DOI: 10.5007/2175-7941.2010v27n3p449

MUDANÇAS CLIMÁTICAS: REFLEXÕES PARA SUBSIDIAR ESTA DISCUSSÃO EM AULAS DE FÍSICA[+*]

Agenor Pina
Luciano Fernandes Silva
Instituto de Ciências Exatas – UNIFEI
Itajubá – MG
Zolacir Trindade de Oliveira Junior
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas – UESC
Ilhéus - BA

Resumo

Muitas questões relacionadas ao tema Mudanças Climáticas estão diariamente presentes em nossas vidas, sobretudo através dos meios de comunicação. Porém, diferente daquilo mostrado pela grande mídia, é importante salientar que muitas questões associadas a esse tema ainda estão em aberto, distanciando-nos muito de um consenso mínimo na comunidade científica sobre as origens, as causas e os efeitos das Mudanças Climáticas. A partir desse contexto, a Física, por sua própria condição de ciência básica, oferece conceitos e modelos para a adequada compreensão desse tema. Nesse sentido, considera-se que esse assunto pode ser especialmente útil aos professores de Física, justamente pela possibilidade de ser utilizado para ilustrar uma série de conceitos físicos básicos e/ou para motivar a construção de propostas educativas. No intuito de oferecer subsídios para o tratamento desse tema em aulas de Física no nível básico de ensino, este trabalho está orientado a partir de duas perspectivas: realizar breves considerações da Física básica envolvida nesse assunto e discutir algumas das incertezas e controvérsias científicas diretamente ligadas ao tema Mudanças Climáticas. De modo específico, faremos algumas

[+] Climate Changes: reflections to support this discussion in Physics classes

* *Recebido: março de 2010.*
Aceito: agosto de 2010.

considerações sobre o balanço energético do sistema Sol-Terra, o efeito estufa e a sua intensificação e a temperatura média da Terra.

Palavras-chave: *Temas Controversos; Ensino de Física; Mudanças Climáticas; Efeito Estufa.*

Abstract

Climate Change is a common issue in our everyday lives, due to media network information. Many questions about this theme are presented, discussed and divulged through the means of social communication. Despite this supposed common agreement, we have, on the contrary, to say that many of these questions are open subjects for the international scientific community, since scientists have not achieved a common basis to explain the origins, the causes and consequences of climate changes. Taking this into consideration, we claim that Physics, by means of a basic Science, offers theoretical concepts and a way of modeling nature to produce knowledge about this subject. Climate change is an important theme to test the theoretical basis of the discipline, at the same time it provides opportunity to teachers to motivate students to investigate the phenomenology of nature as well as they are able to elaborate new educational proposals. In order to provide some tools to teachers in approaching this subject in High School Physics classes, this paper offers two perspectives: to point out some physical considerations about this theme and to discuss a few uncertainties and controversies related to climate changes. In a specific way we will present some considerations about energy balance in the Sun-Earth system, the greenhouse effect and the concept of Earth's mean temperature.

Keywords: *Climate change; Physics teaching; controversial issues; Greenhouse Effect.*

I. Introdução

Dentre as principais críticas dirigidas ao ensino de ciências, destacamos aquelas que apontam para a ênfase na apresentação do empreendimento científico como sendo uma atividade essencialmente objetiva, neutra e que conduz às verdades universais e atemporais. O método científico é, frequentemente, considerado essencialmente experimental e baseado em observação rigorosa de regularidades de fenômenos que leva ao estabelecimento de generalizações.

Diante desse quadro, diversos pesquisadores (LEVINSON, 2008; REIS, 2004; SILVA; CARVALHO, 2007) apontam para a necessidade de renovação curricular. Dentre as proposições elaboradas por esses autores, destaca-se a abordagem de temas controversos que envolvem a ciência e a tecnologia em atividades educativas. A ideia básica é a de que o trabalho educativo com esses temas sirva para estimular o interesse dos estudantes na construção de conhecimentos científicos, na compreensão do papel da ciência e da tecnologia na sociedade e no desenvolvimento cognitivo, social, político, moral e ético, além de evidenciar a natureza humana da construção científica, isto é, de erros e acertos na busca daquilo que se diz ou se chama de científico.

