slides e na leitura do material de apoio (que se encontra nos apêndices deste trabalho) distribuído aos estudantes.

Os dias programados para ida ao laboratório foram um pouco conturbados. No semestre que este trabalho foi realizado, o colégio passou a utilizar o espaço como um laboratório improvisado de informática, o que provocou desorganização dos equipamentos e um uso inadequado do espaço em algumas ocasiões.

#### *3.4.4. Problema de resolução em equipes*

A última aula que compõe a sequência didática teve como único foco a resolução do problema de equipes. O problema gira em torno da discussão de um experimento que recria o efeito estufa, com menores proporções, no interior de uma garrafa. Com materiais simples, foi pensada a configuração ilustrada na figura 3.2.

A lâmpada incandescente fixada no abajur aquece o interior da garrafa, e a evolução da temperatura interna da garrafa é registrada com o termômetro. Esse experimento tem duas etapas: de início o gás aquecido é o próprio ar contido no interior da garrafa; logo após é adicionada uma mistura de vinagre e bicarbonato de sódio para produzir uma quantidade de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e a nova composição do ar no interior da garrafa é aquecida pela fonte de luz. O intuito é verificar se há diferença significativa de temperatura no interior da garrafa decorrido um mesmo intervalo de tempo nas duas etapas.



**Figura 3.2.**Esquema elaborado para demonstração do efeito estufa no interior de uma garrafa PET.

Como o tempo de aula é curto, a estratégia adotada foi, além de levar a montagem do experimento para a classe, filmar previamente a realização da medida da temperatura nas duas etapas, e disponibilizar o vídeo para todas as equipes. A figura 3.3 apresenta uma imagem do vídeo.

As vantagens da utilização do vídeo logo se destacaram no desenvolvimento da atividade. A demanda por tempo que o experimento necessita foi logo contornada, o que possibilitou um maior tempo para as discussões entre os componentes das equipes. Como a gravação estava disponível para todos, cada estudante conseguia ver e rever o vídeo em seu próprio celular ou nos computadores disponibilizados pelo colégio. Observar a pequena escala de temperatura do termômetro foi facilitada pelo recurso do zoom na imagem.



**Figura 3.3.** Imagem do vídeo produzido e disponibilizado para os estudantes. Além da filmagem da variação do termômetro, foram disponibilizadas as informações sobre os reagentes utilizados e a massa de  $CO_2$  produzida.

Os problemas foram apresentados em um pequeno roteiro que descrevia o experimento e foram confeccionados para cada equipe cartões com informações, como mostrado na figura 3.4, onde estavam descritos os valores de temperatura do interior da garrafa nas duas etapas. Outros cartões apresentavam a descrição esquemática do balanço de energia do planeta Terra e um desenho esquemático do experimento para as equipes rabiscarem à vontade com suas ideias. A figura 3.5 apresenta os problemas de resolução em equipes.

| Comportamento da Temperatura - Sem a presença de $CO_2$ |  |
|---|--|
| Temperatura (graus celsius)                             | 23,5 25,0 26,0 27,0 28,0 29,5 30,0 30,5 31,0 31,0 31,0 |
| Tempo (segundos)  | 0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300                 |

| Comportamento da Temperatura - Com a presença de $CO_2$ |  |
|---|--|
| Temperatura (graus celsius)                             | 24,0 24,9 26,5 28,5 29,0 30,0 30,5 31,5 31,5 32,0 32,0 |
| Tempo (segundos)  | 0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300                 |

**Figura 3.4.** Um dos cartões com informações (“cartão de recurso”) entregue às equipes. Este cartão possui informações sobre os resultados do experimento.

**Problema 1 – O que acontece com a temperatura?**

Vocês devem encontrar uma explicação do porquê o comportamento da temperatura no interior da garrafa ser diferente após a inserção de  $CO_2$ .

No **Cartão de Recurso: Mudança de Temperatura ao longo do tempo**, vocês encontrarão as informações sobre os dados coletados através dos vídeos.

Utilizem os conceitos que aprendemos durante as aulas, como os que estão listados a seguir:

|                        |                 |             |            |
|------------------------|-----------------|-------------|------------|
| Energia Absorvida      | Calor           | Albedo      | Radiação   |
| Gases de Efeito Estufa | Energia Emitida | Temperatura | Equilíbrio |
| Atmosfera              |                 |             |            |

**Problema 2 – O Balanço de Energia**

Agora como deve ser o balanço energético desse experimento? No espaço a seguir, façam um desenho que representaria o comportamento da energia envolvida entre a lâmpada, a garrafa e o  $CO_2$ .

Use o **Cartão de Recurso: Balanço de Energia da Terra**, e o **Cartão de Recurso: Esquema do Experimento**, para ajudar nas suas ideias.

**Figura 3.5.** Enunciado dos problemas entregues às equipes.

Ao final deste capítulo, espera-se ter apresentado o projeto desenvolvido para a turma e o tema escolhido com a estrutura metodológica adaptada à turma de EJA. Nos próximos capítulos serão discutidos os modelos propostos para a descrição do efeito estufa e os resultados alcançados com a aplicação da sequência didática a este grupo.

## Capítulo 4

### Um modelo simples para descrição do Efeito Estufa

Em 1824, Joseph Fourier publicou o trabalho “Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires” nos *Annales de Chimie et de Physique*<sup>1</sup>, traduzido para o inglês como “General Remarks on the Temperature of the Terrestrial Globe and the Planetary Spaces”<sup>2</sup>. Neste artigo, ele indica como os gases na atmosfera podem aumentar a temperatura da superfície da Terra. Este efeito foi posteriormente denominado Efeito Estufa. Segundo Fumiã e Silva (2022), segundo o resultado encontrado por Fourier a temperatura do planeta deveria ser mais baixa do que a observada. Hoje sabemos que a intensidade do efeito está diretamente ligada à composição química da atmosfera, e uma descrição detalhada de como é a dinâmica atmosférica envolve uma discussão longa e complexa.

A seguir, propomos uma abordagem simplificada para estimar a temperatura de equilíbrio planetária, adotada por Schmittner (2018) e Fumiã e Silva (2022), na tentativa de utilizar apenas conceitos de física básica, compreender como o efeito estufa influencia a temperatura de um planeta.

#### 4.1. A elaboração do modelo

O modelo irá seguir os mesmos pressupostos descritos por Fumiã e Silva (2022), entre outros autores, apresentados na tabela 4.1.

A construção do modelo é baseada no princípio de conservação da energia. O que iremos chamar de **Balço de Energia** é proposto por Schmittner (2018), e sintetizado na figura 4.1.

---

<sup>1</sup> Volume 27 (1824) 136-67, segundo <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=1810>; neste link, pode-se ver a imagem das primeiras páginas do artigo.

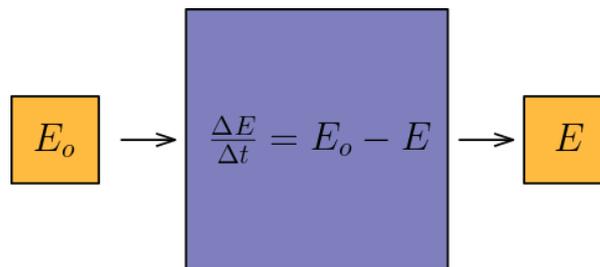
<sup>2</sup> Publicado em *American Journal of Science* 32 (1837) 1-20; disponível em [https://nsdl.library.cornell.edu/websites/wiki/index.php/PALE\\_ClassicArticles/archives/classic\\_articles/isue1\\_global\\_warming/n1-Fourier\\_1824corrected.pdf](https://nsdl.library.cornell.edu/websites/wiki/index.php/PALE_ClassicArticles/archives/classic_articles/isue1_global_warming/n1-Fourier_1824corrected.pdf), consultado em 06/11/2023.

**Tabela 4.1.** Pressupostos teóricos para o modelo de Efeito Estufa.

| Pressupostos |  | Referências                                       |
|--------------|--|---|
| (I)          | A única fonte que fornece energia para a Terra é o Sol.  | Schmittner (2018)<br>Fumiã e Silva (2022)         |
| (II)         | Tanto a superfície da Terra quanto a do Sol apresentam o comportamento de um corpo negro.  |   |
| (III)        | A transmissão de radiação solar de comprimentos de onda longos ocorre em uma taxa diferente daquela para comprimentos de ondas curtos. |   |
| (IV)         | Apenas processos radioativos transferem energia pela atmosfera.  | Fumiã e Silva (2022)                              |
| (V)          | A atmosfera da Terra será tratada com uma única camada de gases, com temperatura uniforme.   | Fumiã e Silva (2022)<br>Zhang (2014, capítulo 11) |

A variação de energia ( $\Delta E$ ) ao longo do tempo ( $\Delta t$ ) é matematicamente igual à diferença entre as potências energéticas que entram no sistema ( $P_o$ ) e as que saem do sistema ( $P$ ).

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = P_o - P \quad (1)$$



**Figura 4.1:** Uma ilustração proposta por Schmittner (2018) para ilustrar o balanço de energia de um sistema conservativo. A caixa central que contém a taxa de variação de energia, se conservada, pode ser expressa pela energia adicionada ao sistema menos a energia removida do sistema.

Por se tratar de um sistema conservativo, a variação de energia é nula e a energia não muda com o tempo; logo, a equação (1) pode ser reescrita na forma,

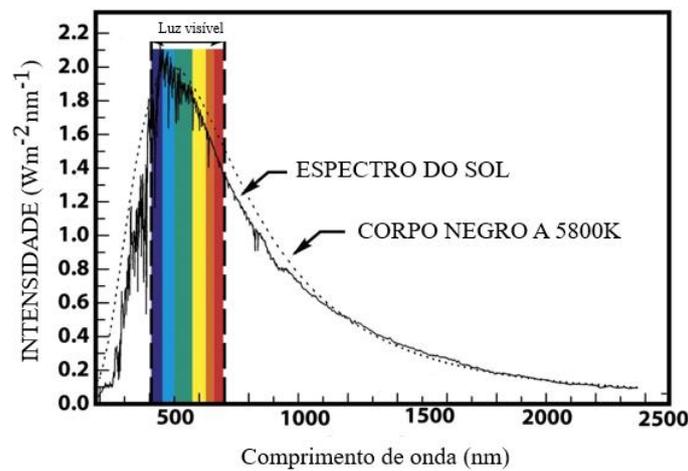
$$E_o = E. \quad (2)$$

De acordo com os pressupostos (I) e (II), a energia que entra no sistema – planeta Terra – tem como origem o Sol, ou seja, é a **energia solar absorvida (ESA)** pela Terra. E a energia que sai do sistema é a **energia reemitida pela Terra (ERT)** para o espaço. Um comentário acerca do pressuposto (I) é de que há uma outra fonte energética para o planeta com origem em seu núcleo, denominada energia geotérmica,

porém ela é ordens de grandeza inferior à energia solar incidente e, portanto, não interfere na construção do modelo em questão.

## 4.2. A Energia Solar Absorvida pela Terra

O Sol pode ser tratado como um corpo negro ideal, que emite radiação com curtos comprimentos de onda devido à sua temperatura elevada. Na figura 4.2, tem-se a relação entre a intensidade de radiação de um corpo negro em função do comprimento de onda.



**Figura 4.2:** Gráfico que ilustra a semelhança entre as curvas de intensidade de luz solar e um corpo negro com temperatura de 5800 K, ao longo de uma grande faixa de comprimentos de onda. Retirado e traduzido de Kaufmann III (2010).

Podemos observar que a intensidade máxima do Sol está próxima da faixa de 500nm de comprimentos de onda. Ao fazer uso da Lei de Wien, que estabelece que o comprimento de onda para que a radiação de um corpo negro seja máxima ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ) é inversamente proporcional à sua temperatura, somos capazes de determinar a temperatura na superfície do Sol como 5780 [K].

A energia que o Sol emite se propaga como uma frente de onda esférica (Fumiã e Silva, 2022), como representado na figura 4.3. Essa quantidade de energia por cada metro quadrado a cada segundo dessa casca esférica nada mais é do que o **fluxo de energia**( $F$ ) detalhado pela Lei de Stefan-Boltzmann,

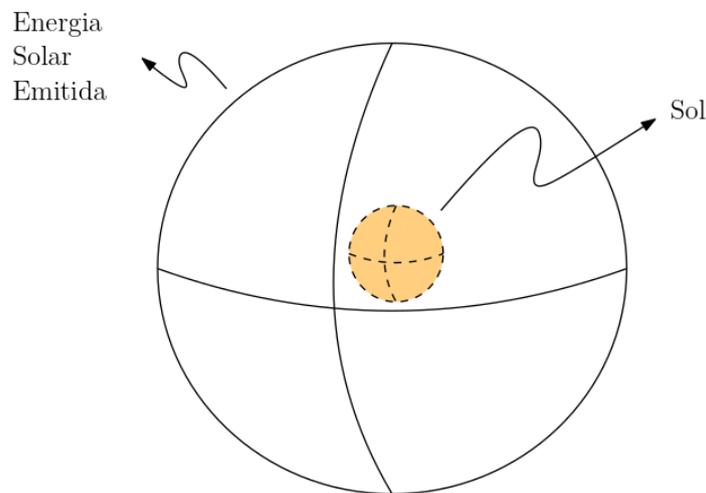
$$F = \sigma T^4, \tag{3}$$

onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} [Wm^{-2}K^{-4}]$  é a constante de Stefan-Boltzmann. Como o fluxo representa a energia que atravessa a área de uma superfície ao longo do tempo, podemos reescrever a equação (3) para a forma

$$L_o = 4\pi R^2 \sigma T^4, \quad (4)$$

sendo  $4\pi R^2$  a área da frente de onda esférica e  $R$  o raio do emissor de luz, o Sol ( $6,960 \times 10^8 [m]$ ). A quantidade que aparece,  $L_o$ , é a luminosidade do Sol, ou seja, a energia total emitida por segundo pela estrela (Kaufmann III, 2010). Resolvendo a equação (4), para a temperatura de  $5780 K$ , encontramos que a luminosidade do Sol é da ordem de

$$L_o = 3,8 \times 10^{26} [W]. \quad (5)$$



**Figura 4.3:** Ilustração de como a energia solar emitida se propaga no espaço supondo um formato esférico.

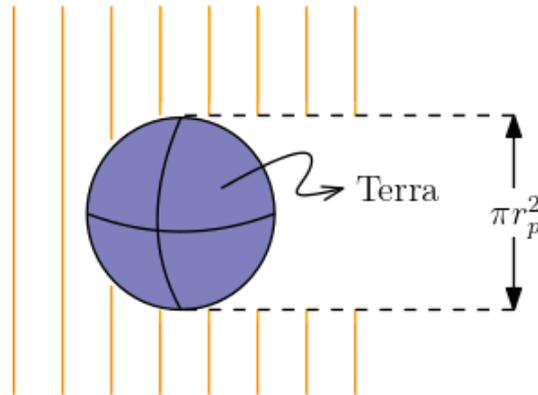
Esse valor de luminosidade é espalhado por uma grande área à medida que viaja pelo espaço, obedecendo a lei do inverso do quadrado da distância. Portanto, se quisermos saber a parcela de energia que passa pela órbita da Terra, basta dividirmos a luminosidade do Sol ( $L_o$ ) pela área da superfície de uma esfera cujo raio equivale a 1 unidade astronômica ( $\approx 1,496 \times 10^{11} [m]$ ). Logo,

$$I = \frac{L_o}{4\pi r^2} = \frac{3,8 \times 10^{26} [W]}{4\pi (1,496 \times 10^{11} [m])^2} = 1370 [Wm^{-2}], \quad (6)$$

e a quantidade  $I$  é chamada de **irradiância**, ou **constante solar**.

Devido à grande distância entre Terra e Sol, as frentes de onda luminosa que representam a irradiância solar chegam ao planeta praticamente paralelas, como

indicado na figura 4.4. Logo, a parcela de energia interceptada pela Terra corresponde à parcela interceptada por um disco bidimensional, com raio igual ao raio do planeta ( $r_p$ ).



**Figura 4.4.** Devido à grande distância Terra – Sol, as frentes de onda luminosas chegam praticamente paralelas na órbita do planeta e, ao interceptá-las, apenas uma região no formato de disco (com raio igual ao raio do planeta  $r_p$ ) recebe essa radiação diretamente.

A área desse disco bidimensional é apenas  $\frac{1}{4}$  da área de superfície do planeta, logo o montante de energia por unidade área a cada segundo que a Terra **recebe** do Sol ( $I_{(S)}$ ) será

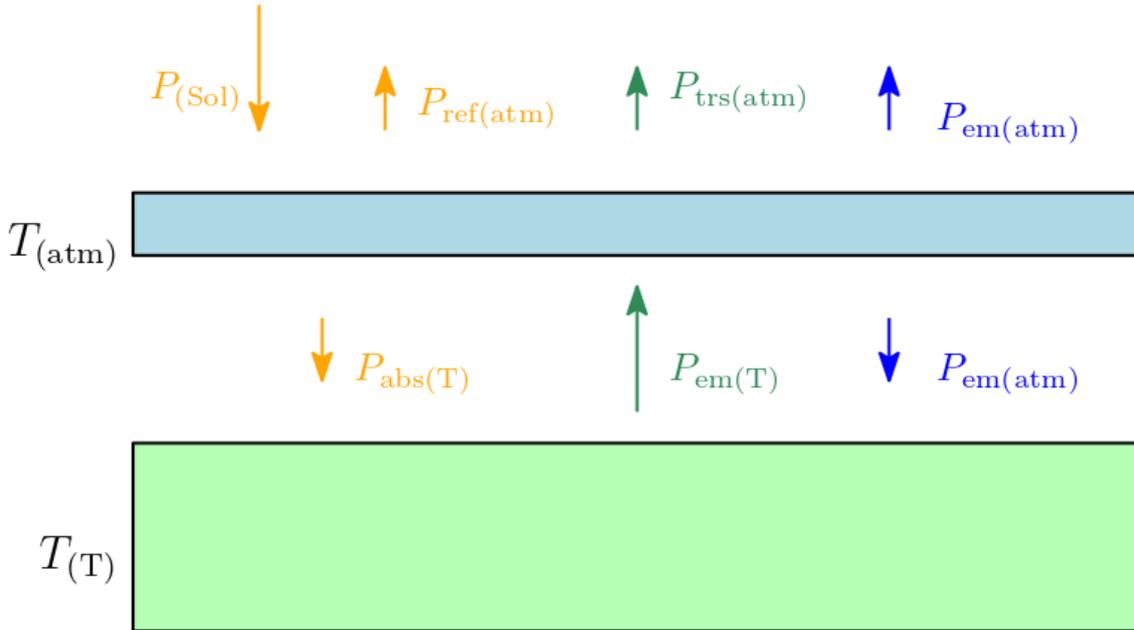
$$I_{(S)} = \frac{1370 [Wm^{-2}]}{4} \approx 342 [Wm^{-2}], \quad (7)$$

ou seja, para cada unidade de área, a Terra recebe uma potência de  $342 W$ , que chamaremos de  $P_{(sol)}$ . Esse valor de energia por segundo que a Terra intercepta não é o mesmo valor que ela absorve. Parte dessa radiação é refletida de volta para o espaço, tanto pela superfície do planeta quanto pelas partículas presentes na atmosfera. O coeficiente que determina a quantidade de energia refletida por um corpo é chamado de **albedo** ( $\alpha$ ).

No modelo que estamos empregando, tratamos a atmosfera como uma camada de temperatura uniforme  $T_{(atm)}$ , e a superfície da Terra é representada como uma camada de temperatura também uniforme  $T_{(T)}$  cujo valor queremos determinar, como indicado na figura 4.5.

O albedo é definido como a razão entre a potência refletida pela potência incidente; assim, a potência refletida pela atmosfera  $P_{ref(atm)}$  é dada pela relação:

$$P_{ref(atm)} = \alpha \cdot P_{(Sol)}. \quad (8)$$



**Figura 4.5:** Modelo atmosférico de uma camada ou *Single-Layer Model* (Zhang 2014, capítulo 11). Na parte superior, em azul, temos a camada atmosférica com temperatura  $T_{(atm)}$  uniforme e, em verde, a superfície do planeta Terra com temperatura, também uniforme,  $T_{(T)}$ . As setas em amarelo representam a potência emitida pelo Sol que chega ao topo da atmosfera  $P_{(Sol)}$ , a parcela refletida de volta para o espaço  $P_{ref(atm)}$  pela atmosfera, e o saldo que chega à superfície do planeta  $P_{abs(T)}$  que a Terra absorve, respectivamente. As setas em verde representam a potência emitida pela Terra,  $P_{em(T)}$ , e a parcela que consegue ser transmitida pela atmosfera em direção ao espaço,  $P_{trs(atm)}$ . Por fim, as setas em azul,  $P_{em(atm)}$  representam a potência emitida pela atmosfera, que tem direção tanto para o espaço quanto de volta à superfície.

