



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

**A Física envolvida no fenômeno do efeito estufa -  
uma abordagem CTS para o Ensino Médio**  
(material do professor)

Leandro Nascimento Rubino

&

Deise M. Vianna

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Leandro Nascimento Rubino, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro  
2010

## **Material do professor**

A Física envolvida no fenômeno do efeito estufa –  
uma abordagem CTS para o Ensino Médio

## **Orientações para o professor**

Este material descreve uma proposta metodológica traduzida na forma de sequência didática que objetiva auxiliar o trabalho do professor em sala de aula. Cada professor deve adaptar as atividades propostas a sua realidade de trabalho. Desta forma, entendemos que esta proposta não precisa ser utilizado como um roteiro hermético e sim de forma maleável, mas sempre visando a estrutura proposta do ensino com enfoque CTS e atividades investigativas.

Assim foram desenvolvidos os tópicos do ensino de Física envolvidos no estudo do efeito estufa, que são os conceitos de emissão, reflexão, absorção de energia radiante e o fenômeno da ressonância. Além disso, propormos possíveis diálogos entre professor e aluno, de forma a encaminhar o desenvolvimento das atividades.

É importante que o professor esteja atento às palavras ou termos técnicos que aparecem nos textos que podem gerar dúvidas nos alunos. Assim, ele estará colaborando para o desenvolvimento da leitura dos estudantes. Recomenda-se que os textos sejam sempre discutidos com os estudantes.

A título de ilustração, estão disponíveis nos boxes algumas hipóteses, ideias, que eventualmente possam ser externadas pelos estudantes ao longo das atividades. Foram marcados com \* as hipóteses fisicamente corretas e consideradas mais completas.

Este material foi produzido considerando-se que os estudantes estão familiarizados com os conceitos de calor, temperatura, condução e convecção de calor.

Além das orientações contidas neste texto, estão disponíveis alguns textos (textos para leitura e discussão) que são necessários para a consecução das atividades aqui presentes.

## **Unidade 1: Refletindo sobre o aquecimento global**

Esta primeira unidade tem como principal objetivo a contextualização e problematização do tema a ser abordado. Não se espera que ao final das atividades aqui sugeridas, os estudantes já tenham desenvolvido os conhecimentos técnico-científicos minimamente necessários para argumentar com desenvoltura sobre o assunto. Nesta etapa, as perguntas formuladas e toda a argumentação será, majoritariamente, baseada em ideias do senso comum trazidas pelos estudantes e/ou subsidiadas pelos textos que possuem caráter meramente informativo.

Propomos iniciar procurando refletir sobre um problema social de ordem global: o aquecimento global. Para isso, a turma deverá se organizar em grupos de cinco alunos, que irão trabalhar de forma colaborativa, ao longo das atividades aqui propostas.

**1.1 – O professor lançará o seguinte problema:** O que vocês sabem sobre o aquecimento global?

**1.1.2 - Objetivos:** Problematizar a questão do aquecimento global, mostrando a importância do conhecimento científico para a compreensão de problemas da sociedade.

Ao responder, os alunos poderão formular algumas possíveis hipóteses:

- É o aquecimento da Terra causado pelo aumento do efeito estufa.\*
- É o aquecimento da Terra.
- É o aquecimento da Terra causado pela poluição.
- Outras hipóteses.

**1.1.3 – Etapas para a solução do problema:**

A partir das respostas dadas pelos grupos, o professor deve discutir brevemente o conteúdo dessas respostas, de modo a chegar a uma melhor definição. O professor não deve se preocupar, nesse momento, com que os alunos tenham a resposta completa para o problema, uma vez que a solução para essa atividade ocorrerá nas próximas etapas da unidade 1.

**1.2 - Jogo interativo:** O jogo, por ser uma atividade lúdica, facilita a introdução e a discussão do problema com os alunos. Estes, por sua vez, são capazes de construir o conhecimento de forma mais prazerosa. Esta atividade está associada à leitura dos textos 1 e 2 e descrita na unidade 1 do material do aluno.

**1.2.1 - Objetivos do jogo:** Aprimorar nos alunos as habilidades da argumentação, leitura e de interpretação de textos.

Algumas possíveis perguntas elaboradas pelos alunos a partir dos textos 1 e 2 do material do aluno:

- Vendo que o aquecimento global causa sobre a África efeitos como a crise agrícola, fome e guerras, diga que efeitos o aquecimento global pode causar ao Japão que é uma ilha.
- Cite três consequências do aquecimento global para o planeta e justifique-as.
- Cite duas consequências do derretimento das geleiras no campo socioeconômico.
- Relacione a redução de emissão de gases estufa e a crise econômica.
- Qual a relação das guerras civis na África com o aquecimento global?