Nesse sentido, Reis (2004) argumenta que a inclusão de temas controversos no currículo escolar pode significar a possibilidade de se apresentar aos estudantes uma ciência mais próxima do real, ou seja, um empreendimento essencialmente humano e, por isso mesmo, envolto em conflitos e controvérsias que não podem ser resolvidos simplesmente em uma base técnica, uma vez que envolvem valores, conveniências pessoais, pressões de grupos sociais e econômicos, aspectos de natureza ética e religiosa.

Essas controvérsias podem estar intimamente relacionadas com questões internas e restritas à comunidade científica; nesse caso, podemos denominá-las de *controvérsias científicas*. Para Reis (2009), isso se deve ao fato de que a instituição científica

> *(...) é consideravelmente competitiva e conflituosa. A história da ciência é marcada por controvérsias intelectuais e conflitos sociais entre grupos de cientistas. Cada um dos grupos tenta produzir argumentos que aumentam a credibilidade da sua própria teoria e diminuam a credibilidade da teoria de seus oponentes. Procuram, assim, as mais pequenas evidências que possam contrariar as hipóteses das quais discordam.* (p. 10)

As controvérsias, por outro lado, podem estar relacionadas com os impactos sociais produzidos pelas inovações científicas e tecnológicas como, por exemplo, aquelas diretamente associadas à decodificação do genoma humano, a clonagem, as células-tronco e a construção de usinas termonucleares. Segundo Reis (2009), elas podem ser denominadas de controvérsias sociocientíficas, pois consistem em

> *(...) questões relativas às interações entre ciência, tecnologia e sociedade (nomeadamente, as polêmicas despoletadas pelos eventuais*

> *impactos sociais de inovações científicas e tecnológicas), que dividem tanto a comunidade científica como a sociedade em geral, e para as quais diferentes grupos de cidadãos propõem explicações e tentativas de resolução incompatíveis, baseadas em valores alternativos* (p.10).

Ainda segundo Reis (2009), algumas controvérsias sociocientíficas envolvem, de modo mais explícito, aspectos relativos às questões ambientais. Para o autor, elas resultam de diferentes percepções relativamente ao impacto ambiental de determinados empreendimentos. Essas são denominadas por ele de *controvérsias socioambientais*.

Forgiarini & Auler (2009) também enfatizam aquelas controvérsias sociocientíficas que alcançam um grande destaque na mídia, sendo um exemplo as discussões geradas em torno do tema Mudanças Climáticas. Aliás, esse tema, segundo nossa opinião, destaca-se pela possibilidade de explorarmos as dimensões controversas anteriormente citadas.

Diante desse contexto, destacaremos algumas controvérsias associadas ao tema Mudanças Climáticas, enfatizando aquelas que, segundo nossa opinião, poderiam ser abordadas por professores de ciências, notadamente por professores de Física em atividades educativas.

II. Controvérsias associadas ao tema Mudanças Climáticas

Há uma grande quantidade de informações sobre o tema Mudanças Climáticas gerados pela mídia. Esse assunto tem inspirado produções cinematográficas, documentários, livros e edições especiais de jornais e revistas. As informações sobre o tema frequentemente versam sobre as origens, as causas e as consequências sociais e ambientais dessas mudanças e destacam-se pelas controvérsias geradas diante da diversidade de posicionamentos e de tomadas de decisões, sendo que alguns se sustentam em argumentos de natureza política, econômica e ambiental, enquanto outros colocam maior ênfase em argumentos de natureza científica.

Todavia, é relevante ressaltar que uma parte significativa das produções midiáticas que aborda o tema Mudanças Climáticas apresenta alguns equívocos de natureza conceitual. Segundo Xavier & Kerr (2004), muitos textos que tratam do efeito estufa, por exemplo, carecem de maior rigor científico, sobretudo por não distinguirem o efeito natural das suas variações, quer sejam elas produzidas pelo ser humano ou pela própria natureza. De acordo com Galvão & Silva (2007), um dos problemas conceituais mais presentes em textos de divulgação científica que

tratam do efeito estufa está em levar o leitor a imaginar que os gases que causam a intensificação desse efeito são responsáveis pela formação de uma camada na atmosfera – como um cobertor – que prenderiam a radiação infravermelha, impedindo-a de voltar ao espaço.