A potência que a Terra absorve  $P_{abs(T)}$  depende de dois fatores agora: a diferença entre a energia incidente do Sol e a refletida pela atmosfera; e a transmissibilidade da atmosfera ( $t_o$ ) para a radiação solar. Vamos chamar de  $P_0$  o primeiro fator; assim:

$$P_0 = P_{(Sol)} - P_{ref(atm)}, \quad (9)$$

Substituindo a equação (8) em (9) temos

$$P_0 = (1 - \alpha) \cdot P_{(Sol)}. \quad (10)$$

A potência que o planeta consegue absorver será

$$P_{abs(T)} = t_o \cdot P_0. \quad (11)$$

### 4.3. A Energia Reemitida pela Terra

Ao retornar aos pressupostos utilizados no modelo, em especial o segundo, podemos utilizar a Lei de Stefan-Boltzmann para obter o valor de potência que a própria Terra emite em direção ao espaço  $P_{em(T)}$ :

$$P_{em(T)} = 4 \cdot \pi \cdot r_{(T)}^2 \cdot \sigma \cdot T_{(T)}^4, \quad (12)$$

sendo  $r_{(T)}$  o raio da Terra. A parcela de energia emitida pela Terra que consegue atravessar a atmosfera  $P_{trs(atm)}$  é dada por:

$$P_{trs(atm)} = t_i \cdot P_{em(T)}. \quad (13)$$

Fumiã e Silva (2022) ressaltam que a atmosfera não se comporta como um corpo negro, ou seja, a potência que ela irá emitir é apenas uma fração  $\epsilon$  da potência que ela é capaz de absorver. Logo,

$$P_{em(atm)} = \epsilon \cdot (4 \cdot \pi \cdot r_{(T)}^2 \cdot \sigma \cdot T_{(atm)}^4). \quad (14)$$

Note que nessa relação  $\epsilon$  é chamado de **emissividade** e possui valor menor que 1, e que a altura da atmosfera é desprezada, já que continuamos a utilizar  $r_{(T)}$ . A Lei de Kirchhoff para a radiação térmica estabelece que, para um corpo em equilíbrio termodinâmico, a emissividade é igual à absorvência. Portanto, aplicando a conservação da energia, fazemos

$$P_{em(T)} = P_{abs(atm)} + P_{trs(atm)}, \quad (15)$$

onde  $P_{abs(atm)}$  é a potência absorvida pela atmosfera. Logo,

$$P_{abs(atm)} = P_{em(T)} - P_{trs(atm)}. \quad (16)$$

Substituindo as equações (12) e (13) em (16), obtemos:

$$P_{abs(atm)} = (1 - t_i) \cdot P_{em(T)}. \quad (17)$$

O fator  $(1 - t_i)$  é a absorvência que, como mencionado, é igual a emissividade ( $\epsilon$ ). Portanto, a equação (14) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$P_{em(atm)} = (1 - t_i) \cdot (4 \cdot \pi \cdot r_{(T)}^2 \cdot \sigma \cdot T_{(atm)}^4). \quad (18)$$

Ao tomar como base o pressuposto 4 e levando em consideração as ideias descritas pela equação (2) para o **balanço de energia da Terra**, é possível afirmar que:

$$P_{em(T)} = P_{abs(T)} + P_{em(atm)}, \quad (19)$$

e

$$P_{(Sol)} = P_{ref(atm)} + P_{trs(atm)} + P_{em(atm)}. \quad (20)$$

Por fim, vamos utilizar a equação (20) para determinar equações para  $T_{(T)}$  e  $T_{(atm)}$ . Substituindo as equações (9), (10), (11), (13) e (19) em (20), resolvemos para  $T_{(T)}$  e obtemos:

$$T_{(T)} = \left[ \frac{(1 + t_0)(1 - \alpha)}{(t_i + 1)} \cdot \frac{P_{(Sol)}}{4\pi r_{(T)}^2 \sigma} \right]^{\frac{1}{4}}, \quad (21)$$

e substituindo (9), (10), (11), (13), (18) e (19) em (20), resolvemos agora para  $T_{(atm)}$  e obtemos:

$$T_{(atm)} = \left[ \frac{(1 - t_i t_0)(1 - \alpha)}{(1 - t_i^2)} \cdot \frac{P_{(Sol)}}{4\pi r_{(T)}^2 \sigma} \right]^{\frac{1}{4}}. \quad (22)$$

A temperatura  $T_{(T)}$  obtida pela equação (21) é chamada **temperatura planetária de equilíbrio**. Vamos pensar, a princípio, em um cenário simples onde a atmosfera do planeta é totalmente transparente ( $t_i = t_o = 1$ ). Nessa ocasião, as equações (21) e (22) se resumem a:

$$T_{(T)} = \left[ (1 - \alpha) \cdot \frac{P_{(Sol)}}{4\pi r_{(T)}^2 \sigma} \right]^{\frac{1}{4}}, \quad (23)$$

$$T_{(atm)} = 0. \quad (24)$$

Uma atmosfera totalmente transparente é similar à não existência de atmosfera (Fumiã e Silva, 2022). Dessa maneira,  $T_{(T)}$  representa a **temperatura de equilíbrio planetária**. A diferença entre o valor teórico determinado pela equação (23) e o valor médio real de temperatura é uma maneira de quantificar de forma estimada o fenômeno do efeito estufa. Para a Terra, a temperatura de equilíbrio é igual a  $-18^\circ\text{C}$ , uma diferença de aproximadamente  $30^\circ\text{C}$  para o valor médio real de  $15^\circ\text{C}$ . Se observarmos os resultados da equação (23) aplicadas a planetas vizinhos, como Mercúrio, não há diferença entre o teórico e o observado. O mesmo já não acontece com Vênus, que apresenta uma diferença da ordem de  $400^\circ\text{C}$ . Na tabela 4.2, apresentam-se os resultados obtidos para alguns dos planetas: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

**Tabela 4.2:** Informações planetárias (Fonte: *PlanetaryFactSheet (nasa.gov)*).

|                                      | <b>Mercúrio</b>  | <b>Vênus</b>  | <b>Terra</b>  | <b>Marte</b>  |
|--------------------------------------|--|---|---|---|
| Diâmetro (km)                        | 4.879  | 12.104  | 12.756  | 6.792   |
| Distância do Sol<br>(milhão de km)   | 57,9   | 108,2   | 149,6   | 228,0   |
| Irradiação Solar<br>( $W/m^2$ )      | 9082,7   | 2061,3  | 1361,0  | 586,2   |
| Albedo                               | 0,06   | 0,77  | 0,3   | 0,25  |
| <b>Temperatura<br/>estimada (°C)</b> | <b>167,0</b>   | <b>-59,3</b>  | <b>-18,0</b>  | <b>-63,2</b>  |
| <b>Temperatura real<br/>(°C)</b>     | <b>167,0</b>   | <b>464,0</b>  | <b>15,0</b>   | <b>-63,0</b>  |
| Pressão atmosférica<br>(bar)         | $0,005 \times 10^{-12}$  | 92  | 1   | 0,0064  |
| Composição<br>atmosférica            | Hélio (42%)<br>Sódio (42%)<br>Oxigênio<br>(15%)<br>Outros (1%) | $CO_2$ (96%)<br>Nitrogênio<br>(3%)<br>Argônio<br>(0,007%) | Nitrogênio<br>(78,08%)<br>Oxigênio<br>(20,95%)<br>Argônio (0,93%)<br>$CO_2$ (0,037%)<br>Ozônio<br>(0,000006%) | $CO_2$ (95,32%)<br>Nitrogênio<br>(2,7%)<br>Argônio (1,6%) |

Neste capítulo, foi feita uma revisão relativa a modelos sobre o efeito estufa, e apresentado um modelo simples que pode ser adaptado para a sequência didática desejada. A seguir, será discutida a aplicação didática deste modelo e a discussão encaminhada com os estudantes do EJA.

## Capítulo 5

### As atividades em sala de aula

Foram apresentados, nos capítulos anteriores, os levantamentos feitos a respeito de ensinar Física para estudantes jovens e adultos e as metodologias possíveis para atingir esse público. As características do grupo para o qual a sequência didática foi preparada e a estrutura da sequência também foram indicadas, no capítulo 3. No capítulo 4, foi feita uma revisão dos conceitos físicos que devem ser do domínio do professor que aplica a sequência. A partir deste ponto, serão apresentados o desenvolvimento das atividades junto aos alunos e suas reações em relação a essas atividades.

#### 5.1. A aplicação do Teste de Preparação Individual (TPI)

Vamos a uma rápida recordação de como foi organizada a aula (apresentada no capítulo 3) para a aplicação do Teste de Preparação Individual, indicada na tabela 5.1.

**Tabela 5.1:** Organização do tempo de aula para a aplicação do TPI.

| <b>Tempo decorrido (minutos)</b> | <b>O que ocorreu?</b>                     |
|----------------------------------|---|
| 0                                | Tolerância para os estudantes atrasados   |
| 5                                | Instruções para a realização da atividade |
| 15                               | 1ª exibição dos vídeos                    |
| 25                               | 2ª exibição dos vídeos                    |
| 35                               | 3ª exibição dos vídeos                    |
| 40                               | Finalização da atividade                  |

Ao todo a turma possuía um total de 36 estudantes matriculados. No momento da primeira exibição dos vídeos selecionados, estavam presentes apenas 18 estudantes e instantes antes da segunda exibição houve um acréscimo de 3 estudantes. Ao todo 58% da turma realizou o TPI em sala de aula. Por mais que esse número pudesse não ser o

ideal, em comparação com o restante das aulas do semestre a taxa de frequência nesse dia foi uma das maiores.

O início de cada semestre letivo na escola onde esse trabalho foi aplicado sempre foi marcado por uma série de atividades de acolhimento estudantil. Esses primeiros momentos têm como objetivo o incentivo a permanência dos estudos, o entrosamento das turmas e a recepção dos calouros. Ao longo de todas as duas primeiras semanas de aula, a frequência dos estudantes em todos os dias de aula sempre é muito maior se comparada aos finais de cada bimestre.

De volta à aula de aplicação do TPI, os primeiros minutos dedicados às instruções sobre a atividade tiveram como objetivo chamar a atenção para o tempo que eles teriam para responder as perguntas e fazer uma leitura prévia em conjunto do teste. Alguns dos estudantes ingressaram no colégio no ensino fundamental, e passaram por todo o processo de alfabetização. Contudo, ainda não possuíam total domínio sobre a leitura e a escrita, ainda por cima se tiveram de ser combinadas em um questionário para ser realizado em 40 minutos. Na Tabela 5.2, apresenta-se a estrutura do TPI.

**Tabela 5.2:** Organização das questões que constam no TPI.

| Número de Questões | Formato                            | Objetivo  |
|--------------------|------------------------------------|---|
| 2                  | Discursivas                        | Avaliar os vídeos exibidos em aula  |
| 1                  | Verdadeiro ou Falso                | Conectar diretamente as ideias dos vídeos com uma situação problema                         |
| 1                  | Múltipla escolha com justificativa | Escolher com base na interpretação de uma situação problema, seguida de breve justificativa |
| 3                  | Múltipla escolha                   | Escolher dentre as afirmações listadas, aquela que estava correta.                          |

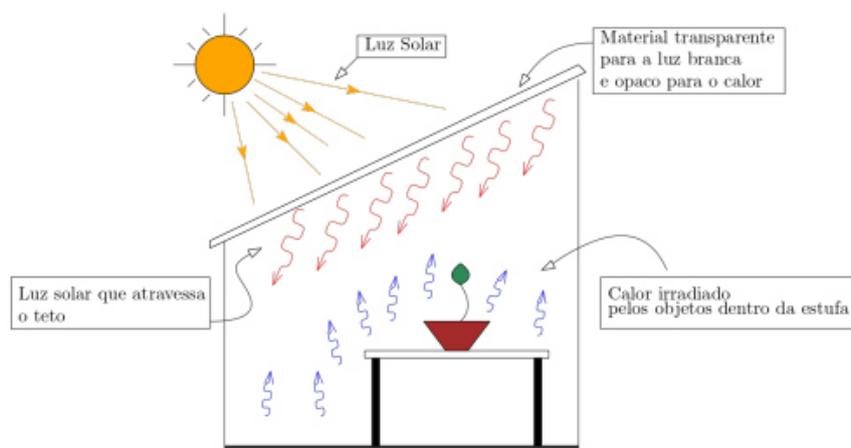
É interessante ressaltar que assistir dois vídeos de curta duração para responder a uma sequência de perguntas não era uma tarefa fácil, principalmente se levarmos em consideração que um desses vídeos estava em uma língua estrangeira acompanhado de legendas. A primeira sequência de perguntas que compunham o TPI avaliava justamente o quanto as informações dos vídeos exibidos haviam ficado claras. Na tabela 5.3, estão apresentadas essas perguntas iniciais.

**Tabela 5.3:** Sequência de perguntas que avaliavam a compreensão dos estudantes sobre o material que foi exibido.

|            |   |
|------------|---|
| Problema 1 | Você gostou dos vídeos apresentados?  |
| Problema 2 | Ao assistir os vídeos você encontrou alguma dificuldade em compreender os assuntos abordados? |
| Problema 3 | O que nos vídeos mais te chamou atenção?  |

Nas respostas ao **Problema 2**, alguns discursos se repetiram, tais como: “*Não deu para compreender muito bem o tema que foi abordado*”, “*Sim, o vídeo passou muito rápido não deu pra mim responder*”, “*No início não, mas veio muitos conteúdos sobre o assunto (efeito estufa)*”, “*No vídeo 1 tive um pouco de dificuldade*”. Alguns foram curtos e responderam usando apenas as palavras *sim* e *não*. Um estudante não apontou dificuldades e completou afirmando que os vídeos eram muito explicativos e as ilustrações que continham auxiliavam na compreensão dos assuntos abordados. E apenas um estudante apontou que sua dificuldade não estava atrelada à mídia, mas com os conteúdos específicos da disciplina que foram abordados.

**Problema 4** A ilustração abaixo mostra esquematicamente o funcionamento de uma estufa de flores.

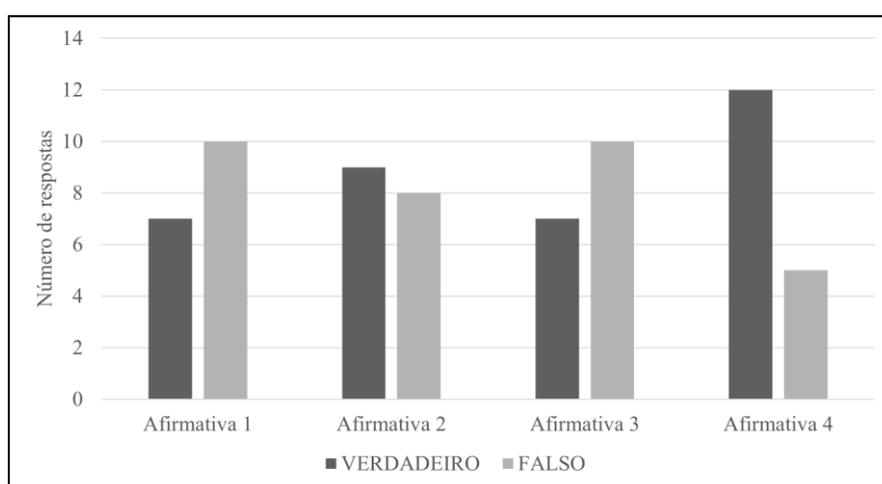


Marque as afirmativas que você julga verdadeiras.

- Como o material na parte superior da estufa é opaco para o calor, a temperatura dentro da estufa é menor que sua temperatura fora dela.
- Parte da luz que atravessa a estufa é absorvida pelos objetos na parte de dentro, e reemitida na forma de calor.
- O ar dentro da estufa se aquece porque o calor do Sol é absorvido pelos objetos em seu interior e, depois, redistribuído por todo o seu volume.
- A estufa absorve calor do Sol, aprisionando-o em seu interior, ocasionando um aumento em sua temperatura interna.

**Figura 5.1.** Questão sobre o funcionamento de uma estufa de plantas.

No **Problema 3** houve uma tendência nas respostas: os pontos de interesse estariam atrelados ao vídeo que relacionava o Efeito Estufa à dinâmica da atmosfera do planeta e como isso impacta no aquecimento global e na vida do planeta. Nas palavras de alguns estudantes podemos destacar: “*Efeito Estufa e Desmatamento (palavra não reconhecida)*”, “*No segundo vídeo ele abordou, falou sobre muito efeito estufa. Falou sobre vulcões, furacões. Falou também sobre as chuvas*”, “*Sobre gás carbono e revolução industrial a partir daí não variar a poluição*”, “*O aumento da temperatura em todas as regiões do nosso planeta*”.



**Figura 5.2:** Respostas do Problema 4 no TPI.

Dos outros problemas que faziam parte do TPI, os **Problemas 4 e 6**, apresentados nas figuras 5.1 e 5.3, são os que trazem consigo os mecanismos físicos que surgem no modelo que seria discutido nas aulas posteriores com a turma. No **Problema 4** observamos um equilíbrio nas respostas dos estudantes, como mostrado na figura 5.2. Talvez por fazer relação com o vídeo em língua estrangeira, o mecanismo físico por trás de uma estufa de flores, que foi mencionado na mídia, não tenha ficado claro. Contudo, as respostas para o **Problema 6**, apresentadas na figura 5.4, indicam que as informações sobre a manutenção da temperatura global tenham sido associadas à presença de uma atmosfera substancial. É importante deixar registrado que há uma diferença no número de respostas para as questões e o quantitativo de estudantes presentes em aula; isso se deve ao fato de alguns possuírem grandes dificuldades de resolver a atividade de maneira independente e por alguns chegarem já com a atividade iniciada, tendo menos tempo para respostas e tendo visto uma exibição dos vídeos a menos que os demais. Esses estudantes em específico deixaram registrados no TPI frases como: “*Sim, o vídeo passou muito rápido não deu pra mim responder*”, “*Não*

deu para compreender muito bem o tema que foi abordado”, “Professor, vou ser verdadeira, não consegui entender nada”.

**Problema 6**

Medindo a temperatura da Lua

“Nosso vizinho mais próximo tem uma variedade surpreendentemente ampla de temperaturas em sua superfície.[...] Durante o dia, sua temperatura próxima ao equador atinge algo próximo de 120°C, enquanto a noite, a temperatura cai para os congelantes -130°C.[...]”

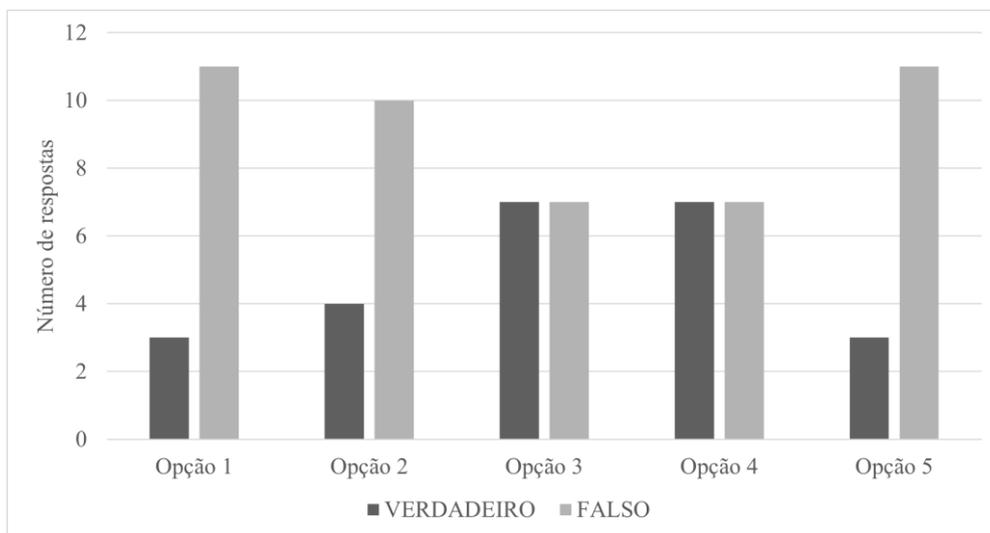
Adaptado de [www.lunar.gsfc.nasa.gov](http://www.lunar.gsfc.nasa.gov)

Por ser um astro tão próximo a Terra, a Lua recebe uma quantidade de energia semelhante ao nosso planeta. Contudo, a temperatura média na superfície da Terra é de 18°C. Isso significa que existe algum fator natural que auxilia nosso planeta a manter a temperatura mais agradável do que na Lua.