1.2.2 – Seria recomendável que, na etapa final desta unidade, o professor realizasse um fechamento a título de esclarecimento sobre os conceitos de aquecimento global e efeito estufa antropogênico:

Aquecimento global: É um aumento significativo da temperatura média da Terra em período relativamente curto, em razão da atividade humana.

Efeito estufa antropogênico:

Aquecimento adicional da Terra, causado pela queima de combustíveis fósseis, desflorestamento, e outras atividades humanas.

## Unidade 2: Radiação térmica

Esta unidade pretende dar continuidade às discussões iniciadas na unidade anterior em direção à construção de conceitos que subsidiem argumentações mais consistentes do ponto de vista científico. Aqui introduziremos o fenômeno da radiação térmica, através da leitura do texto 3 - Como consertar o clima (adaptado de STIX, G.; Scientific American Brasil, , p. 26-29, janeiro 2006), utilização de questões abertas e apresentação de vídeos retirados da internet.

**2.1 – Problema:** Na unidade anterior, iniciamos o estudo do aquecimento global e do efeito estufa. Podemos afirmar que o efeito estufa é um fenômeno maléfico para o planeta Terra? E se não houvesse o efeito estufa, como seria a vida na Terra?

**2.1.2 - Objetivos:** Mostrar a importância do efeito estufa para o planeta; mostrar que o conceito de radiação térmica é importante para compreendê-lo , além de possibilitar o entendimento de outros fenômenos relacionados ao cotidiano.

2.2 - A partir da leitura do texto 3 (ver material do aluno) – Como consertar o clima – cada grupo deverá se posicionar em relação ao problema 2.1.

2.2.1 – Após a leitura e debate sobre o do texto pelos alunos, o professor deve definir o conceito de efeito estufa natural.

### Efeito estufa natural:

Retenção natural de energia térmica na atmosfera terrestre pelos gases do efeito estufa (principalmente o vapor d'água e o CO<sub>2</sub>).

2.3 - Questão aberta: O que acontecerá com a temperatura da sala de aula se eu desligar o ar condicionado e mantiver a porta e as janelas fechadas?

### **Possível diálogo entre professor e alunos:**

Aluno: A temperatura irá aumentar.

Professor: Por que?

Aluno: Por que a sala está fechada e o ar condicionado está desligado.

Professor: Mas se fizermos a hipótese de que vocês, aqui no interior da sala, estão termicamente isolados do meio externo, ou seja, que a transferência de calor do meio externo para o meio interno se dá de forma muito lenta, a temperatura ainda irá aumentar?

Aluno: Ainda sim vai esquentar. O nosso próprio corpo emite calor.

Professor: É isso! Todos os corpos, acima do 0K, emitem calor.

2.4 – Questão aberta: O texto 3 afirma que a Terra recebe energia do Sol e que os gases-estufa são responsáveis por manter a temperatura da Terra confortável para a vida dos seus habitantes. De que forma a energia do Sol chega à Terra? Podemos relacionar esse fenômeno com a solução da questão 2.3 ? Os processos de transferência do calor da condução e da convecção, já estudados, dão conta de explicar esse fenômeno? Explique.

2.4.1 - O professor deve definir o conceito de radiação térmica para os alunos, mostrando a diferença deste para os outros dois tipos de propagação do calor, que são a condução e a convecção, que já deverão ter sido estudados anteriormente.

### **2.5 - Apresentação dos vídeos abaixo retirados do You Tube sobre infravermelho:**

- Infrared man whole body ([http://www.youtube.com/watch?v=\\_WP2XwBhmAk](http://www.youtube.com/watch?v=_WP2XwBhmAk))
- Night vision: câmera de visão noturna ([http://www.youtube.com/watch?v=MO4-wa\\_e1Wg](http://www.youtube.com/watch?v=MO4-wa_e1Wg)).

**2.5.1 - Objetivos:** Mostrar que corpos com temperatura acima do zero absoluto emitem radiação.

**2.5.2 – Questão sobre o vídeo:** Como é possível observar o calor emitido pelos corpos? Por que não enxergamos essa radiação térmica?

2.5.3 – O professor deve apresentar o espectro eletromagnético para os alunos, utilizando o texto complementar 3: O efeito estufa (Texto adaptado de HEWITT, P.; Física Conceitual, 2002), para definir os conceitos de comprimento de onda e de frequência.