A seguir estão listados alguns fatores presentes no nosso planeta. Marque aquele responsável por essa grande diferença em relação a Lua.

- Presença de oceanos.
- Presença de nuvens.
- Presença de atmosfera.
- Presença de gases de efeito estufa.
- Presença de atividade humana.

**Figura 5.3:** Questão sobre o papel da atmosfera na manutenção da temperatura do planeta Terra.



**Figura 5.4:** Respostas do Problema 6 no TPI.

## 5.2. A aplicação do Problema de Resolução por Equipes (PRE)

Com as equipes formadas desde o início da aplicação do trabalho, no dia da aplicação do Problema de Resolução por Equipes (PRE) os estudantes apenas se organizaram para que todos, ou um máximo de integrantes, estivesse presente no começo da atividade.

A atividade ocorreu no laboratório de Física, que estava com as bancadas preparadas com *Chromebook's* fornecidos pelo colégio, folhas de rascunho, as instruções para execução do PRE e os cartões de recurso. O dia marcado para realização do PRE estava inserido na semana de avaliações do colégio. Essa foi uma estratégia pensada para que os estudantes dessem uma maior atenção para chegar ao colégio no horário. Essa escolha se demonstrou eficaz tendo em vista que, das seis equipes montadas, três estavam completas, duas com a falta de um integrante e apenas uma com a falta de dois integrantes. Contudo, todos os ausentes chegaram ao longo dos dez primeiros minutos de atividade.

De início, foi feita uma apresentação da atividade e de como a dinâmica das equipes funcionaria. Esse primeiro momento tem por objetivo informar e instruir todos da forma mais clara e objetiva possível como a atividade deve se desenrolar. Esse momento conta com a apresentação dos materiais fornecidos, breve explicação sobre a montagem do experimento e, principalmente, leitura coletiva das instruções para execução do PRE.

É importante salientar que a leitura coletiva de atividades impressas é um artifício útil para auxiliar aqueles estudantes que possuem dificuldades na leitura e na interpretação de perguntas mais complexas. Parte da turma, ao ingressar no Ensino Médio, possuía um histórico de anos longe do ambiente escolar, e esse afastamento produziu lacunas evidenciadas na leitura e na produção escrita.

O PRE consistiu na análise qualitativa de um experimento que compara variações de temperatura do ar no interior de uma garrafa PET, em dois momentos. No primeiro, a garrafa possui no seu interior apenas o ar composto da atmosfera local. No segundo momento foram acrescentadas doses de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), fruto de uma reação química entre vinagre e bicarbonato de sódio. Para essa parte, o experimento foi repetido com diferentes quantidades de  $\text{CO}_2$ , em gramas. A tabela 5.4 apresenta as informações sobre a quantidade de reagentes (vinagre e bicarbonato) utilizados no experimento em relação a massa de  $\text{CO}_2$  produzida no interior da garrafa.

**Tabela 5.4.** Relação entre a quantidade de reagentes (vinagre e bicarbonato) utilizados no experimento e a massa de  $CO_2$  produzida.

| Medida | Volume de vinagre (mL) | Massa de bicarbonato (g) | Massa de $CO_2$ produzida (g) |
|--------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1      | 75                     | 4,41                     | 2,31                          |
| 2      | 50                     | 2,94                     | 1,54                          |
| 3      | 25                     | 1,47                     | 0,77                          |

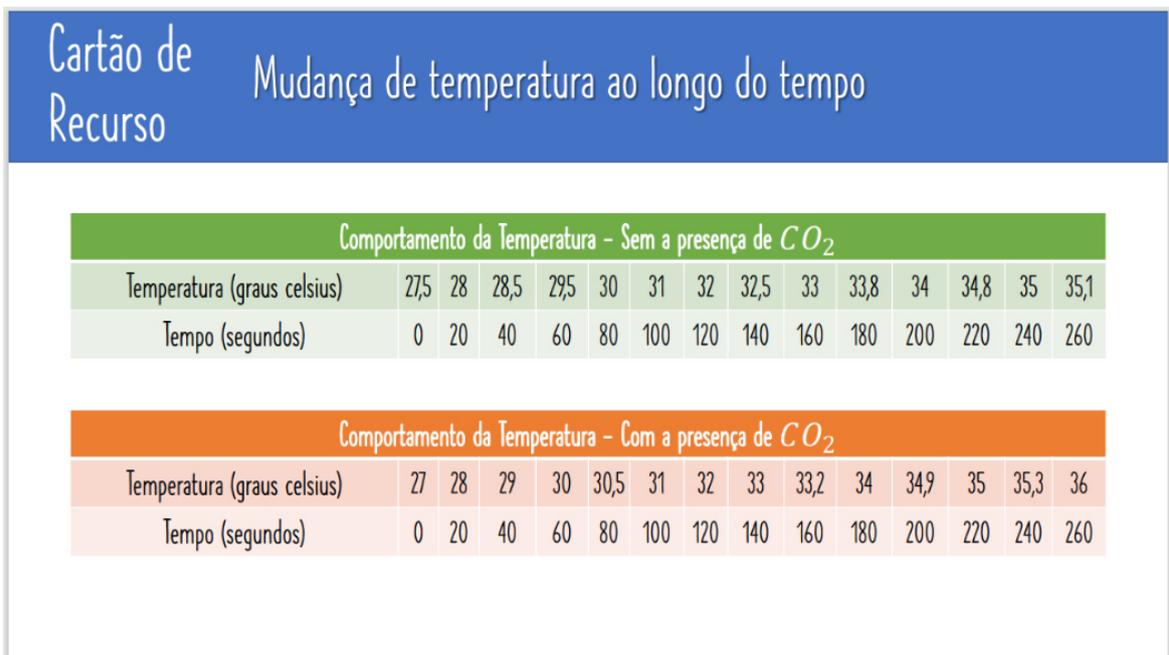
O tempo médio para observação e coleta de dados do experimento é de 5 minutos em cada um dos momentos citados. Com o intuito de otimizar o tempo para as equipes e adequar a realização da tarefa para o tempo de aula, foi elaborada uma filmagem do experimento evidenciando a variação de temperatura do termômetro. A figura 5.5 apresenta uma captura da imagem (*screenshot*) dos vídeos citados.



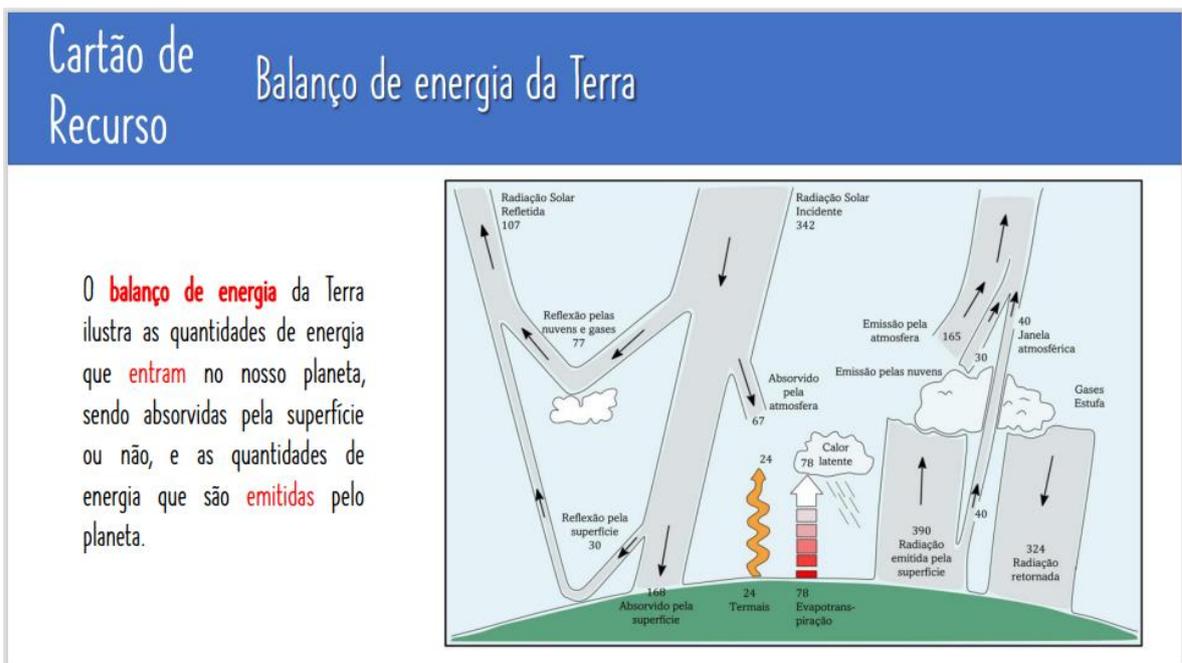
**Figura 5.5.** Captura da imagem de um dos vídeos disponibilizados aos estudantes para a realização do PRE.

Os vídeos estavam disponíveis nos *Chromebook's* e as equipes podiam ver e rever tantas vezes quanto desejassem. Além do recurso do vídeo, foram confeccionados cartões com informações (“cartões de recursos”), que reproduziam diversas informações

sobre o experimento e tinham o intuito de auxiliar as equipes na hora de elaborar as respostas para os problemas propostos. Um dos cartões continha informações sobre os dados de temperatura apresentados em um dos vídeos, mostrado na figura 5.6. Nas figuras 5.7 e 5.8, estão descritos o balanço de energia do planeta Terra e o diagrama do experimento, respectivamente.



**Figura 5.6.** Cartão de recurso contendo os dados de temperatura disponibilizado aos estudantes.



**Figura 5.7.** Cartão de recurso com o balanço de energia do planeta.

Cartão de Recurso Esquema do experimento

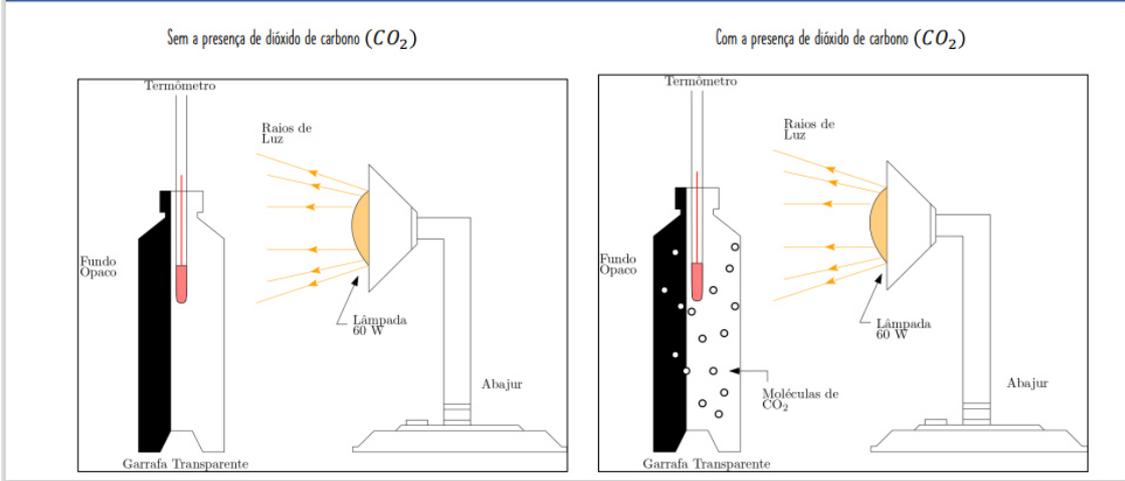


Figura 5.8. Cartão de recurso contendo o esquema do experimento realizado.

O primeiro problema a ser desenvolvido pelas equipes está relacionado diretamente com a temperatura no interior da garrafa, e está apresentado na figura 5.9. As equipes deveriam desenvolver uma resposta que justificasse a diferença de temperatura no interior da garrafa nos dois momentos, para isso fazendo uso do cartão de recurso. No comando da questão, foi elaborado um quadro de palavras, lembrando os conceitos vistos durante todas as aulas do bimestre, para serem usadas, se necessário, na elaboração da resposta.

Problema 1 – O que acontece com a temperatura?

Vocês devem encontrar uma explicação do porquê o comportamento da temperatura no interior da garrafa ser diferente após a inserção de  $CO_2$ .

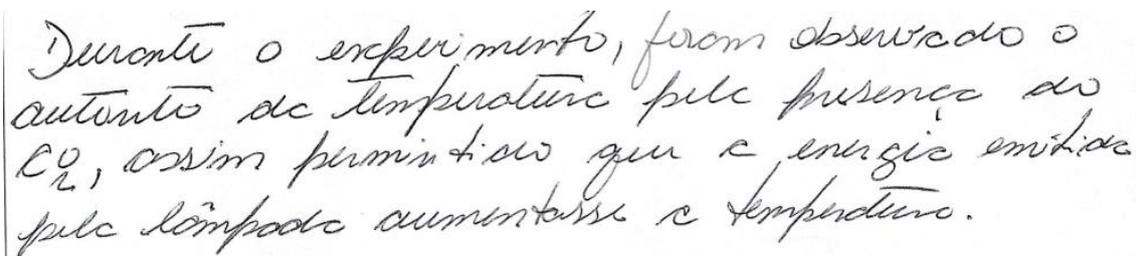
No **Cartão de Recurso: Mudança de Temperatura ao longo do tempo**, vocês encontrarão as informações sobre os dados coletados através dos vídeos.

Utilizem os conceitos que aprendemos durante as aulas, como os que estão listados a seguir:

|                        |                 |             |            |
|------------------------|-----------------|-------------|------------|
| Energia Absorvida      | Calor           | Albedo      | Radiação   |
| Gases de Efeito Estufa | Energia Emitida | Temperatura | Equilíbrio |
| Atmosfera              |                 |             |            |

Figura 5.9. Primeiro problema apresentado às equipes.

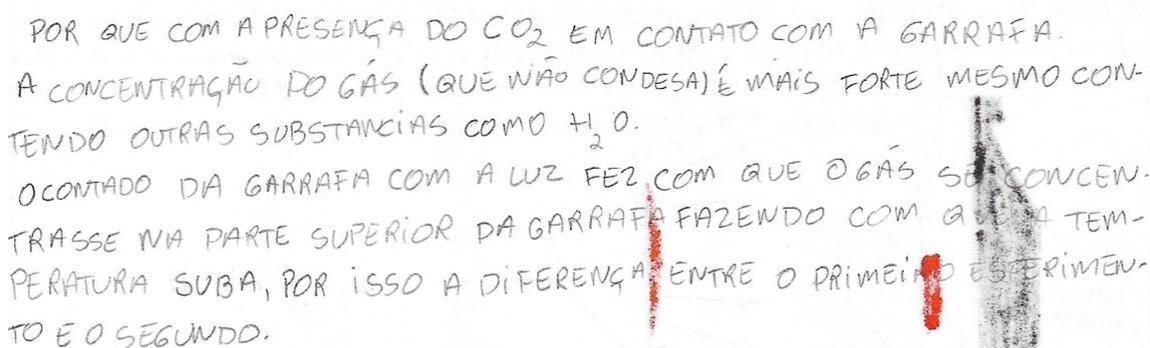
Quase todas as equipes utilizaram em suas respostas a presença do  $CO_2$  como fator chave para a diferença de temperatura na garrafa comparando as duas situações. Podemos observar, na figura 5.10, um exemplo de resposta para o problema 1. Para melhor compreensão, segue a transcrição do texto: “Durante o experimento, foram observados o aumento da temperatura pela presença do  $CO_2$ , assim permitindo que a energia emitida pela lâmpada aumentasse a temperatura”.



Durante o experimento, foram observados o aumento de temperatura pela presença do  $CO_2$ , assim permitindo que a energia emitida pela lâmpada aumentasse a temperatura.

**Figura 5.10.** Resposta de umas das equipes para o problema 1 do PRE (1).

As equipes buscaram em suas respostas utilizar os termos dispostos no quadro de conceitos apresentados junto à pergunta do problema 1, e em algumas situações até termos que foram citados apenas em momentos específicos das aulas como a palavra “condensar” e utilizando o fenômeno de convecção térmica. Segue a transcrição do texto apresentado na figura 5.11: “por que com a presença do  $CO_2$  em contato com a garrafa a concentração do gás (que não condensa) é mais forte mesmo contendo outras substâncias como  $H_2O$ . O contato da garrafa com a luz fez com que o gás se concentrasse na parte superior da garrafa fazendo com que a temperatura suba, por isso a diferença entre o primeiro experimento e o segundo”.

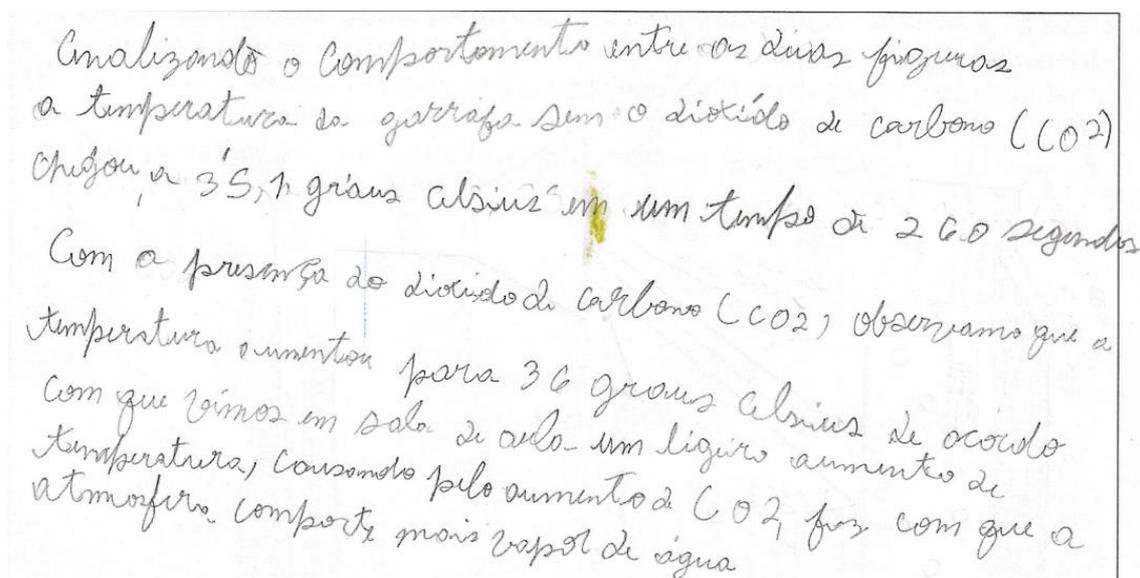


POR QUE COM A PRESENÇA DO  $CO_2$  EM CONTATO COM A GARRAFA. A CONCENTRAÇÃO DO GÁS (QUE NÃO CONDESA) É MAIS FORTE MESMO CON-  
TENDO OUTRAS SUBSTANCIAS COMO  $H_2O$ .  
O CONTATO DA GARRAFA COM A LUZ FEZ COM QUE O GÁS SE CONCENT-  
TRASSE NA PARTE SUPERIOR DA GARRAFA FAZENDO COM QUE A TEM-  
PERATURA SUBA, POR ISSO A DIFERENÇA ENTRE O PRIMEIRO EXPERIMEN-  
TO E O SEGUNDO.

**Figura 5.11.** Resposta de umas das equipes para o problema 1 do PRE (2).

Apenas uma das equipes buscou utilizar em suas respostas os dados sobre a mudança de temperatura destacados no cartão de recurso. A resposta elaborada pode ser

lida na figura 5.12. A equipe disserta: “Analisando o comportamento entre as duas figuras a temperatura da garrafa sem o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) chegou a 35,1 graus celsius em um tempo de 260 segundos. Com a presença do dióxido de carbono ( $CO_2$ ) observamos que a temperatura aumentou para 36 graus celsius de acordo com o que vimos em sala de aula. Um ligeiro aumento de temperatura, causado pelo aumento de  $CO_2$ , faz com que a atmosfera comporte mais vapor de água”.



Analisando o comportamento entre as duas figuras a temperatura da garrafa sem o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) chegou a 35,1 graus celsius em um tempo de 260 segundos. Com a presença do dióxido de carbono ( $CO_2$ ) observamos que a temperatura aumentou para 36 graus celsius de acordo com o que vimos em sala de aula. Um ligeiro aumento de temperatura, causado pelo aumento de  $CO_2$ , faz com que a atmosfera comporte mais vapor de água.

**Figura 5.12.** Resposta de umas das equipes para o problema 1 do PRE (3).

O problema 2, apresentado na figura 5.13, está direcionado a uma descrição qualitativa do balanço de energia no sistema lâmpada + garrafa + gás estufa ( $CO_2$ ). O intuito era de que as equipes representassem esquematicamente, através de um desenho, o comportamento das trocas energéticas do experimento.

|  |
|--|
| <p>Problema 2 – O Balanço de Energia</p> <p>Agora como deve ser o balanço energético desse experimento? No espaço a seguir, façam um desenho que representaria o comportamento da energia envolvida entre a lâmpada, a garrafa e o <math>CO_2</math>.</p> <p>Use o <b>Cartão de Recurso: Balanço de Energia da Terra</b>, e o <b>Cartão de Recurso: Esquema do Experimento</b>, para ajudar nas suas ideias.</p> |
|--|

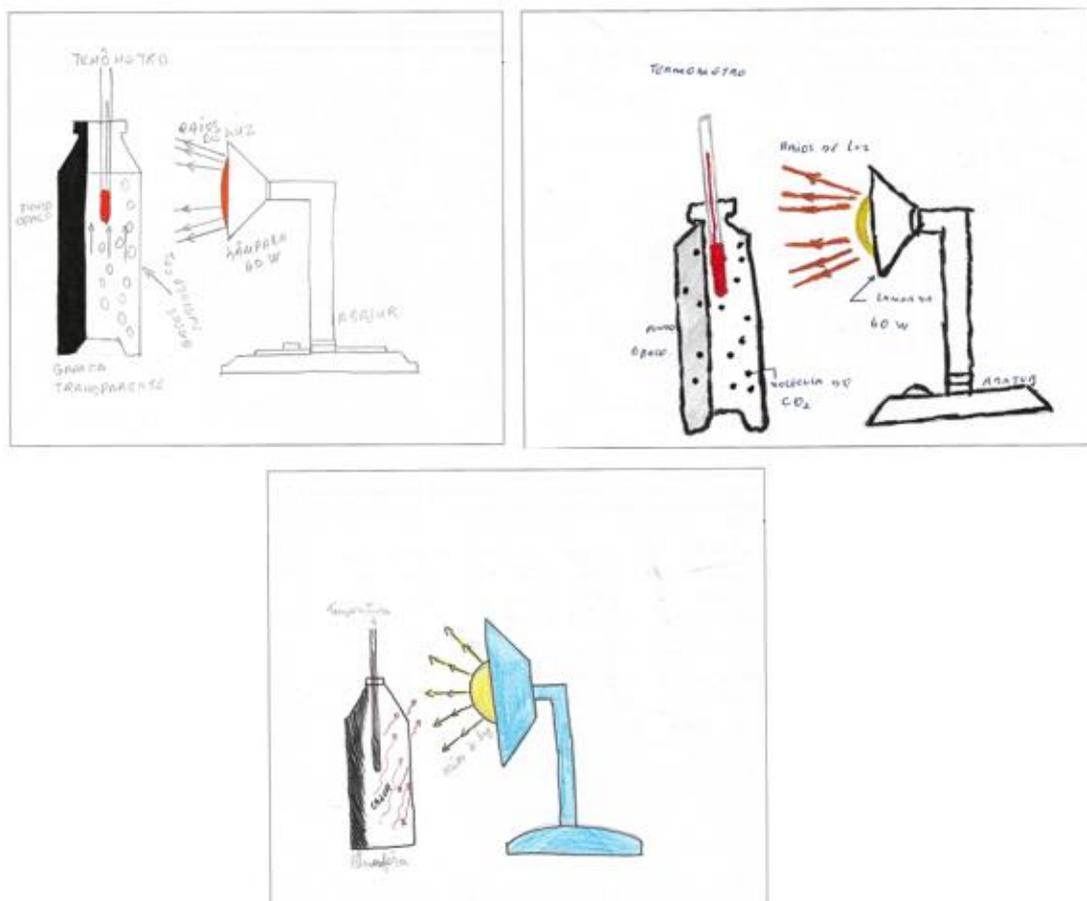
**Figura 5.13.** Segundo problema apresentado às equipes.

Durante as aulas expositivas sobre o assunto, foram apresentados aos estudantes o conceito de balanço de energia para o planeta Terra, com o exemplo na figura 5.7, que mostra como a abordagem foi feita na sala de aula. Na ocasião, o comportamento

das trocas de energia estava acompanhado de valores quantitativos das energias emitidas e absorvidas em cada elemento da figura. Essa mesma imagem apresentada em sala se tornou o cartão de recurso para cada equipe.

Este problema revelou ter um nível de dificuldade mais elevado do que o anterior. O cartão de recurso apresentado na figura 5.8 foi utilizado por todas as equipes como um esboço gráfico para solução do problema. A abstração de como montar uma imagem ilustrativa para o balanço energético poderia ser um fator complicador para a solução esperada, e por isso a ideia de já apresentar uma imagem base como cartão de recurso foi útil.

A afirmação sobre a dificuldade do problema 2 apareceu ao analisar a resposta de algumas das equipes. Como observado na figura 5.14, algumas equipes apenas reproduziram o desenho que estava no cartão recurso.



**Figura 5.14.** Algumas das soluções propostas para o segundo problema do PRE.

Para estas equipes, especificamente, foram verificadas as frequências dos seus integrantes durante as aulas ao longo do bimestre. Foram as que tiveram maior índice de

ausência, principalmente nas três primeiras aulas e nas duas últimas, antes do dia da realização do PRE. Entretanto, outras equipes apresentaram soluções mais elaboradas, como as que vemos a seguir, nas figuras 5.15 e 5.16.

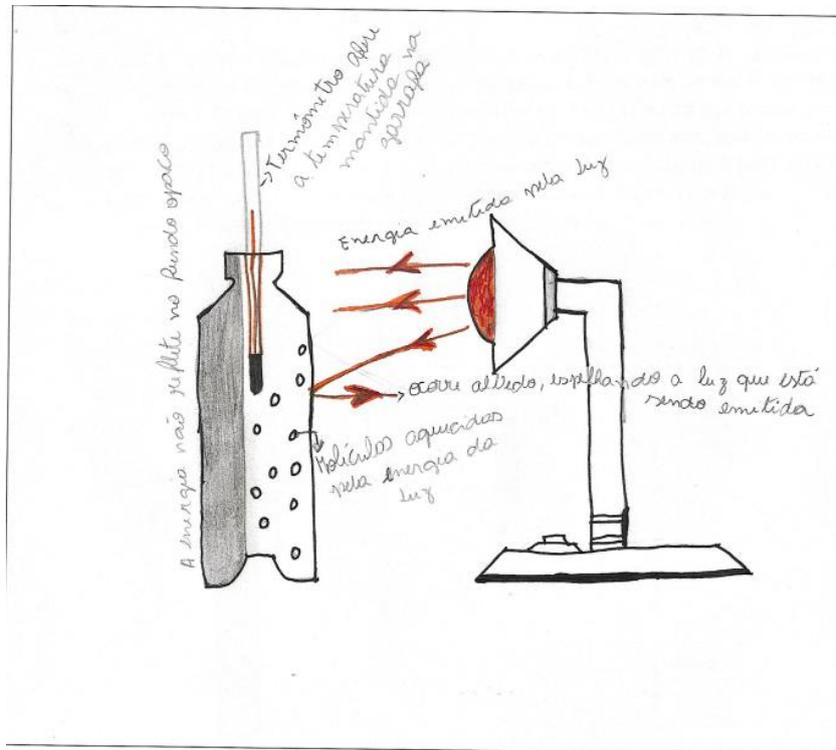


Figura 5.15. Solução proposta pela equipe (1).

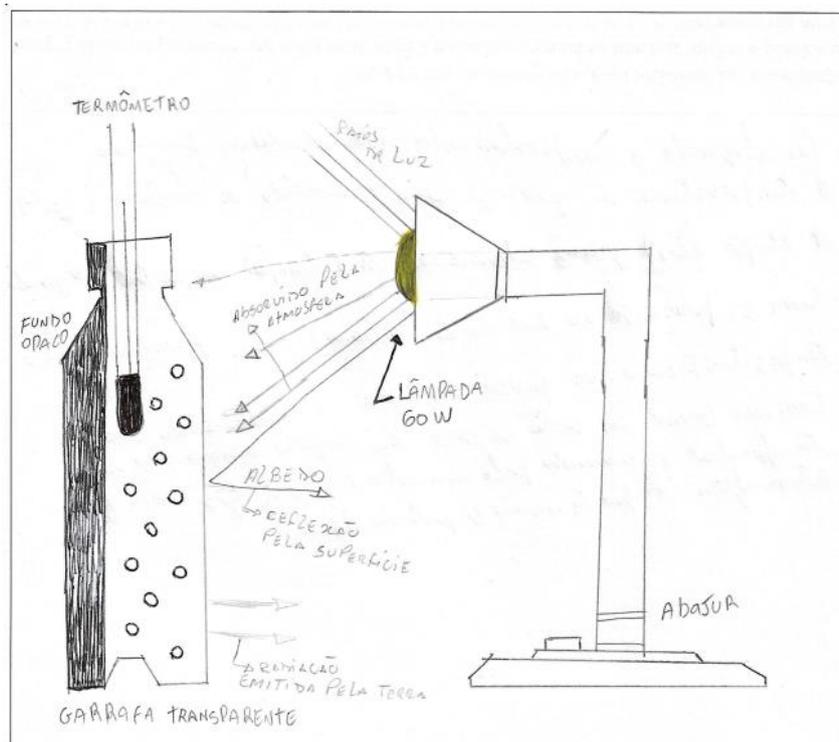


Figura 5.16. Solução proposta pela equipe (2).

As equipes também utilizaram o conceito de albedo, para destacar parte da energia que é refletida pelo material da garrafa, e uma delas destacou o fundo opaco como a região de maior absorção devido à sua cor. Estas equipes que apresentaram uma riqueza maior de informações nas suas soluções são as que tinham como integrantes estudantes com no máximo uma falta ao longo da aplicação do material.

### **5.3. Impressões sobre a aplicação da sequência didática**

A participação dos estudantes durante a aplicação correu como esperado. De um modo geral, o grupo que compõe essa turma concluinte do ensino médio é receptiva e participativa nas inúmeras atividades que os professores propõem. Um ponto de destaque é a rede de apoio que a turma possui entre si. Como já destacado, a frequência nas aulas é um dos pontos de maior problema para os estudantes, e observando o comportamento do grupo dentro e fora de sala de aula, é perceptível a disposição que eles têm em ajudar os colegas, seja repassando as anotações, seja destacando onde eles poderiam encontrar as informações, descrevendo as atividades realizadas, dentre outras ações.

Durantes as aulas expositivas, os estudantes receberam o material teórico impresso, com a premissa de ser um complemento às discussões feitas em aula, onde eles poderiam aprofundar um pouco mais os conceitos físicos discutidos. A importância de ter um material como esse distribuído ajudou àqueles com baixa frequência nas aulas a se situarem nas discussões. Alguns estudantes utilizaram dos *links* expostos ao longo do material impresso para procurar mais sobre o tema e alguns dos resultados das pesquisas feitas de maneira independente foram úteis em momentos nas aulas.

Por fim, durante a análise das soluções do PRE, a utilização correta de termos físicos na elaboração das respostas indicou um ganho na aprendizagem do tema proposto. Vimos também que a participação durante as aulas expositivas ajudou na elaboração das respostas.

Com essa descrição do ocorrido durante a aplicação da sequência didática, verificamos que de fato a abordagem de forma apropriada ao grupo de conceitos novos de física interessa aos estudantes e os estimula a aprender.

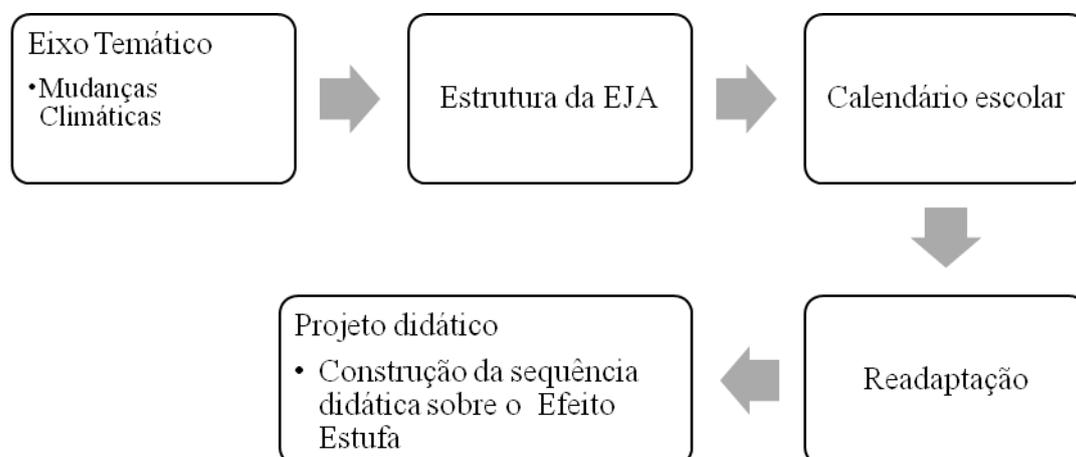
A seguir, apresentam-se as considerações finais deste trabalho.

## Capítulo 6

### Considerações Finais

A proposta deste trabalho envolveu o desafio de conseguir encontrar uma forma para abordar o tema das mudanças climáticas em uma turma da Educação de Jovens e Adultos (EJA) concluinte do Ensino Médio. Muitos foram os desafios que nortearam a sua construção, mas o destaque vai para o curto tempo dedicado para cada aula. Ao longo de toda a aplicação, sabia-se que cada encontro tinha um total de 40 minutos corridos no 1º tempo do dia. Os encontros ocorriam sempre no período noturno; a maioria dos estudantes é constituída por trabalhadores que vem direto dos seus respectivos empregos e, por questões de transporte, distância e trânsito intenso, não conseguem chegar no início dos encontros. Essas características deram a tônica do processo de aplicação da sequência didática.

A escolha do tema precisava ser recortada, para que os objetivos associados à utilização de raciocínio lógico, de compreensão de textos e vídeos, de trabalho em equipe fossem atingidos. Para isso, o projeto passou por algumas etapas de construção, que podem ser observadas na figura 6.1. Após a escolha do eixo temático sobre mudanças climáticas, foi realizada uma análise sobre as condições de aplicação na turma no contexto escolar. A partir do calendário escolar, da estrutura e organização escolar, a proposta foi adaptada e o tema final – O Efeito Estufa – foi selecionado e os materiais confeccionados.



**Figura 6.1.** Etapas da elaboração do projeto didático aplicado em sala de aula.

O projeto foi norteado por uma sequência didática que mesclava a utilização de metodologias ativas: o ensino sob medida e aprendizagem por equipes (Oliveira, Araujo e Veit, 2016). Para que essa ideia se tornasse viável, algumas adaptações foram necessárias. Uma delas foi a realização de todas as atividades em sala de aula, incluindo os testes de preparação individuais propostos no ensino sob medida.

A sequência teve início com a aula piloto, com a formação das equipes; foi aplicada uma dinâmica para resgatar alguns conceitos físicos básicos que os estudantes estudaram em momentos anteriores no ensino médio. No encontro seguinte ocorreu a aplicação do Teste de Preparação Individual (TPI). A organização incluiu a apresentação em várias exibições dos vídeos escolhidos, e isso contribuiu para que todos os estudantes conseguissem ver os vídeos ao menos uma vez e realizar toda a atividade. As respostas do TPI foram analisadas e discutidas com a turma sem identificação do autor ou autora das respostas. Esse momento foi enriquecedor, pois a turma foi proativa, querendo debater questão por questão, além de buscar entender o que cada alternativa ou frase queria dizer. Esse momento foi fundamental para as aulas e atividades posteriores que trabalharam o fenômeno do Efeito Estufa do ponto de vista mais técnico.

As aulas que abordaram a Física do Efeito Estufa diretamente foram mais expositivas, apresentando um raciocínio que envolvia um modelo de camada simples (Zhang, Moore, 2014) capaz de determinar, com boa aproximação, a temperatura de equilíbrio teórica para o planeta Terra, fazendo um contraponto com a temperatura que as medições indicam; essa discussão está feita no capítulo 4. A utilização dos materiais impressos que constam nos apêndices desse trabalho foram úteis para o aprofundamento dos conceitos debatidos em sala de aula.

Durante a realização do problema de equipes, foram observadas nas respostas de cada problema o uso dos termos de maneira correta na elaboração das respostas, o que indica um ganho na aprendizagem dos estudantes.

Ao final desta aplicação, foi possível concluir que a discussão de temas associados às mudanças climáticas atrai a atenção de alunos do EJA e que a metodologia a ser utilizada exige considerar as especificidades do grupo de alunos; para isso, a adoção adaptada de metodologias de ensino como Aprendizagem por Equipes e Ensino sob Medida mostrou-se de grande relevância.

O material educacional elaborado neste trabalho pode ser utilizado em outros grupos, dada a importância do tema para o contexto da educação em todos os níveis.

## Referências Bibliográficas

- [Almeida 2016] ALMEIDA, R.S.; CERQUEIRA JÚNIOR, W.; SILVA, E.S.. Concepções de alunos da EJA sobre raios e fenômenos relacionados. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 507–526, 2016.
- [Andriola 2014] ANDRIOLA, W. B.. Avaliação diagnóstica da Educação de Jovens e Adultos (EJA) no Brasil. Ensaio, Rio de Janeiro, v. 22, n. 82, p. 171-196, jan. 2014.
- [Araújo 2013] ARAUJO, . S.; MAZUR, . Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 362–384, 2013.
- [Araújo 2021] ARAUJO, I. et al.. Inovação didática no Ensino de Física em Nível Superior: o caso da disciplina Applied Physics50 da Universidade de Harvard. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, p. e20210222, 2021.
- [Barbosa 2019] BARBOSA, A. R. ; CAVALCANTI, E. L. D. . O uso de Textos de Divulgação Científica em Aulas de Física: desafios e possibilidades para a EJA.. In: XII ENPEC, 2019, Natal. XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2019. v. s/v.
- [Bergmann 2012] BERGMANN, J.; SAMS, A.. Flip your Classroom: reach every student in every class everyday. Washington, Dc: International Society For Technology In Education, 2012. 122 p.
- [Borsekowsky 2020] BORSEKOWSKY, A. R. et al. Aprendizagem significativa: transformando a sala de aula em laboratório para o ensino de ciências. Revista InsignareScientia, Cerro Largo, v. 4, n. 2, p. 13-22, nov. 2020.
- [Cunha 2018] CUNHA, L.; DICKMAN, G.. O estudo da Óptica na modalidade de Educação para Jovens e Adultos (EJA) por meio de uma sequência didática diversificada. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 262–289, 2018.

- [Espíndola 2006] ESPÍNDOLA, K.; MOREIRA, M. A.. A estratégia dos projetos didáticos no ensino de Física na educação de jovens e adultos (EJA). Textos de Apoio Ao Professor de Física, Rio Grande do Sul, v. 17, n. 2, p. 1-62, 2006.
- [Faria 2017] FARIA, M.S.; ARANTES, A.R.. Concepções dos estudantes do PROEJA com Técnico em Meio Ambiente sobre a disciplina de Física. In: Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, 11., 2017, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: ENPEC, 2017. p. 1-10.
- [Freitas 2010] FREITAS, E.T.F.; AGUIAR JUNIOR, O.. Atividades De Elaboração Conceitual Por Estudantes Na Sala De Aula De Física Na Eja. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 43-62, abr. 2010.
- [Higino 2018] HIGINO, Thiago. **UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INSPIRADA NA APRENDIZAGEM BASEADA EM EQUIPES VOLTADA PARA O ENSINO MÉDIO**. 2018. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- [Krummenauer 2010] KRUMMENAUER, W.L.; COSTA, S. S. C.; SILVEIRA, F. L.. Uma Experiência De Ensino De Física Contextualizada Para A Educação De Jovens E Adultos. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 12, n. 2, p. 69-82, maio 2010.
- [Krummenauer 2016] KRUMMENAUER, W. L.; WANNMACHER, C. M. D.. Percepção Dos Professores De Física Na Educação De Jovens E Adultos Acerca Do Interesse Discente Pelas Aulas. Revista Travessias, Paraná, v. 10, n. 1, p. 353-367, abr. 2016.
- [Krummenauer 2020] KRUMMENAUER, W. L.; DARROZ, L. M. O Ensino de Física na Educação de Jovens e Adultos: o que pensam docentes e discentes. Revista Thema, Pelotas, v. 17, n. 2, p. 437-448, 2020.
- [Leite 2005] LEITE, A. C. S.; SILVA, P. A. B.; VAZ, A. C. R.. A importância das aulas práticas para alunos jovens e adultos: uma abordagem investigativa sobre a percepção dos alunos do PROEF II. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 7, n. 3, p. 166-181, set. 2005.