## **Unidade 3: Os processos de emissão e absorção de calor pelos corpos**

Nesta unidade utilizaremos a Lei de Stefan-Boltzmann para calcular a temperatura média terrestre na ausência do efeito estufa. Além disso, discutiremos, através de uma atividade investigativa, uma aplicação da radiação térmica: a garrafa térmica. O professor deve levar para a sala de aula uma garrafa térmica simples, que possa ser desmontada para a visualização de seus elementos pelos alunos.

### **3.1 - Aplicação da Lei de Stefan-Boltzmann**

**3.1.1 - Objetivos:** Mostrar aos alunos que a temperatura da superfície terrestre seria muito baixa caso não houvesse o efeito estufa, e que, por conta disso, a vida na Terra não seria possível.

**3.1.2 – Questões:** De que parâmetros depende a radiação térmica emitida pelos corpos? É possível estabelecermos uma relação matemática entre a radiação emitida pelo corpo e sua temperatura? Como determinar a temperatura superficial da Terra na ausência do efeito estufa?

Podemos fazer uma estimativa da temperatura da Terra caso não houvesse o efeito estufa, utilizando a Lei de Stefan-Boltzmann, que relaciona a radiação emitida por um corpo com a sua temperatura.

A radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura é chamada radiação térmica. Esta e qualquer outra radiação pode ser organizada na forma de um espectro eletromagnético – um catálogo de radiações de diversos comprimentos de onda (figura 10 do material do aluno). Em geral, a forma detalhada do espectro emitido depende da composição do corpo emissor. Mas existem corpos conhecidos como corpos negros ideais que emitem um espectro de caráter universal.

O corpo negro absorve toda radiação que nele incide, isto é, sua absorvidade é igual a 1 ( $a = 1$ ) e sua refletividade é nula ( $r = 0$ ), decorrendo deste último fato seu nome (negro). Todo absorvente é bom emissor. Logo, o corpo negro, além de absorvedor ideal, é também um emissor ideal. Sua emissividade é igual a 1 ( $e = 1$ ). Um

corpo negro, independentemente do material com que é confeccionado, emite radiações térmicas com a mesma intensidade, a uma dada temperatura e para cada comprimento de onda. A expressão matemática que traduz a dependência entre a quantidade de radiação emitida ( $R_e$ ) e a temperatura do corpo negro ( $T$ ) é conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R_e = A \cdot \sigma \cdot T^4$$

Onde  $R_e$  = radiação energética total emitida,  $A$  = área corpo e  $\sigma = 5,68 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  (constante de Stefan – Boltzmann).

Podemos tratar o problema do aquecimento da Terra utilizando o modelo de Stefan-Boltzmann com algumas aproximações, já que a Terra não é um corpo perfeitamente negro.

No equilíbrio térmico, a potência irradiada ou emitida por um objeto é igual à potência que ele absorve, na forma de radiação, dos objetos vizinhos.

Radiação total emitida pelo Sol:

$$R_{\text{Sol}} = A_{\text{Sol}} \cdot \sigma \cdot T_{\text{Sol}}^4, \text{ onde } A_{\text{Sol}} = 4 \cdot \pi \cdot R_S^2 \text{ (} R_S \text{ = raio do Sol).}$$

Radiação total absorvida pela Terra:

$$R_{\text{abs. Terra}} = R_{\text{Sol}} \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot D^2) \cdot A_{\text{Terra}} \cdot 0,85, \text{ onde } A_{\text{Terra}} \text{ (disco)} = \pi \cdot R_T^2 \text{ (} R_T \text{ = raio da Terra), } D \text{ = distância do Sol a Terra e } 0,85 \text{ (85\%)} \text{ é o percentual aproximado da radiação que incide na superfície da Terra.}$$

Radiação total emitida pela Terra:

$$R_{\text{emit. Terra}} = A_{\text{Terra}} \cdot \sigma \cdot T_{\text{Terra}}^4, \text{ onde } A_{\text{Terra}} \text{ (esfera)} = 4 \cdot \pi \cdot R_T^2 \text{ (} R_T \text{ = raio da Terra).}$$

No equilíbrio térmico,  $R_{\text{emit. Terra}} = R_{\text{abs. Terra}}$

$$T_{\text{Terra}} = (1/2) \cdot T_{\text{Sol}} \cdot (2 \cdot R_{\text{Sol}} / D)^{1/2}$$

$$T_{\text{Terra}} \sim 253 \text{ K} \sim -20^\circ \text{ C}$$

Portanto, caso não houvesse o efeito estufa, a temperatura média global da Terra seria da ordem de  $-20^{\circ}\text{C}$ . Estima-se que o efeito estufa que ocorre naturalmente é responsável pelo aquecimento da Terra em cerca de aproximadamente  $33^{\circ}\text{C}$ .