- [Oliveira 2016] OLIVEIRA, . E. de; ARAUJO, . S.; VEIT, . A. Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning): um método ativo para o Ensino de Física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [S. l.], v. 33, n. 3, p. 962–986, 2016.
- [Rocha 2017] ROCHA, Marcele Augusta Padilha Monteiro; SILVA, David A. M. da; MARTINS, Isabel. Relações Entre Eja E Educação Em Ciências: Análises Da Literatura Da Área E Das Políticas Públicas. In: Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, 11., 2017, Florianópolis. Anais [...] . Florianópolis: ENPEC, 2017. p. 1-10.
- [Santos 2019] SANTOS, Deise Figueiredo dos; SOUZA, Luciana Sedano de; SANTOS, Verbênia Almeida. O Ensino De Ciências Por Investigação Frente Às Peculiaridades Da Modalidade Eja: Em busca de Alfabetização Científica e Cidadania. In: Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, 12., 2019, Natal. Anais [...] . Natal: ENPEC, 2019. p. 1-8.
- [Santos 2015] SANTOS, R. J. DOS .; SASAKI, D. G. G.. Uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de mecânica em educação de jovens e adultos. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 3, p. 3506-1-3506-9, jul. 2015.
- [Silva 2019] SILVA, Emerson Pires da; TEIXEIRA, Paulo Marcelo M.. Uma Experiência De Ressignificação Do Ensino De Física Na Eja Por Meio Da Abordagem CTS. In: Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, 12., 2019, Natal. Anais [...] . Natal: ENPEC, 2019. p. 1-10.
- [Silva 2021] SILVA, L. C.; IGNÁCIO, P.; ESPINOSA, T. Perspectivas De Licenciandos Em Física Sobre A Educação De Jovens E Adultos. Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática, [S. l.], v. 4, n. 2, 2021.
- [Strelhow 2010] STRELHOW, ThyelesBorcarte. Breve História Sobre A Educação De Jovens E Adultos No Brasil. Revista Histedbr, Campinas, v. , n. 38, p. 49-59, jun. 2010.
- [Zanetti 2017] ZANETTI NETO, Giovani; FERRACIOLI, Laércio. Atividades práticas no ensino de física na EJA. Física na Escola, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 15-18, out. 2017.



## **Apêndice**

### **Efeito Estufa na Educação de Jovens e Adultos**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

## EFEITO ESTUFA NA EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS

Luan Gomes Souza

Marta Feijó Barroso

Material instrucional associado à dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2023

## Introdução

Caro(a) professor(a),

Neste breve texto apresenta-se a sequência didática inspirada na metodologia da Aprendizagem Baseada em Equipes (*Team-Based Learning*) e Ensino sob medida (*Just-in-time Teaching*). Toda a atividade foi planejada para aplicação na turma correspondente ao último módulo da Educação de Jovens e Adultos (EJA), a fim de abordar os conceitos físicos associados ao tema Efeito Estufa. Na elaboração da atividade, foram consideradas as discussões apresentadas por outros professores e pesquisadores em relação ao tipo de metodologia a ser utilizado na EJA.

Todo o material que aqui se encontra é disponibilizado para colegas professores que desejem utilizá-lo em sala de aula bem como, adaptá-lo para novas propostas. Aqui podem ser encontrados:

- Roteiro de atividade experimental da aula piloto;
- Teste de Preparação Individual (TPI);
- Materiais em formato de apostila, contendo os conceitos principais sobre o tema.
- Problemas para aula de Resolução de Problemas em Equipes (RPE);

É possível encontrar a ordem de atividades desenvolvidas por aula na Tabela 1. A sequência didática foi aplicada ao longo de um bimestre escolar corrido contendo 1 aula semanal de 40 minutos. Caso a sequência seja utilizada em turmas com quantidade e(ou) duração de aulas diferentes, recomenda-se ampliar o tempo gasto na discussão dos materiais propostos das aulas 4 a 7, podendo também o professor privilegiar um dos tópicos que seja mais significativo para o seu grupo de estudantes.

Todas as atividades devem ser desenvolvidas durante o tempo de aula. A aula piloto foi realizada no Laboratório de Física da escola, porém sua aplicação não fica restrita apenas nesses espaços. Por possuir materiais simples é possível ser realizada na sala de aula convencional.

Para a aula 2 não foram utilizadas tarefas de leitura prévias, como as empregadas nas atividades de Ensino sob medida. O objetivo era adaptar uma maneira confortável e dinâmica para os estudantes participarem da atividade. Dessa maneira, foram utilizados vídeos disponíveis em plataformas digitais como será descrito em sua seção específica adiante.

**Tabela 1:** Organização das atividades desenvolvidas em cada aula. As aulas possuem um tempo igual a 40 minutos corridos.

|               | <b>Atividade desenvolvida</b>                  |
|---------------|--|
| <b>Aula 1</b> | Aula piloto                                    |
| <b>Aula 2</b> | Aplicação do TPI                               |
| <b>Aula 3</b> | Discutindo o TPI + Sistema Climático Terrestre |
| <b>Aula 4</b> | Estimando a Temperatura da Terra               |
| <b>Aula 5</b> |  |
| <b>Aula 6</b> | Explorando o Efeito Estufa                     |
| <b>Aula 7</b> |  |
| <b>Aula 8</b> | Aula de RPE                                    |

As respostas do TPI devem ser recebidas pelo professor e utilizadas para preparar uma breve discussão. Recomenda-se que as respostas sejam reproduzidas em sala como forma de exemplo, de maneira anônima para que não haja constrangimento.

As aulas que seguem são explicações acerca dos tópicos principais para compreensão do fenômeno de Efeito Estufa. Para a aplicação desse material pelo autor, foram elaboradas apresentações em formato de transparências que, em seguida, foram disponibilizadas para os estudantes. As apostilas para essas aulas que são encontradas a seguir, foram descritas para os estudantes como um “para saber mais”, ou seja, as apostilas entregues a classe servem como um aprofundamento dos debates, fazendo com que a aula não fique restrita a discussão de um texto prévio.

Durante a atividade de RPE, todas as equipes receberam os mesmos problemas, onde após discutirem uma solução, deveriam apresentá-las aos seus colegas de classe de maneira breve, para que críticas e/ou sugestões pudessem ser dadas.

## Sumário

|   |    |
|---|----|
| Atividade Piloto .....                              | 5  |
| Teste de Preparação Individual .....                | 7  |
| Materiais Instrucionais .....                       | 12 |
| Material 1 – Sistema Climático Terrestre .....      | 13 |
| Material 2 – Estimando a Temperatura da Terra ..... | 15 |
| Material 3 – Explorando o Efeito Estufa .....       | 22 |
| Problemas para Resolução em Equipes .....           | 29 |
| Cartões de Recurso .....                            | 34 |

## Atividade Piloto

A atividade de abertura para essa sequência didática tem como proposta que os estudantes alcancem os objetivos de,

- Refletir sobre suas concepções de temperatura e calor; e
- Contribuir com suas ideias em uma breve atividade experimental demonstrativa.

Para que essa tarefa seja realizada com maior clareza, apresentamos a seguir os materiais utilizados, indicando onde é possível obtê-los, e os procedimentos metodológicos que podem ser adotados pelo docente frente à turma. Vale ressaltar que, ao longo da apresentação dos procedimentos, algumas questões em destaque são sugeridas para fomentar as discussões com a turma.

Na demonstração experimental são necessários os seguintes materiais:

- 5 placas de madeira (dimensões sugeridas: 10 cm x 10 cm).
- 5 placas de alumínio (dimensões sugeridas: 10 cm x 10 cm).
- 1 Termômetro Infravermelho.
- Cubos de gelo.

As placas de madeira e alumínio podem ser obtidas em lojas que trabalhem com os respectivos materiais. Não é necessário dispor de algum valor em dinheiro para obtê-las uma vez que esses estabelecimentos possuem uma quantidade de material já utilizado, destinado ao descarte. Os termômetros de infravermelho podem ser obtidos em diversas lojas de varejo em uma faixa de preço entre R\$ 35,00 e R\$ 50,00. A escolha de termômetros desse tipo é justificada por dois fatores: não necessitar de contato físico com os outros materiais envolvidos no experimento, o que aproxima o sistema como isolado de trocas de calor externo; e a facilidade na medição da grandeza temperatura.

Toda a atividade descrita a seguir foi desenvolvida em sala de aula e está organizada para ter duração de 1 tempo de aula, equivalente a 40 minutos corridos, em uma turma do último módulo da EJA. As questões sugeridas para discutir esse experimento podem ser impressas e distribuídas aos estudantes, para que possam acompanhar e fazer anotações pessoais.

## Procedimentos

Iniciamos essa aula fazendo um breve sorteio de 5 estudantes que serão, num primeiro momento, os experimentadores. Esse sorteio pode ser feito de diferentes maneiras – a tradicional (papéis com os números) ou um site genérico de sorteio numérico.

Cada um dos estudantes sorteados deve segurar em uma das mãos uma placa de cada material (madeira e alumínio); assim cada um terá consigo um par de placas. Feito isso, provoque uma discussão com perguntas como as exemplificadas:

|                   |  |
|-------------------|--|
| <b>Professor:</b> | Como vocês descreveriam as temperaturas das placas?                            |
| <b>Professor:</b> | Vocês são capazes de estimar um valor de temperatura para cada uma das placas? |

Após ouvir e registrar as respostas dos estudantes, utilize o termômetro infravermelho para medir a temperatura de cada um dos pares de placas que se encontram com os estudantes.

O intuito aqui é perceber se há contraste entre as respostas das perguntas acima e o valor marcado pelo termômetro. Nesse momento deve ser introduzido o mecanismo de **sensação térmica** que o corpo humano possui e discutir se o tato permite medir com alguma precisão a temperatura dos objetos.

Finalizada essa etapa, peça para que os estudantes se organizem em grupos à sua escolha. Observe que a quantidade de grupos deve coincidir com a quantidade de pares de placas disponíveis. Coloque sobre a mesa de cada grupo as placas e sobre elas alguns cubos de gelo. Peça aos estudantes que observem o derretimento do gelo sobre as placas; um intervalo de 30 segundos é suficiente para notarmos o efeito desejado.

A discussão deve ser orientada por perguntas como as exemplificadas:

|                   |   |
|-------------------|---|
| <b>Professor:</b> | O gelo sobre as placas derrete com a mesma rapidez? (Se sua resposta foi “não”, diga sobre qual placa o derretimento é mais rápido) |
| <b>Professor:</b> | Coloque agora um cubo de gelo sobre sua mão, e compare com a rapidez de derretimento das placas.                                    |
| <b>Professor:</b> | Com base nas suas observações, caso haja uma diferença entre a rapidez de derretimento, o que poderia provocar esse efeito?         |

A atividade piloto se encerra com a discussão envolvendo a diferença entre dois conceitos: temperatura e condutividade térmica dos materiais.

## Teste de Preparação Individual

O teste de preparação individual deve ser precedido pela exibição de dois vídeos disponíveis na plataforma *YouTube*. As informações sobre eles estão na Tabela 2.

**Tabela 2.** Informações sobre os vídeos utilizados previamente à aplicação do TPI.

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| <b>Vídeo 1</b> | <i>What is the GreenhouseEffect?</i> (O que é o Efeito Estufa?)                   |   |
|                | Autor:  | NASA Space Place  |
|                | Disponível em:  | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=SN5-DnOHQmE&amp;t=5s">https://www.youtube.com/watch?v=SN5-DnOHQmE&amp;t=5s</a>   |
| <b>Vídeo 2</b> | Você sabe a diferença entre EFEITO ESTUFA, AQUECIMENTO GLOBAL e MUDANÇA CLIMÁTICA |   |
|                | Autor:  | Instituto de Física da USP  |
|                | Disponível em:  | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=RKQZrDcxUXA&amp;t=24s">https://www.youtube.com/watch?v=RKQZrDcxUXA&amp;t=24s</a> |

O vídeo 1 é encontrado apenas na versão em inglês, contudo a tradução automática<sup>1</sup> fornecida pela própria plataforma é suficiente para obter uma boa compreensão das informações. Como os estudantes não terão acesso prévio aos vídeos, é recomendado que haja mais de uma reprodução durante a aula.

Para o caso da aplicação deste trabalho, foram separados três momentos de exibição, com intervalos de 10 minutos entre si que eram feitas junto a resolução do TPI pelos estudantes. Dessa forma a dinâmica da aula fica descrita conforme a Tabela 3.

**Tabela 3.** Dinâmica adotada na aula, relacionando o tempo gasto para realização de cada atividade.

| <b>Tempo decorrido</b> | <b>O que é feito?</b>                         |
|------------------------|---|
| 5 minutos              | Explicação da atividade + distribuição do TPI |
| 15 minutos             | 1ª exibição dos vídeos                        |
| 25 minutos             | 2ª exibição dos vídeos                        |
| 35 minutos             | 3ª exibição dos vídeos                        |

<sup>1</sup> Nos reprodutores de vídeo do *YouTube*, especificamente a versão mais atual, conta com um ícone representado pelas letras CC (*Closed Caption*); basta clicar sobre esse ícone e a tradução automática aparecerá.

## Teste de Preparação Individual – Questionário

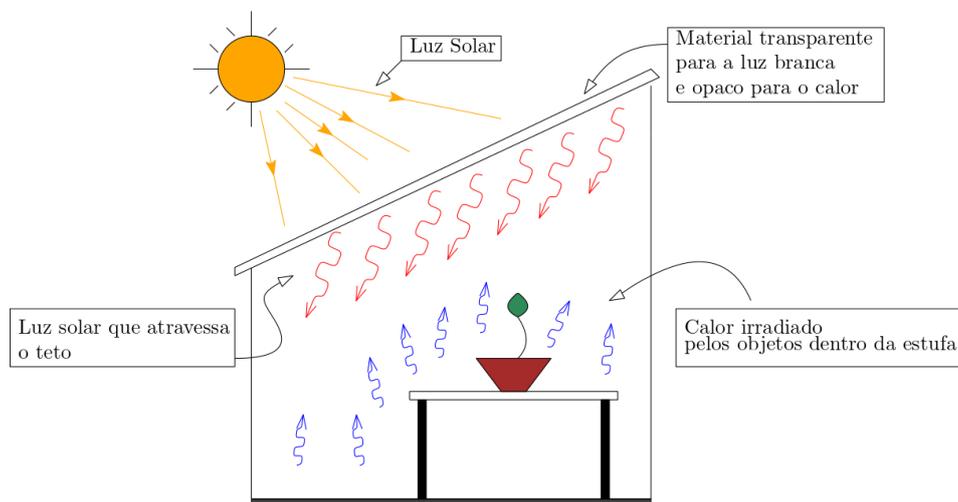
**Questão 1:** Você gostou dos vídeos apresentados?

Sim  Não

**Questão 2:** Ao assistir os vídeos você encontrou alguma dificuldade em compreender os assuntos abordados?

**Questão 3:** O que nos vídeos mais te chamou atenção?

**Questão 4:** A ilustração abaixo mostra esquematicamente o funcionamento de uma estufa de flores.



Marque as afirmativas que você julga verdadeiras.

- Como o material na parte superior da estufa é opaco para o calor, a temperatura dentro da estufa é menor que sua temperatura fora dela.
- Parte da luz que atravessa a estufa é absorvida pelos objetos na parte de dentro, e reemitida na forma de calor.

- O ar dentro da estufa se aquece porque o calor do Sol é absorvido pelos objetos em seu interior e, depois, redistribuído por todo o seu volume.
- A estufa absorve calor do Sol, aprisionando-o em seu interior, ocasionando um aumento em sua temperatura interna.

**Questão 5:** Três pequenos produtores agrícolas desejam construir estufas em suas propriedades. Cada um deles reside em uma região diferente do Brasil; na tabela a seguir encontram-se algumas características dessas regiões.

| Produtor  | Região       | Clima          | Irradiação Solar (u.E.) | Umidade Relativa | Precipitação    |
|-----------|--------------|----------------|-------------------------|------------------|-----------------|
| João      | Norte        | Tropical       | 5642                    | 90%              | Abaixo da média |
| Francisco | Nordeste     | Semi-árido     | 5880                    | 50%              | Abaixo da média |
| Carlos    | Centro-Oeste | Tropical úmido | 5700                    | 20%              | Média           |

u.E.: unidades de Energia

Dados obtidos em REIS, Neville V. B. dos. Construção de estufas para produção de hortaliças nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Brasília: Embrapa, 2005.

Qual dos produtores terá uma estufa mais eficiente?

- João
- Francisco
- Carlos

Qual dos fatores apresentados na tabela acima tem maior influência na eficiência de uma estufa? (Marque mais de um, se julgar necessário.)

- Região
- Irradiação Solar
- Clima
- Precipitação
- Umidade Relativa

Explique rapidamente os motivos para sua(s) escolha(s).

**Questão 6:**

**Medindo a temperatura da Lua**

“Nosso vizinho mais próximo tem uma variedade surpreendentemente ampla de temperaturas em sua superfície. [...] Durante o dia, sua temperatura próxima ao equador atinge algo próximo de  $120^{\circ}\text{C}$ , enquanto a noite, a temperatura cai para os congelantes  $-130^{\circ}\text{C}$ . [...]” Adaptado de [www.lunar.gsfc.nasa.gov](http://www.lunar.gsfc.nasa.gov) Por ser um astro tão próximo a Terra, a Lua recebe uma quantidade de energia semelhante ao nosso planeta. Contudo, a temperatura média na superfície da Terra é de  $18^{\circ}\text{C}$ . Isso significa que existe algum fator natural que auxilia nosso planeta a manter a temperatura mais agradável do que na Lua.

A seguir estão listados alguns fatores presentes no nosso planeta. Marque aquele responsável por essa grande diferença em relação a Lua.

- Presença de oceanos.
- Presença de nuvens.
- Presença de atmosfera.
- Presença de gases de efeito estufa.
- Presença de atividade humana.

**Questão 7:** Observe a charge abaixo:



Fonte: <http://geografia.hi7.co/charges-cartuns-e-desenhos-sobre-meio-ambiente-56c3cde54656c.html>

De acordo com as informações discutidas nos vídeos, e sua compreensão do assunto abordado, podemos afirmar que o Efeito Estufa é um fenômeno:

- natural, porém intensificado pela ação humana.
- natural, sem ser afetado pelas ações humanas em sociedade.
- artificial, provocado por interferências humanas diretas sobre o meio ambiente.
- recente, não havendo registros de sua existência em épocas geológicas antigas.

## **Materiais Instrucionais**

## Material 1 – Sistema Climático Terrestre

### Tempo e Clima

O uso de termos como clima e tempo (meteorológico) são bem difundidos em nosso cotidiano. É comum, por exemplo, olharmos o que a meteorologia diz sobre o tempo de um final de semana em que temos uma viagem planejada, ou como é o clima de uma região que pretendemos visitar. Embora os termos clima e tempo sejam intimamente relacionados, eles possuem um significado diferente.

#### Tempo

É o estado momentâneo em que está a atmosfera de um determinado lugar. Para determiná-lo, necessitamos medir grandezas como temperatura, umidade, precipitação, pressão atmosférica, nebulosidade, ventos e outras. O problema é que o comportamento de todas, juntas, é complicado (os cientistas chamam de “não linear”). O que isso significa? Bom, pense nelas como ingredientes culinários. Toda vez que mudamos a quantidade dos ingredientes e os misturamos, obtemos resultados diferentes. Por esta razão, o desempenho de uma previsão de tempo, em geral, decai após uma semana.

#### Clima

Já o clima trata de uma estatística do tempo ao longo de um grande período, uma média que varia lentamente por meses, anos ou mais. O clima de uma região é afetado pela latitude, altitude, vegetação, proximidade de grandes corpos de água e de gelo, entre outros.

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM), para caracterizar o clima de uma região é recomendada a utilização de dados meteorológicos de pelo menos 30 anos. O Quadro 1 indica onde pode-se obter informação adicional sobre o tema.

|   |
|---|
| <b>Para ilustrar melhor a diferença entre esses dois conceitos:</b>   |
| What's the difference between weather and climate? “Qual a diferença entre tempo e clima?”                  |
| Canal: NASA ClimateChange   |
| Link: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=vH298zSCQzY">https://www.youtube.com/watch?v=vH298zSCQzY</a> |
| <b>Leitura recomendada:</b>   |
| O que é tempo, clima e sistema climático?   |

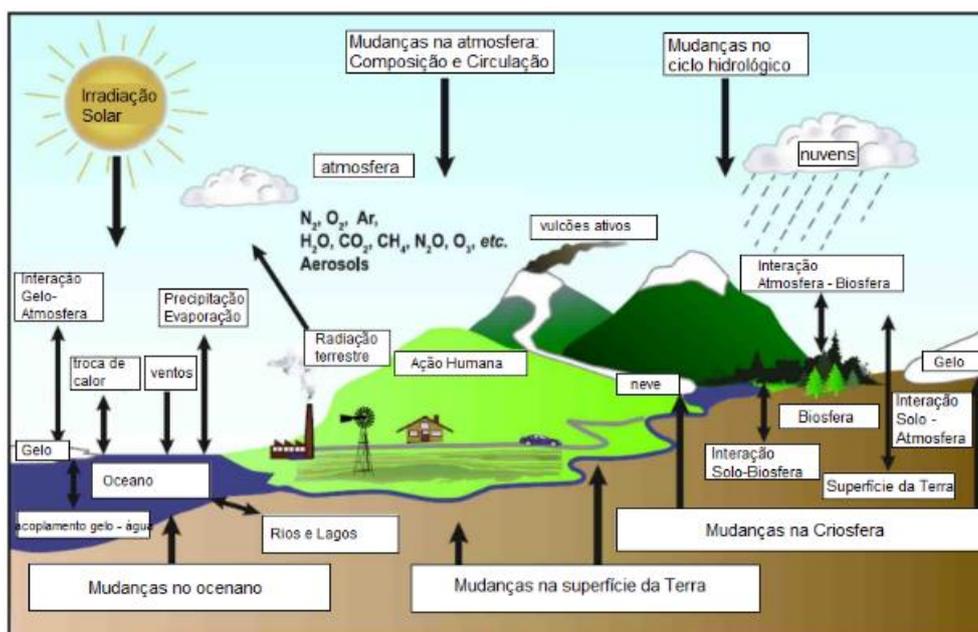
### Quadro 1. Diferença entre tempo e clima

## Sistema Climático Terrestre

O sistema climático do nosso planeta é composto por alguns componentes que estão em constante interação.

- A Atmosfera, composta pelo ar seco e vapor de água, com aproximados 100 quilômetros de espessura.
- O Oceano, cobrindo cerca de 70% da superfície terrestre e, com uma profundidade média de 4 quilômetros.
- Camadas de gelo e neve, normalmente encontradas nos polos, compõem a Criosfera.
- A Biosfera, contendo todos os seres vivos tanto na terra, quanto no mar.
- Por fim, a Litosfera, que representa a parte sólida do planeta, como os continentes.

Esses componentes interagem entre si basicamente por trocas energéticas; como isso funciona? A fonte de energia principal da Terra é o Sol. Essa energia é afetada pela presença de gases, aerossóis e nuvens na atmosfera. Dessa forma, a composição de elementos que formam a atmosfera afeta o aquecimento e o resfriamento do planeta, alterando a circulação do ar e o movimento dos mares, o que impacta diretamente a biosfera e a Criosfera. A Figura 1 pode ser usada como ilustração dessas interações.



**Figura 1.** Esquema ilustrativo dos componentes do sistema climático terrestre e suas interações. (Fonte: Traduzido de SCHMITTNER, A. Introduction to Climate Science. Oregon: Oregon State University, 2020, versão do autor)

A ação humana impacta diretamente o sistema climático do planeta, pelo aumento da produção de gases estufa, aerossóis, e pelo uso pouco adequado da terra.

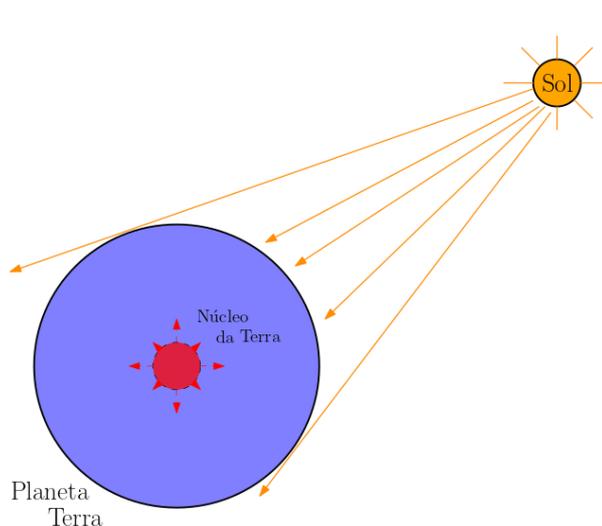
## Material 2 – Estimando a Temperatura da Terra

Quando desejamos estimar a temperatura de algum objeto, intuitivamente aproximamos a palma de nossa mão, e conseguimos concluir se ele está quente ou frio em relação ao nosso corpo. Se precisarmos saber o valor de a temperatura, podemos utilizar um termômetro de farmácia, por exemplo. Esses procedimentos são bem úteis quando lidamos com situações do nosso cotidiano.

Contudo, agora vamos dar um novo passo: o que fazer, se quisermos saber qual a temperatura do planeta Terra? Usar instrumentos convencionais não mais ajudarão nessa tarefa, o que pode dar a impressão de que é impossível responder essa pergunta. Entretanto, há uma solução na qual, com algumas informações e conceitos físicos, conseguimos encontrar uma resposta. Nos tópicos subsequentes vamos responder algumas perguntas que, ao final, ajudarão a determinar de fato qual é a temperatura do nosso planeta.

### Pergunta 1: *Quais as fontes de energia que aquecem o planeta Terra?*

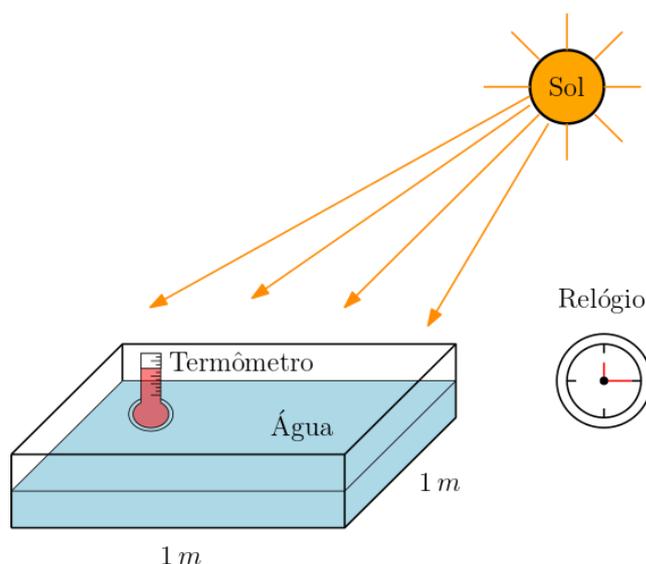
O principal fornecedor de energia para a Terra é o Sol (figura 2). Em sua totalidade a energia que o Sol emana é calor, na forma de luz. Há uma segunda fonte de calor cuja origem é o próprio planeta Terra, conhecida como energia Geotérmica. Produzido no núcleo do planeta, o calor geotérmico é uma fonte bem primitiva, que acompanha o planeta desde sua formação.



**Figura 2:** Fontes de energia na forma de calor do planeta Terra. A principal fonte é a estrela do nosso sistema solar, o Sol, responsável por iluminar e aquecer não só a Terra, mas outros planetas próximos. Uma fonte secundária vem do núcleo do nosso planeta; essa energia é conhecida como Geotérmica. Um comparativo mostra que a energia proveniente do Sol é ordens de grandeza maior que a do núcleo, por esta razão, não levaremos em conta a energia Geotérmica no desenvolvimento do problema. (Imagem produzida pelo autor)

Em termos numéricos, a energia proveniente do Sol é equivalente a aproximadamente  $1361 \text{ W/m}^2$ .

Mas o que esse valor significa? Imagine que você tenha em mãos uma bacia de 1 metro comprimento por 1 metro de largura, totalizando uma área de 1 metro quadrado ( $1 \text{ m}^2$ ), como na figura 3. Ao deixá-la exposta ao Sol, você irá observar que, com o passar do tempo marcado pelo relógio, a água terá aumentado de temperatura. O valor de energia que o Sol forneceu à essa porção de água, para que ela pudesse aquecer foi de 1361 unidades a cada segundo.



**Figura 1:** Esquema ilustrativo da quantidade de energia emitida pelo Sol. Essa ilustração pode ser realizada através de uma atividade experimental. Mas atenção, ao fazer isso torna-se necessário fazer algumas correções de latitude e ângulos de incidência dos raios solares.(Imagem produzida pelo autor)

Já a energia geotérmica é da ordem de  $0,1 \text{ W/m}^2$ . Esse valor é muito menor se comparado com a energia proveniente do Sol, e por essa razão ele não irá influenciar no desenvolvimento do problema.

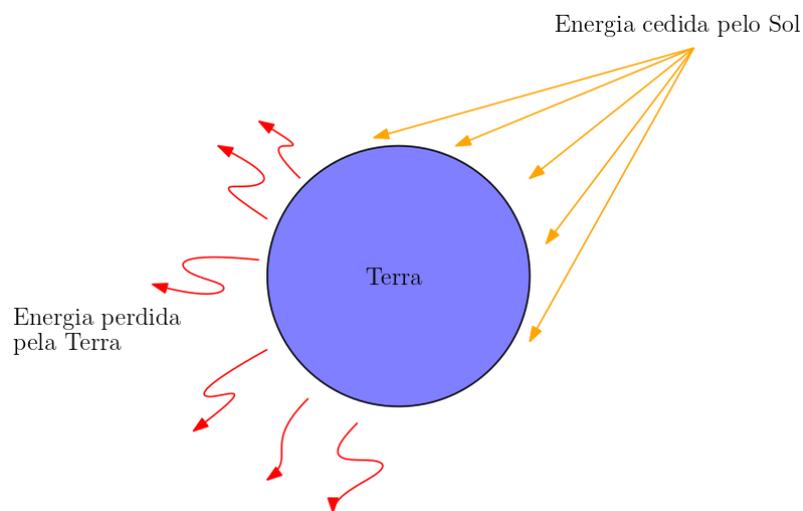
**Pergunta 2:** *Como ocorre a interação energética entre a Terra e o Sol?*

Existem algumas maneiras de transmitir energia sob forma de calor. A que descreve a interação entre Terra e Sol é a Radiação ou irradiação térmica. De maneira objetiva, quando um corpo qualquer está à uma certa temperatura, ele passa a emitir energia térmica na forma de luz. Dependendo do valor de temperatura atingido, esse corpo pode: derreter, ao alcançar seu ponto de fusão; aquecer o ambiente emitindo radiação infravermelha; ou emitir luz visível através do brilho. Informações adicionais podem ser encontradas no material apresentado no Quadro 2.

| Sugestão de vídeo experimental |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Canal:</b>                  | Física na Prática   |
| <b>Título:</b>                 | Transferência de Calor: Radiação  |
| <b>Link:</b>                   | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=xbaejX3j1z8">https://www.youtube.com/watch?v=xbaejX3j1z8</a> |

**Quadro 2.** Sobre transferência de calor.

A irradiação térmica não é apenas importante para recebermos a energia proveniente do Sol, mas também para manter a temperatura do planeta estável. O que queremos dizer com isso? Se o planeta Terra apenas recebesse, constantemente, a energia do Sol, seu comportamento seria apenas aumentar de temperatura cada vez mais. Entretanto, sabemos que esse fenômeno não acontece, o que significa dizer que, na mesma medida que recebemos energia, também perdemos energia, o que é ilustrado na Figura 4.



**Figura 2.** A energia que a Terra absorve deve ser perdida a uma mesma taxa. Caso contrário, a temperatura do planeta iria aumentar cada vez mais. (Imagem produzida pelo autor)

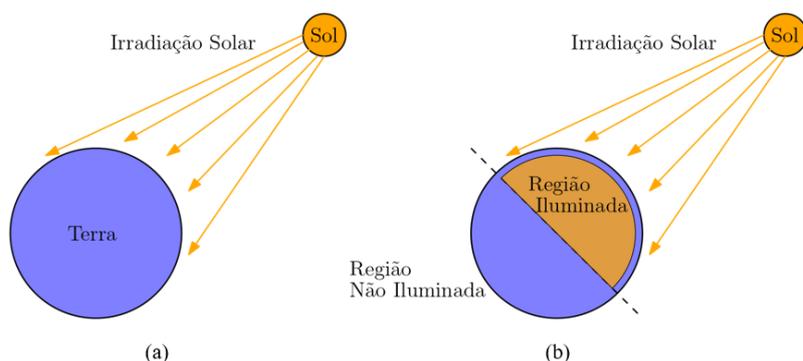
Esse é o principal mecanismo que devemos considerar quando desejamos estimar a temperatura do planeta. Esse mecanismo é chamado de Balanço Energético da Terra, e pode ser escrito através da igualdade

$$E_{Sol} = E_{Terra}$$

onde  $E_{Sol}$  representa a quantidade de energia absorvida do Sol, e  $E_{Terra}$  representa a quantidade de energia que o planeta, por sua vez, emite em direção ao espaço.

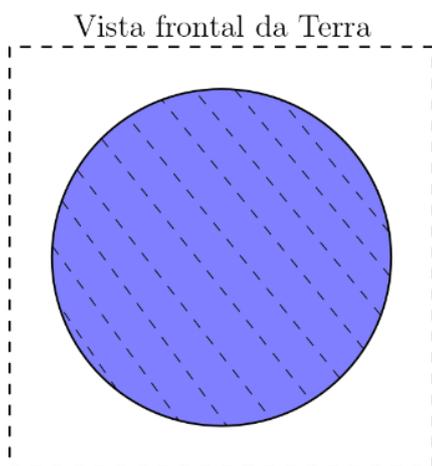
**Pergunta 3:** Qual a quantidade de energia que a Terra absorve do Sol ( $E_{Sol}$ )?

Como já comentado, a fonte principal de energia térmica da Terra é o Sol, cujo valor é de aproximadamente 1361 unidades de energia a cada segundo incidindo sobre unidade de área. Mas que área seria essa? Se você pensou na área do planeta, está quase lá! Observe a figura 5.a; nela os raios solares irradiados atingem apenas a parte frontal do planeta, que está de frente para o Sol, ou seja, para um observador olhando para os dois corpos, haverá uma região iluminada e uma não iluminada, como mostra a figura 5.b.



**Figura 3:** (a) Irradiação solar sobre a superfície do planeta; nela vemos que os raios solares não atingem todas as partes do planeta simultaneamente. (b) A consequência disso é que sempre irá haver uma região iluminada, que pode ser entendida como o período diurno para os países daquela parte, e uma região não iluminada, que representaria o período noturno para o resto dos países.  
(Imagem produzida pelo autor)

Agora, um observador no Sol, ao olhar para a face iluminada da Terra, o que ele observaria? Um círculo! A área desse círculo é aquela que recebe a energia cedida pelo Sol, como na figura 6.



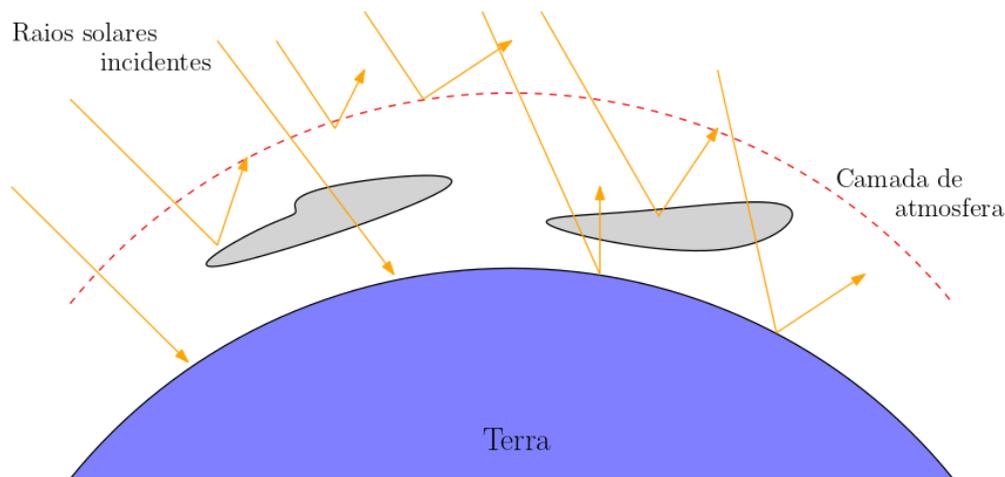
**Figura 4:** Essa ilustração representa a visão de um observador colocado no Sol ao olhar para a Terra. A figura que ele irá observar é uma visão frontal do planeta, representada por uma circunferência. (Imagem produzida pelo autor)

É importante ressaltar que embora apenas uma face da Terra receba a luz do Sol, o planeta como um todo é aquecido. Essa porção de área irradiada representa apenas  $\frac{1}{4}$  do total da área da superfície da Terra.

Como o planeta possui um movimento de rotação em torno do seu próprio eixo, o total de energia solar absorvida pelo planeta será a quarta parte da energia irradiada sobre a área iluminada. Assim,

$$\text{Energia Solar Absorvida} = \frac{1361}{4} = 340,25 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Como todo sistema real, a absorção de energia pela Terra possui perdas. Elas ocorrem basicamente por reflexão que a luz do Sol sofre na superfície do planeta, na atmosfera ou nas nuvens, como esquematizado na figura 7. Essa quantidade refletida de energia recebe o nome de albedo.



**Figura 5.** Perdas de energia por reflexão (albedo). Nesse esquema vemos as possibilidades de reflexão da luz: na superfície do próprio planeta; na atmosfera, representada pela linha pontilhada; e nas nuvens. Lembra-se que também há uma parcela que consegue ser absorvida pela superfície.  
(Imagem produzida pelo autor)

O albedo sempre será descrito como uma porcentagem do total de energia refletida que chega do Sol. Em geral, para nosso planeta, a perda devido ao albedo corresponde cerca de 30%, ou seja, apenas 70% da energia é de fato absorvida pela Terra.

Desse modo, a quantidade de energia que a Terra absorve será:

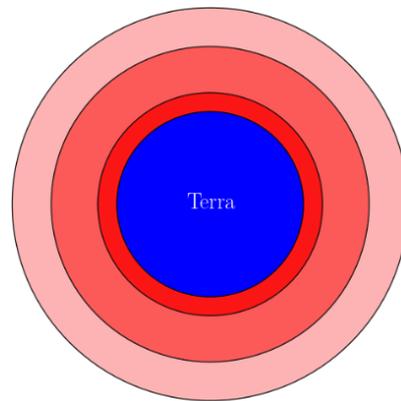
$$E_{\text{Sol}} = \text{Energia Solar Absorvida} \times \text{Perdas pelo Albedo}$$

$$E_{\text{Sol}} = 340,25 \times 0,7$$

$$E_{\text{Sol}} = 238,175 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

**Pergunta 4:** Qual a quantidade de energia emitida pela Terra ( $E_{Terra}$ )?

Uma vez totalmente aquecida, a Terra necessita liberar energia novamente; caso contrário, ela não pararia de esquentar. A maneira pela qual o planeta emite de volta para o espaço a radiação na forma de calor ocorre de forma gradual. O calor é mais intenso próximo a superfície e vai se dissipando em direção ao espaço, como mostrado na figura 8.



**Figura 6:** Calor irradiado pela Terra. A energia emanada é mais intensa nas proximidades da superfície do planeta e decai conforme segue em direção ao espaço. (Imagem produzida pelo autor)

Para determinar a quantidade de energia que um corpo aquecido irradia, é necessário que utilizemos uma importante lei física, formulado no final do século 19, pelos físicos Jozef Stefan e Ludwig Boltzmann. Essa lei diz que a energia irradiada de um corpo é proporcional à quarta potencial da temperatura em que ele se encontra.

$$\text{Radiação Emitida} = \sigma \times T^4$$

onde  $T$  representa a temperatura na qual o corpo se encontra e a letra grega  $\sigma$  (leia *sigma*) é uma constante que indica a proporcionalidade entre a radiação emitida e a temperatura. Por ser uma constante, possui um valor fixo igual a

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \left[ \frac{W}{m^2 K^4} \right]$$

Podemos agora escrever a energia emitida pela Terra ( $E_{Terra}$ ) como:

$$\begin{array}{ll} E_{Terra} = & \text{Radiação Emitida} \\ E_{Sol} = & \sigma \times T^4 \end{array}$$

**Pergunta 5:** *Qual a temperatura do planeta Terra?*

Para responder nossa principal questão, devemos resolver o Balanço Energético da Terra, utilizando os resultados encontrados nas duas perguntas anteriores.

$$E_{Sol} = E_{Terra}$$
$$238,175 = \sigma \times T^4$$

Basta agora inserir o valor de  $\sigma$  e resolver para  $T$ . Ao fazer isso, obtemos que a temperatura do planeta Terra é de,

$$T = (255 K) \text{ ou } (-18^\circ C)$$

Esse valor sugere que a Terra é um planeta excessivamente frio. Entretanto, não é o que acontece na prática, e a média de temperatura do planeta gira em torno de  $+15^\circ C$ , muito mais quente do que calculado.

Essa conclusão esboça uma nova questão sobre a veracidade do nosso modelo. O que explica essa diferença de temperatura? E a resposta está em um dos componentes do nosso sistema climático, a atmosfera.