A matematização do conteúdo, nessa etapa, é importante para que os alunos percebam o papel do efeito estufa para o clima do nosso planeta. Não há como discutir o fenômeno do aquecimento global, sem uma base sólida científica.

### 3.2 – Compreendendo o funcionamento de uma garrafa térmica

3.2.1 - Objetivos: Retomar os conceitos de condução e convecção térmica, juntamente com o conceito de radiação térmica. Com um equipamento simples, podemos estudar simultaneamente os três fenômenos de condução de calor.

3.2.2 – Atividade investigativa: O professor deve utilizar a garrafa térmica e propor um desafio aos estudantes baseado no seguinte problema: Explique o funcionamento da garrafa térmica.

#### **Possível diálogo entre professor e alunos:**

Aluno: Ela serve para manter o café quente por um longo tempo.

Professor: Vamos olhar essa garrafa térmica aqui. Observem e descrevam a garrafa.

Aluno: Ela é de plástico por fora; Possui uma tampa de vedação; É de vidro por dentro e o vidro é espelhado por dentro e por fora.

Professor: Mas por que o vidro é espelhado?

Aluno: Como nós vimos nos vídeos, os corpos emitem radiação. O café emite radiação e esta é refletida no espelho da garrafa. Assim, o calor fica armazenado na garrafa, mantendo o café quente por mais tempo.

Professor: E se eu colocar água gelada dentro da garrafa térmica. Ela vai continuar gelada por mais tempo?

Aluno: Ela funciona tanto para manter o corpo quente, quanto para manter o corpo frio.

Professor: Isso mesmo! A função da garrafa térmica é de isolar termicamente o material (água, café, etc) do seu interior do meio exterior.

### 3.2.3 – Os conceitos físicos envolvidos no estudo da garrafa térmica

Uma garrafa térmica consiste em um recipiente de vidro com paredes duplas onde existe vácuo entre elas. (Normalmente existe também uma cobertura externa). As superfícies de vidro que ficam de frente uma para a outra são espelhadas. Uma tampa bem justa, feita de cortiça ou plástico, sela a garrafa. Qualquer líquido que esteja numa garrafa a vácuo – quente ou frio – permanecerá próximo de sua temperatura original por muitas horas.



Figura 14: Retirada do site <http://fisicacampusarangua.blogspot.com/>

A transferência de calor por condução é impossível através do vácuo. Parte do calor ainda poderia escapar por condução através do vidro e da tampa, mas esse é um processo muito lento, pois o vidro e o plástico, ou a cortiça, são maus condutores térmicos. O vácuo também impede a perda de calor por convecção através das paredes duplas. A perda de calor por radiação é reduzida pelo espelhamento das superfícies da parede dupla, que refletem as ondas de calor de volta para o interior da garrafa.

## **Unidade 4: Atividade experimental – A construção do coletor solar**

Nesta unidade exploraremos o fenômeno da radiação térmica através de uma atividade experimental. Os alunos irão construir um coletor solar; fazer a coleta de dados para responder a um questionário e preparar um relatório.

**4.1 - Objetivos:** aprimorar a habilidade de observação e de coleta de dados; fazer a correlação do experimento com o tema principal de estudo e aprender a fazer um relatório em um formato científico.

De posse do material relacionado a seguir, cada grupo deverá construir a sua versão de coletor solar. O professor deve dar as orientações básicas aos estudantes.

### **4.1.1 - Material necessário para a construção do coletor solar:**

- 2 caixas de papelão de mesmo tamanho (sem tampa);
- papel filme para tampar as caixas;
- tinta preta ou cartolina preta para cobrir o interior de uma das caixas;
- Tinta branca ou cartolina branca para cobrir o interior da outra caixa;
- dois termômetros para medir a temperatura do interior das caixas;
- duas folhas de papel milimetrado.

**4.1.2 – Relatório:** Os alunos deverão construir dois gráficos em papel milimetrado, que relacionam as variáveis Temperatura versus Tempo. Além disso, deverão responder as seguintes perguntas:

- 1) Em intervalos de tempos iguais, qual das caixas atinge maior temperatura?
- 2) Que papel você atribui à cor das caixas?
- 3) Em um dia de sol forte, o que é mais confortável: a utilização de roupas de cor clara ou escura? Justifique a sua resposta.
- 4) Qual é a função do papel filme no experimento?

### Exercícios de revisão:

1) Diferencie o funcionamento de uma estufa de plantas do efeito estufa ocorrido na atmosfera terrestre.