## Material 3 – Explorando o Efeito Estufa

A maneira na qual determinamos o valor da temperatura do nosso planeta foi primeiro elaborado em meados do século 19, por Joseph Fourier. Na época, Fourier já havia notado que seus resultados teóricos não condiziam com as observações. Dessa forma, ele especulou que a atmosfera poderia ter um papel importante na determinação da temperatura do planeta, e hoje sabemos que ele tinha razão.

Para criarmos uma linha de raciocínio, vamos observar dados de planetas vizinhos, em comparação ao nosso. A seguir, na Tabela 4, observamos os dados astronômicos de Mercúrio, Vênus e Marte, além da Terra.

**Tabela 4.** Dados astronômicos de alguns planetas do Sistema Solar.

|                                 | Mercúrio | Vênus  | Terra  | Marte |
|---------------------------------|----------|--------|--------|-------|
| Diâmetro (km)                   | 4.879    | 12.104 | 12.756 | 6.792 |
| Distância do Sol (milhão de km) | 57,9     | 108,2  | 149,6  | 228,0 |
| Irradiação Solar                | 9082,7   | 2061,3 | 1361,0 | 586,2 |
| Albedo                          | 0,06     | 0,77   | 0,3    | 0,25  |

Ao traçar uma lógica, dado o parâmetro Distância do Sol, não é estranho dizer que o planeta de maior temperatura seria aquele mais próximo da estrela. Logo, teríamos Mercúrio como o mais quente entre todos. Contudo, se utilizarmos o raciocínio adotado nas aulas anteriores para determinar a temperatura dos outros planetas, obteríamos os resultados indicados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Cálculo, segundo o modelo apresentado, da temperatura estimada para os planetas.

|                           | Mercúrio | Vênus | Terra | Marte |
|---------------------------|----------|-------|-------|-------|
| Temperatura estimada (°C) | 167,0    | -59,3 | -18,0 | -63,2 |

Em uma primeira análise, o que nos chama atenção é o fato de que Vênus seria mais fria que a Terra. A justificativa, seguindo o modelo que adotamos, é que as perdas por albedo são maiores, ou seja, uma quantidade menor de luz solar consegue alcançar a superfície do planeta. Contudo, esses resultados não condizem com a realidade. As temperaturas para esses planetas estão descritas na Tabela 6.

**Tabela 6.** As temperaturas dos planetas.

|                       | Mercúrio | Vênus | Terra | Marte |
|-----------------------|----------|-------|-------|-------|
| Temperatura real (°C) | 167,0    | 464,0 | 15,0  | -63,0 |

Para Mercúrio e Marte, as temperaturas estimadas e medidas são bem próximas, porém para Vênus e Terra, os valores são bem discrepantes. Vênus é absurdamente mais quente que todos os outros, e a explicação disso está justamente na composição de sua atmosfera.

Um planeta que possui uma atmosfera substancial, ou seja, espessa e com uma quantidade elevada de determinados gases, tem facilidade em absorver uma porcentagem da energia irradiada pelo planeta, antes que ela alcance o espaço exterior. A Tabela 7 apresenta alguns dados da atmosfera dos planetas.

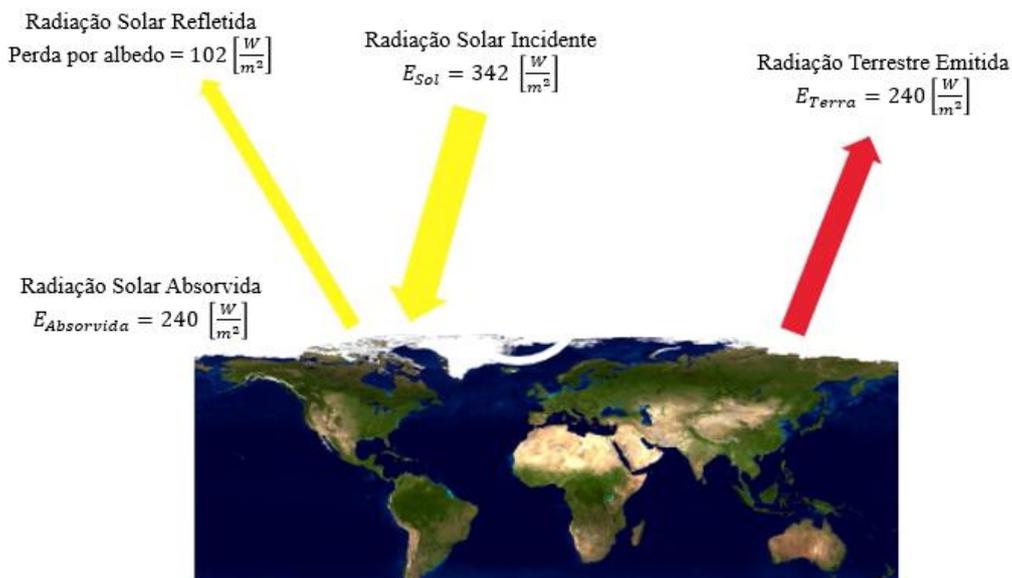
**Tabela 7.** A composição atmosférica dos planetas.

|                            | Mercúrio  | Vênus   | Terra  | Marte  |
|----------------------------|---|---|--|--|
| Pressão atmosférica (u.p.) | $0,005 \times 10^{-12}$                                     | 92  | 1  | 0,0064   |
| Composição Atmosférica     | Hélio (42%)<br>Sódio (42%)<br>Oxigênio (15%)<br>Outros (1%) | $CO_2$ (96%)<br>Nitrogênio (3%)<br>Argônio (0,007%) | Nitrogênio (78,08%)<br>Oxigênio (20,95%)<br>Argônio (0,93%)<br>$CO_2$ (0,037%)<br>Ozônio (0,000006%) | $CO_2$ (95,32%)<br>Nitrogênio (2,7%)<br>Argônio (1,6%) |
| u.p.: Unidades de Pressão  |   |   |  |  |

Observando os valores de Pressão Atmosférica, vemos que Vênus tem uma atmosfera mais massiva que os demais planetas, seguido pela Terra. Isso implica que, embora Vênus não esteja tão próximo do Sol, sua atmosfera, somada à presença de determinados gases, absorve grande parte da radiação emitida pela superfície do planeta, produzindo uma espécie de cobertor que aumenta sua temperatura. Essas condições e suas consequências são o que conhecemos como Efeito Estufa.

## O Efeito Estufa na Terra...

O modelo elaborado para o Balanço Energético da Terra está expresso na Figura 9.



**Figura 9.** Modelo simplificado para o balanço energético do planeta Terra. *Introduction to Climate Science. Oregon: Oregon State University, 2020, versão do autor.*

Nele observamos a quantidade de energia solar incidente no planeta ( $342 \text{ W/m}^2$ ) e sua porcentagem refletida ( $102 \text{ W/m}^2$ ) devido ao albedo, totalizando uma quantidade de  $240 \text{ W/m}^2$  de energia a ser absorvida. Em contrapartida, a Terra deveria irradiar uma quantidade equivalente, para que sua temperatura fosse de  $-15^\circ\text{C}$  em média.

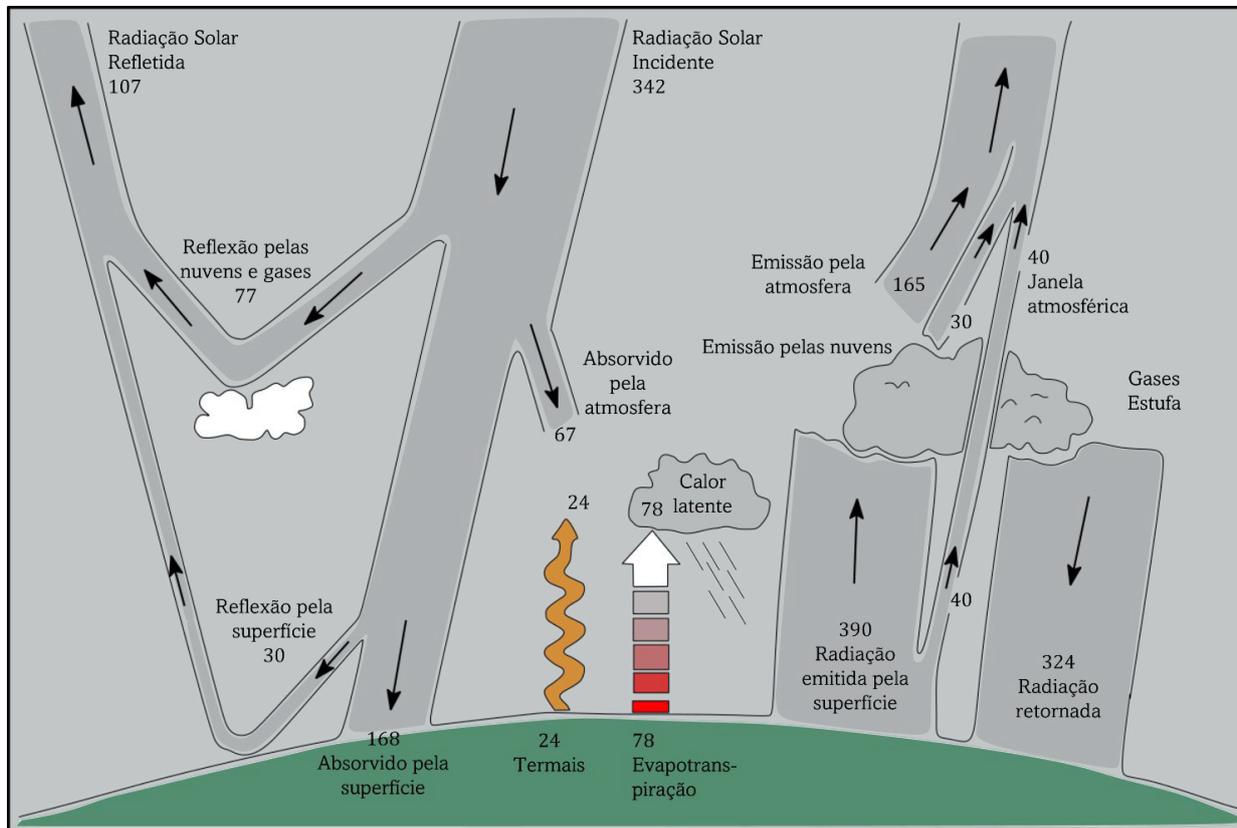
Contudo, como já discutido, o que experimentamos é bem diferente. Dessa forma devemos adaptar o Balanço Energético da Terra, para levar em conta os efeitos da atmosfera. Para isso, a Figura 10 nos mostra o Balanço Energético real para o planeta Terra.

O que vemos na realidade é que a atmosfera não apenas reflete parte da energia, mas também absorve. Portanto, o montante energético absorvido pela Terra está indicado na Tabela 7.

**Tabela 7.** A composição atmosférica dos planetas.

|   |                     |
|---|---------------------|
| Energia Solar Total chegando no planeta | $342 \text{ W/m}^2$ |
| Absorção na entrada da atmosfera        | $-67 \text{ W/m}^2$ |

|  |                        |             |
|--|------------------------|-------------|
| <b>Albedo</b>  | Reflexão na atmosfera  | $-77 W/m^2$ |
|  | Reflexão na superfície | $-30 W/m^2$ |
| <b>Saldo de energia Solar absorvida pelo planeta</b> |                        | $168 W/m^2$ |



**Figura 10.** Modelo do balanço de energia real. (Imagem produzida pelo autor)

Ao observarmos para energia emitida pelo planeta, temos o montante energético da Tabela 8.

**Tabela 8.** Montante energético da Terra.

|  |           |                                |
|--|-----------|--------------------------------|
| <b>Energia emitida pela superfície</b>             |           | <b><math>390 W/m^2</math></b>  |
| <b>Absorção na saída da atmosfera</b>              |           | <b><math>-350 W/m^2</math></b> |
| <b>Emissões</b>                                    | Atmosfera | $165 W/m^2$                    |
|  | Nuvens    | $30 W/m^2$                     |
| <b>Saldo de energia Solar emitida pelo planeta</b> |           | <b><math>235 W/m^2</math></b>  |

Vamos analisar um pouco as informações presentes na Tabela 8. Uma grande parcela da energia emitida pela Terra é absorvida pela atmosfera em seu caminho de saída ao espaço; a pequena

quantidade de  $40 \text{ W/m}^2$  é chamada de janela atmosférica. Além da superfície do planeta, as nuvens e a própria atmosfera reemitem energia, porém o que mais nos chama atenção é a grande quantidade de energia reemitida para baixo, ocasionada pelo que chamamos de Gases de Efeito Estufa, que é quase o dobro da energia absorvida do Sol.

Devido à presença desses gases, o cálculo da temperatura média da Terra necessita de uma ligeira correção, onde adicionaremos um fator associado a intensidade de energia que esses gases são capazes de reemitir na direção da superfície do planeta.

Assim, escrevemos:

$$\begin{aligned} \text{Energia emitida pela Terra} &= \text{Radiação emitida} \times \text{Efeito Estufa} \\ &= \sigma \times T^4 \times (1 - G) \end{aligned}$$

O fator  $(1 - G)$  é a correção que necessitamos implementar na nossa equação, onde  $G$  representa a intensidade do efeito estufa. Para a Terra estima-se  $G = 0,4$ , e ele depende diretamente da composição da atmosfera. Por fim, o novo valor de temperatura considerando o fator de correção do Efeito Estufa é de:

$$T = (289 \text{ K}) \text{ ou } (16^\circ \text{C})$$

Esse valor de temperatura é bem próximo da média de nosso planeta. É importante ressaltar que o valor de  $G$  está contido entre 0 e 1, onde 0 representa ausência de Efeito Estufa, e 1 representa a intensidade máxima do efeito.

## Gases de Efeito Estufa

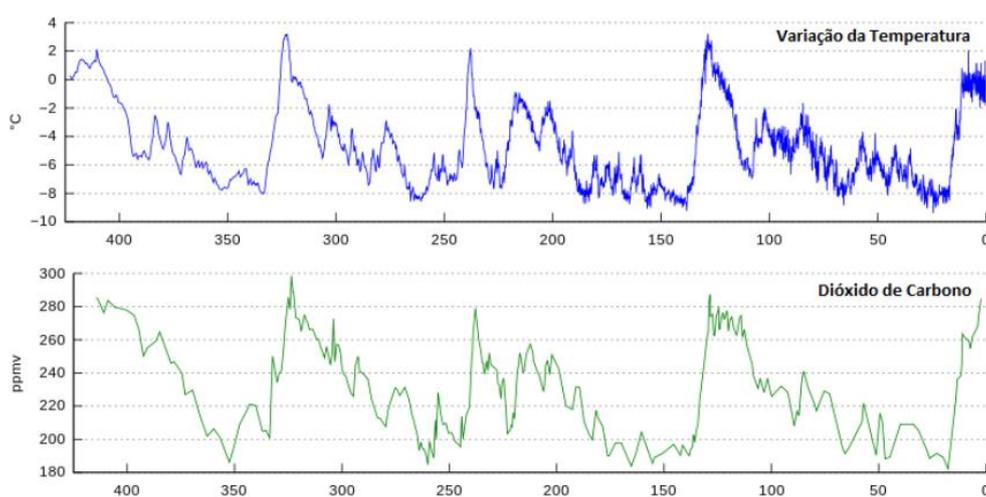
Os principais gases responsáveis pelo Efeito Estufa, e que estão presentes na atmosfera da Terra, são:

- Vapor de água ( $H_2O$ );
- Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )
- Metano ( $CH_4$ )
- Óxido Nitroso ( $N_2O$ )
- Ozônio ( $O_3$ )

Tais gases tem a propriedade de serem ativos radioativamente à energia emitida pela Terra. Ou seja, eles absorvem a energia vinda da superfície, e a reemitem de volta em todas as direções.

Mas não se engane, o Efeito Estufa não é maléfico para o planeta! Ele é um importante fenômeno natural cuja finalidade é manter o planeta aquecido, evitando a perda de energia para o espaço. A discussão relevante é a intensificação desse efeito. E como ela é possível? Alterando a composição atmosférica, ou seja, emitindo mais gases de efeito estufa. Vamos ilustrar essa discussão utilizando como exemplo o dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

O  $CO_2$  contribui em aproximadamente 20% no Efeito Estufa, além de ser um gás não condensável, ou seja, possui a capacidade de se estabelecer por muitos anos na atmosfera. Medições feitas em cilindros de gelo extraídos da Antártica e Groelândia mostram que o  $CO_2$  está diretamente ligado com as eras glaciais na qual o planeta passou, como mostra a Figura 11.



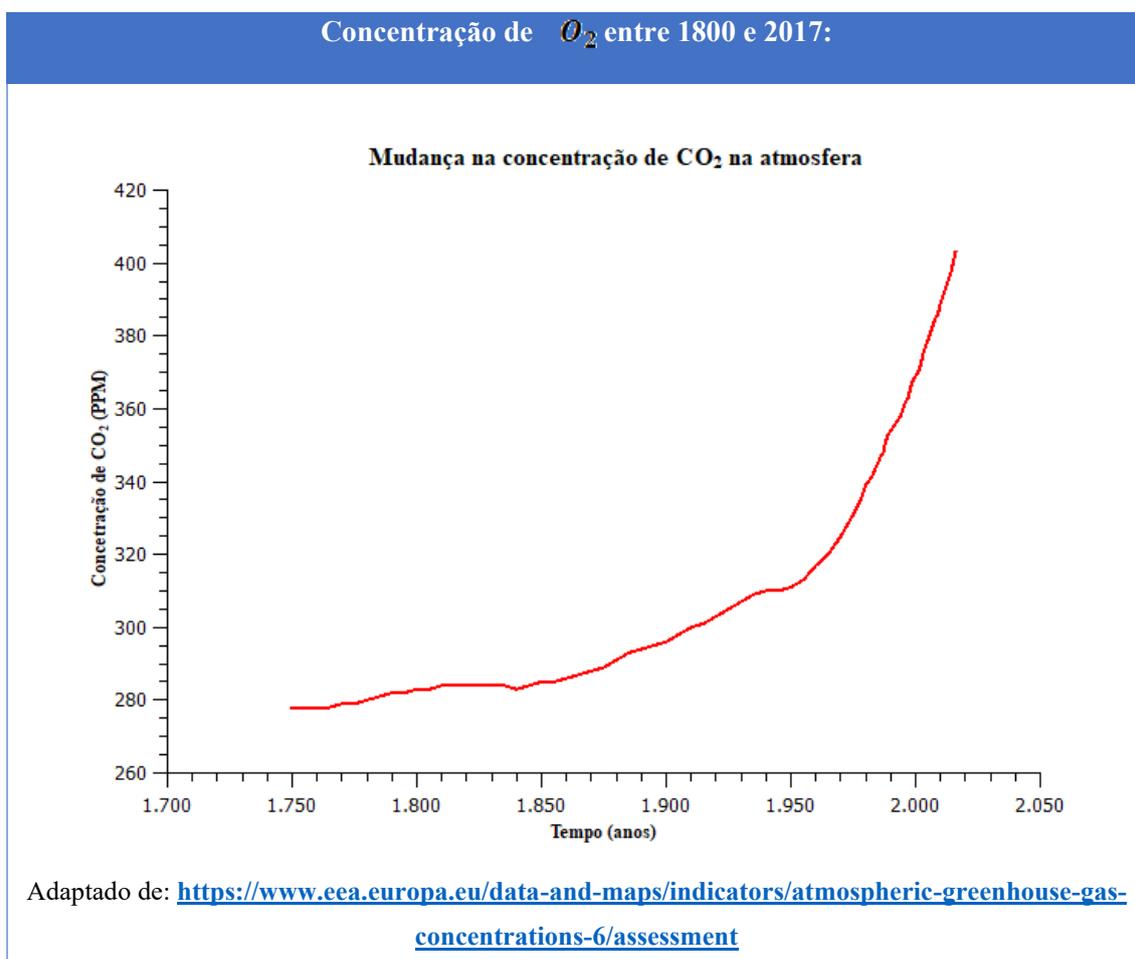
**Figura 11.** Relação entre a variação de temperatura da Terra em comparação a quantidade de dióxido de carbono ao longo dos anos. (Adaptado de [File:Vostok Petit data.svg - Wikimedia Commons](#))

Como observado acima, uma maior concentração de  $CO_2$  implica num aumento da temperatura, assim como sua diminuição implica numa menor temperatura. É interessante perceber que durante o período expresso no gráfico a concentração de  $CO_2$  na atmosfera não ultrapassou 300 ppm (partes por milhão), porém medições do observatório da NASA mostram que a concentração de  $CO_2$  é de pouco mais de 410 ppm, que são os maiores em 650.000 anos.