2) A figura abaixo mostra os índices de refletividade (albedos) de alguns materiais. A partir do experimento e das informações da figura, determine:

a) Qual a cor mais apropriada para a pintura externa de uma casa para que esta absorva o mínimo de calor possível. Justifique sua resposta.

b) A escolha da cor no item anterior pode ajudar a reduzir o aquecimento na sua cidade?



4.1.3 – O professor deve fazer a correção integral das questões do relatório e dos exercícios de revisão com os alunos, uma vez que os problemas propostos são importantes na compreensão das aplicações do fenômeno da radiação térmica no cotidiano. Além disso, é importante que o professor ressalte a diferença entre o fenômeno do efeito estufa terrestre e de uma estufa de plantas. A analogia feita em alguns livros didáticos entre os dois fenômenos não é correta.

4.1.4 – Atividade para casa: O professor deve recomendar a leitura dos textos da unidade 5 constantes do material do aluno para a próxima aula. Deve ser chamada a atenção dos estudantes sobre a importância da leitura dos textos para a execução das atividades da unidade seguinte.

## **Unidade 5: O fenômeno do efeito estufa – um processo de ressonância**

Nesta unidade serão estudados os conceitos de vibração forçada, de frequência natural e de ressonância. A ação do professor deverá estar apoiada nos textos disponíveis na unidade 5 do material do aluno, cuja leitura foi recomendada no final da unidade 4.

**5.1 - Objetivos:** Mostrar a importância dos conceitos de vibração forçada, de frequência natural e de ressonância para o entendimento do efeito estufa.

5.1.1 – O professor deve introduzir o tema de forma contextualizada, retomando conceitos que já foram discutidos previamente. Sugerimos que o professor aborde o papel que a atmosfera terrestre exerce na retenção da energia térmica, o que pode ser feito a partir da questão a seguir:

Questão: A atmosfera terrestre exerce um papel muito importante na retenção de energia térmica em nosso planeta. Contudo, somente alguns poucos gases são responsáveis por tal efeito. Descreva o processo de retenção dessa energia.

### **5.2 - Conceitos de vibrações forçadas, frequência natural e ressonância:**

Os conceitos supracitados estão apresentados no material do aluno (unidade 5) e deverão ser detalhadamente discutidos com os estudantes.

## **Unidade 6: Avaliação final**

A partir dos textos disponíveis nesse trabalho e de outras possíveis fontes de consulta, os alunos deverão participar de um júri simulado.

**6.1 - Objetivos:** Esta atividade tem como um de seus objetivos fazer com que os alunos desenvolvam e aprimorem a argumentação, uma vez que consideramos esta habilidade uma das mais importantes no estudo de Ciências. Buscamos também, fazer um fechamento das atividades, visto que, para a realização dessa etapa, os alunos precisarão ter tido um bom aproveitamento nas etapas anteriores.

### **6.1.2 - Júri simulado:**

A turma deverá ser dividida em dois grupos:

-Um grupo será responsável por argumentar a favor dos países que defendem a queda na emissão dos gases estufa, ou seja, países que buscam um desenvolvimento econômico sustentável.

- Um grupo será responsável por argumentar a favor dos países que defendem uma economia altamente industrializada, mesmo que, para isso, as emissões de gases estufa sejam elevadas.

**6.1.3 – Desenvolvimento da atividade:** Com a turma dividida em dois grandes grupos, os alunos, de posse dos textos de seu material para consulta, deverão utilizá-los para melhor fundamentar a sua argumentação. A organização das defesas de cada grupo será feita em casa e o professor deverá marcar uma data para o debate.

**6.1.4 –** Na aula debate, os processos argumentativos serão avaliados por um júri que poderá ser composto por outros professores de Física e de outras disciplinas, como Geografia, por exemplo. Será avaliado o poder de argumentação de cada grupo, baseado

nos conceitos estudados. O grupo que melhor defender seus argumentos será considerado o grupo vencedor.

**6.1.4 – Desenvolvimento do debate:** Cada grupo terá 10 minutos para expor as suas idéias. Após a argumentação dos dois grupos, cada grupo irá elaborar duas perguntas para o outro grupo. Estas perguntas devem ser elaboradas em 1 minuto e o grupo a responder terá 3 minutos para responder a cada pergunta.

**6.1.5 – Fechamento da atividade:** Cada aluno deverá redigir um texto que contenha um resumo das principais idéias discutidas no debate.

Os alunos serão avaliados ao longo de todas as etapas das atividades. O professor deve levar em conta tanto a participação quanto o comprometimento durante o desenvolvimento de todas as etapas. Além disso, deve estar atento aos conceitos físicos na argumentação dos estudantes, de forma que esses conceitos estejam corretamente apresentados e se há coerência no processo argumentativo.