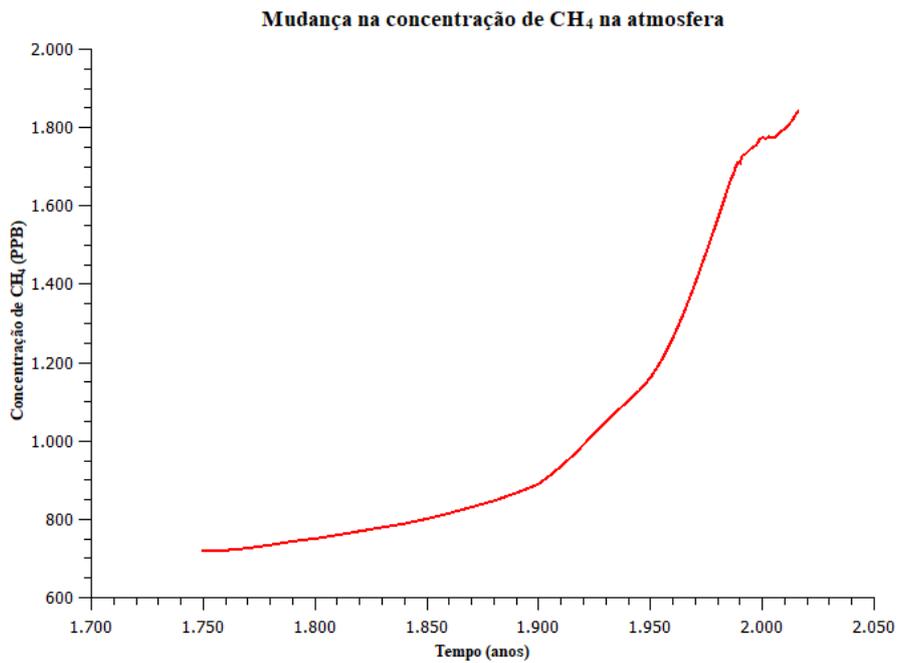
Diferentemente do dióxido de carbono, o vapor de água é um gás responsável por quase 50% do efeito estufa, e é condensável, ou seja, sua quantidade na atmosfera por ser regulada. Toda quantidade excedente de vapor de água lançada na atmosfera pode levar à formação de nuvens e chuva. Isso indica que exceder a concentração de  $H_2O$  não é suficiente para elevar a temperatura do planeta, diferentemente dos outros gases de efeito estufa. O papel do vapor de água no Efeito Estufa é o seu mecanismo de retroalimentação, ou seja, amplificação do fenômeno.

Mas o que isso quer dizer? Por exemplo, um ligeiro aumento de temperatura, causado pelo aumento de  $CO_2$ , faz com que a atmosfera comporte mais vapor de água. Este por seu mecanismo intensifica ainda mais temperatura.

A partir da Revolução Industrial, é observada uma mudança significativa na composição da atmosfera, em especial na concentração de gases de efeito estufa. Nas Figuras 12, vamos observar a mudança na concentração de  $CO_2$  em partes por milhão (*ppm*), e  $CH_4$  e  $N_2O$  ambos em partes por bilhão (*ppb*).

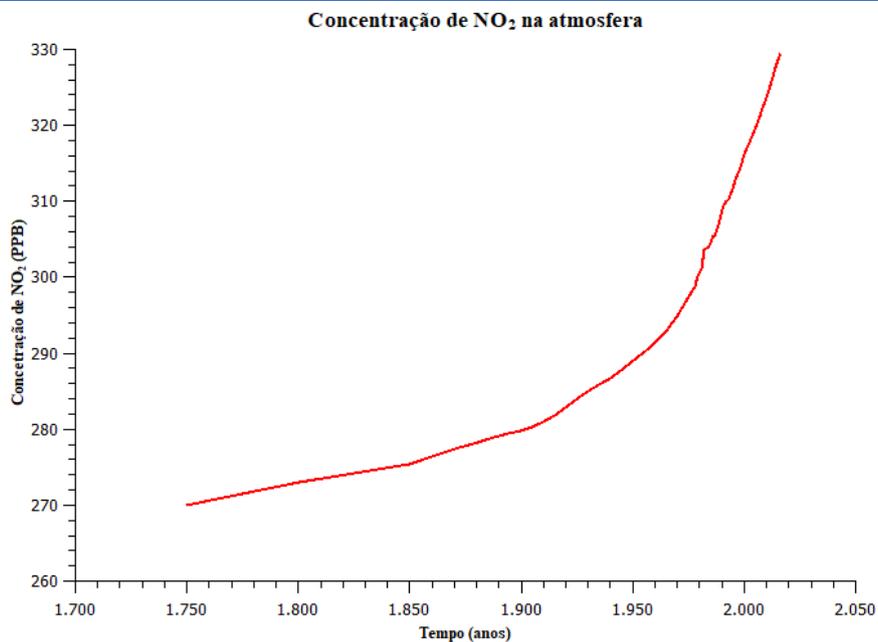


### Concentração de $H_4$ entre 1800 e 2017:



Adaptado de: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-6/assessment>

### Concentração de $N_2O$ entre 1800 e 2017:



Adaptado de: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-6/assessment>

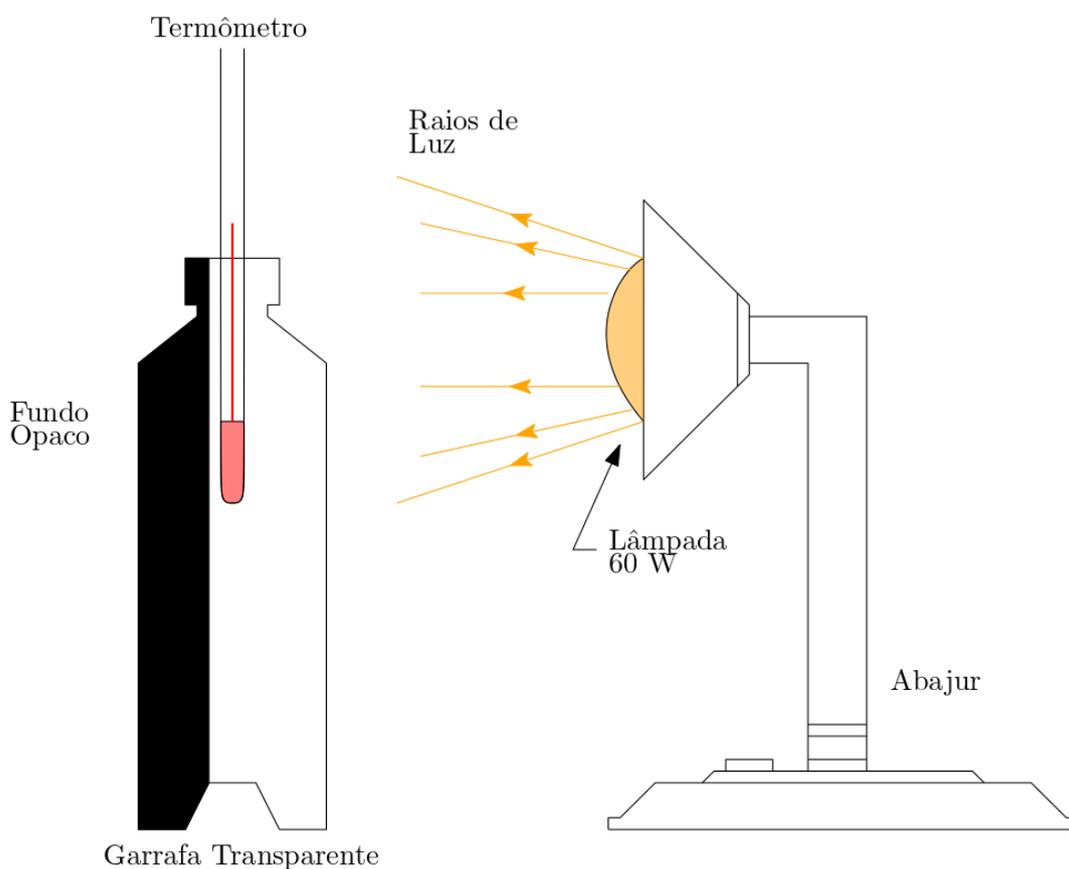
**Figura 12.** Mudança na concentração de  $CO_2$  em partes por milhão (ppm), e  $CH_4$  e  $N_2O$  ambos em partes por bilhão (ppb). As fontes são indicadas.

## Problemas para Resolução em Equipes

Aqui são descritos os problemas desenvolvidos para a aula de resolução de problemas em equipe.

Foi idealizado um experimento caseiro com o objetivo de estudar a influência que a presença de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), tem na temperatura de um ambiente. O ambiente em questão é o interior de uma garrafa *pet* transparente de 600mL onde, em sua tampa, foi fixado um termômetro graduado de zero (0) à cem (100) graus celsius. Uma lâmpada de 60 watts de potência, atarraxada no soquete de um abajur, foi colocada a 10cm da garrafa para servir como fonte de luz e calor. O fundo da garrafa foi coberto por uma camada de tinta preta.

O esquema final do experimento está representado na Figura 13 a seguir.

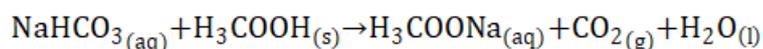


**Figura 13.** Esquema do experimento.

Para visualizar os efeitos do dióxido de carbono, propomos um teste comparativo entre a temperatura do ar no interior da garrafa antes e depois de ser inserido o gás, durante um intervalo de tempo igual a 5 minutos após a lâmpada ser ligada.

Dois vídeos foram feitos demonstrando o comportamento da temperatura no interior da garrafa com e sem a presença do dióxido de carbono, que podem ser encontrados no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), na página da turma de vocês<sup>2</sup>.

O dióxido de carbono foi produzido pela mistura de 25mL vinagre ( $\text{H}_3\text{COOH}$ ), o ácido acético diluído, e 5g de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), colocados no interior da garrafa. Ao entrarem em contato, ocorre a formação dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), além de acetato de sódio em solução e água, como descrito na reação a seguir:



Sabendo dessas informações, analisando os vídeos e, utilizando todas as discussões feitas em aula, pensem e discutam sobre os problemas a seguir, anotando ao final suas ideias.

---

<sup>2</sup> O vídeo pode ser visualizado em [https://www.if.ufrj.br/~marta/videos/50mLAcidoAcetico\\_EvolucaoTemperatura\\_2023.mp4](https://www.if.ufrj.br/~marta/videos/50mLAcidoAcetico_EvolucaoTemperatura_2023.mp4)

Problema 1 – O que acontece com a temperatura?

Vocês devem encontrar uma explicação do porquê o comportamento da temperatura no interior da garrafa ser diferente após a inserção de  $CO_2$ .

No **Cartão de Recurso: *Mudança de Temperatura ao longo do tempo***, vocês encontrarão as informações sobre os dados coletados através dos vídeos.

Utilizem os conceitos que aprendemos durante as aulas, como os que estão listados a seguir:

| Energia Absorvida      | Calor           | Albedo      | Radiação   |
|------------------------|-----------------|-------------|------------|
| Gases de Efeito Estufa | Energia Emitida | Temperatura | Equilíbrio |
| Atmosfera              |                 |             |            |

**O que foi feito...**

No espaço a seguir, relatem as conclusões que a equipe teve para solucionar o Problema 1. Esta página deve ser entregue para o professor ao fim da aula.

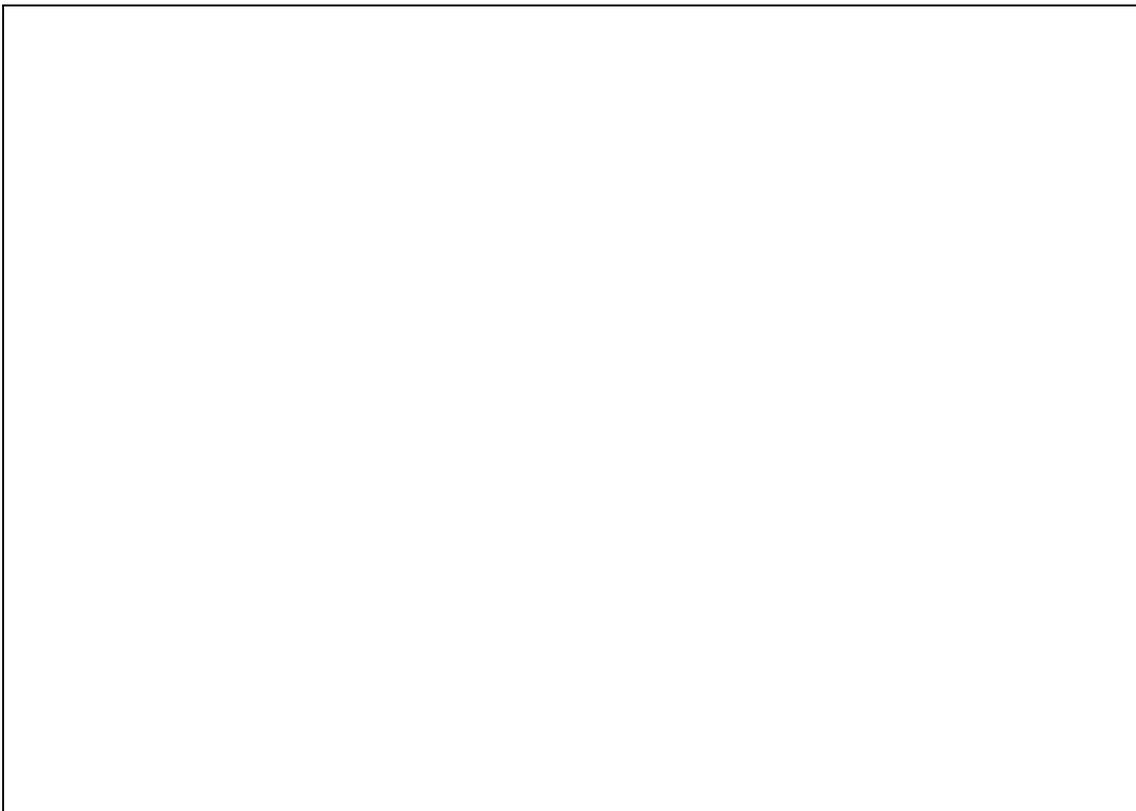
Problema 2 – O Balanço de Energia

Agora como deve ser o balanço energético desse experimento? No espaço a seguir, façam um desenho que representaria o comportamento da energia envolvida entre a lâmpada, a garrafa e o  $CO_2$ .

Use o **Cartão de Recurso: *Balanço de Energia da Terra***, e o **Cartão de Recurso: *Esquema do Experimento***, para ajudar nas suas ideias.

**O que foi feito...**

No espaço a seguir, façam o desenho que solucionaria o Problema 2. Esta página deve ser entregue para o professor ao fim da aula.



## **Cartões de Recurso**

## Cartão de Recurso

### Mudança de temperatura ao longo do tempo

#### Comportamento da Temperatura - Sem a presença de $CO_2$

|                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura (graus celsius) | 23,5 | 25,0 | 26,0 | 27,0 | 28,0 | 29,5 | 30,0 | 30,5 | 30,5 | 31,0 | 31,0 | 31,0 |
| Tempo (segundos)            | 0    | 30   | 60   | 90   | 120  | 150  | 180  | 210  | 210  | 240  | 270  | 300  |

#### Comportamento da Temperatura - Com a presença de $CO_2$

|                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura (graus celsius) | 24,0 | 24,9 | 26,5 | 28,5 | 29,0 | 30,0 | 30,5 | 30,5 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 32,0 | 32,0 |
| Tempo (segundos)            | 0    | 30   | 60   | 90   | 120  | 150  | 180  | 210  | 210  | 240  | 270  | 300  | 300  |

# Cartão de Recurso

## Balanco de energia da Terra

O **balanco de energia** da Terra ilustra as quantidades de energia que **entram** no nosso planeta, sendo absorvidas pela superfície ou não, e as quantidades de energia que são **emitidas** pelo planeta.

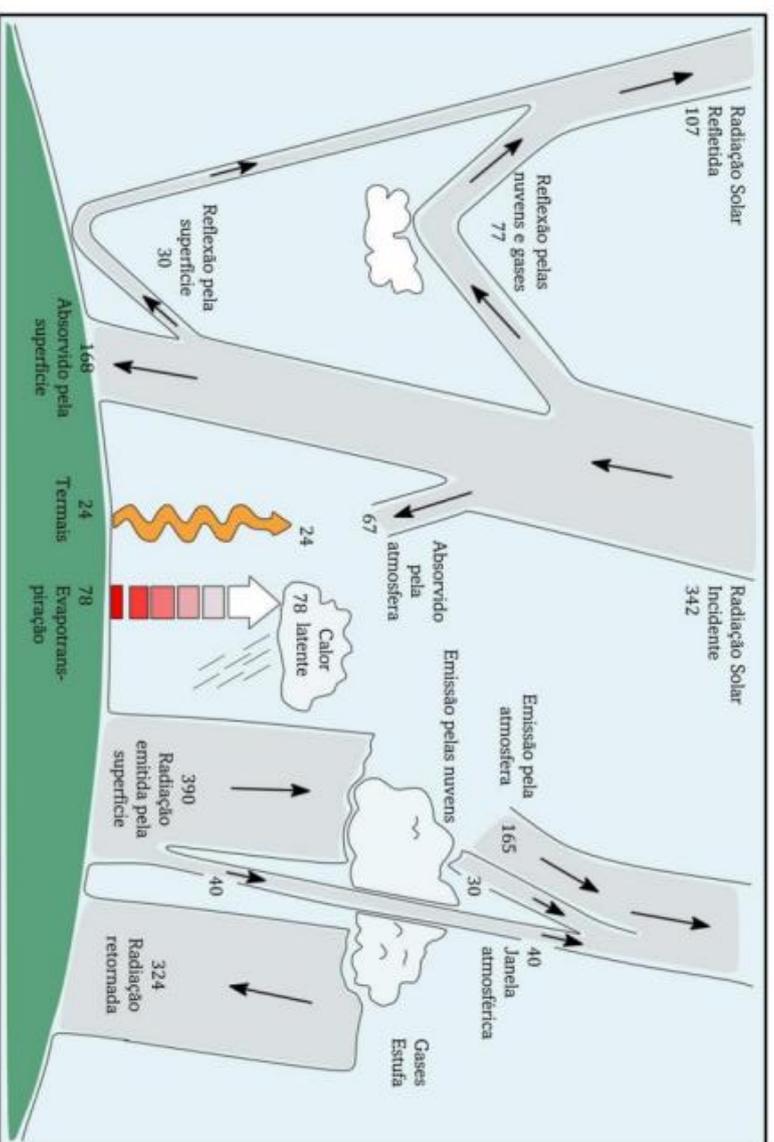
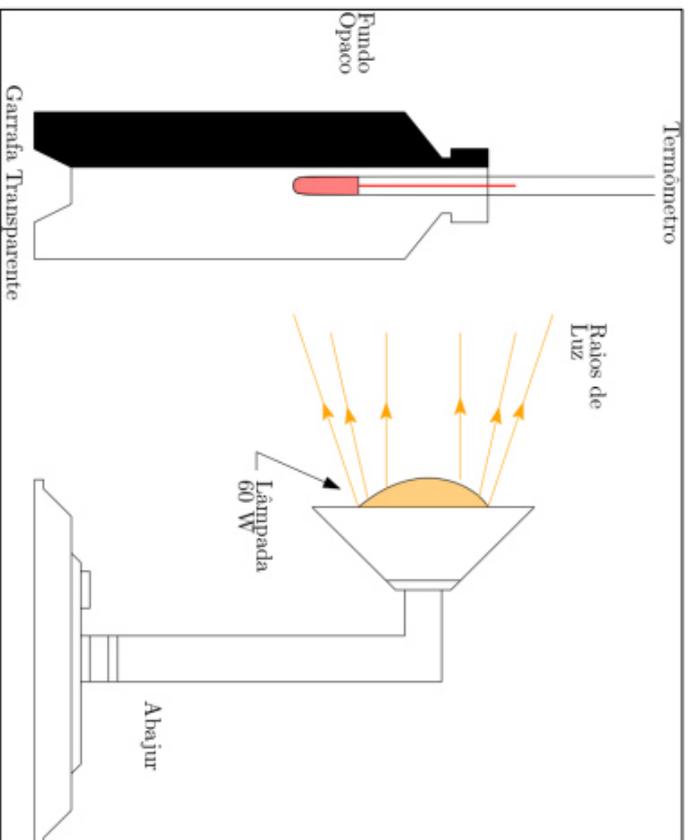


Imagem produzida pelo autor.

# Cartão de Recurso

## Esquema do experimento

Sem a presença de dióxido de carbono ( $CO_2$ )



Com a presença de dióxido de carbono ( $CO_2$ )