O tema também pode ser explorado a partir de inúmeras controvérsias sociocientíficas e socioambientais. Segundo Silva & Carvalho (2007), é comum em algumas abordagens científicas em torno do tema Mudanças Climáticas a ênfase num discurso politicamente pragmático, no qual se explicita a dimensão política, econômica e tecnológica da realidade. Nesses discursos, coloca-se ênfase no fato de que a tecnologia e a economia de mercado são capazes de liderar o processo de reversão da degradação ambiental, por meio da introdução de "tecnologias limpas" e do incentivo à utilização de processos de produção e consumo ecologicamente corretos, sem questionar os controversos limites desse potencial. Ou seja, embora a tecnologia possa contribuir com a preservação dos ambientes naturais, ela não atua isoladamente sem o concurso de outras mudanças econômicas, políticas e culturais.

Esse assunto também pode ser explorado a partir de uma série de controvérsias geradas no âmbito interno da ciência, ou seja, controvérsias diretamente ligadas a disputas acadêmicas em torno das diferentes possibilidades de interpretação da realidade por meio dos modelos científicos. Importantes grupos científicos defendem a ideia da existência de um Aquecimento Global essencialmente provocado pela ação do homem (antrópica) sobre a natureza. Por outro lado, outros grupos se opõem fortemente a essa hipótese, sobretudo ao defender que ainda há importantes dúvidas sobre o papel do homem nesse processo.

Muitas dessas controvérsias se devem às diferentes interpretações suscitadas pela modelagem matemática do clima. Aliás, essa é, sem dúvida, uma ferramenta indispensável no estudo das Mudanças Climáticas, porém, é importante destacar, que a realidade é sempre mais complexa do que as representações que fazemos dela. Mesmo considerando os grandes avanços na modelagem dos fenômenos climáticos, vale ressaltar que eles não proporcionam previsões com alto grau de precisão e dão margem a importantes controvérsias. Uma importante controvérsia relacionada aos modelos climáticos está justamente na identificação e quantificação da real interferência humana sobre o clima. Nesse sentido, a Física e a Geologia apresentam um importante papel na compreensão do assunto.

A história geológica do planeta, por exemplo, indica que, ao longo de milhões de anos, o clima da Terra modificou-se diversas vezes. Os cientistas podem dizer, com relativa segurança, que o planeta já registrou períodos históricos com temperaturas médias maiores e menores que as atuais. Esses registros foram e continuam sendo estudados por paleoclimatologistas do mundo inteiro. Dentre os

principais fósseis paleoclimáticos estudados, destacam-se os cilindros de gelo (*ice cores*) retirados da região Antártica e da Groelândia.

A Física, por sua própria condição de ciência básica, oferece conceitos e modelos para a compreensão dos fenômenos naturais. Daí que discussões relacionadas às Mudanças Climáticas envolvendo desvios de temperaturas, a diminuição ou o aumento do albedo planetário, as variações das circulações atmosféricas e oceânicas, as mudanças dos parâmetros orbitais da Terra, ou ainda algumas variações na produção de energia solar não podem ser devidamente compreendidos sem ela.

Todas as considerações apresentadas justificam a inclusão desse tema em sala de aula, sobretudo a partir da abordagem das controvérsias a ele relacionadas. Além disso, ele ainda pode ser especialmente útil aos professores de Física justamente pela possibilidade de ser utilizado para ilustrar uma série de conceitos básicos como, por exemplo, conservação de energia, espectro da radiação eletromagnética, radiação de corpo negro (emissão e absorção), dilatação térmica e temperatura, entre outros. Em uma outra perspectiva, o professor de Física pode trabalhar esses fenômenos a partir de uma abordagem temática (FORGIARINI & AULER, 2009). Nesse caso, o tema Aquecimento Global, por exemplo, pode tornar-se uma das motivações para as aulas de Física, sendo que os conceitos serão apresentados a partir da necessidade de se compreender mais profundamente o fenômeno em discussão.

A utilização da Física para compreender Mudanças Climáticas em aulas do nível médio e/ou superior pode ser encontrada, por exemplo, nos trabalhos de Ross (1991) e Hobson (2001). A perspectiva de trabalhar em sala de aula as controvérsias que surgem desse assunto são exploradas, por exemplo, nos trabalhos de Silva & Carvalho (2007) e de Vieira & Bazzo (2007). Silva (2007) apresenta uma série de considerações sobre possíveis abordagens que podem ser utilizadas quando esse tema é discutido em sala de aula. O autor ainda destaca alguns equívocos e algumas lacunas que são encontrados quando professores de Física em formação inicial abordam o tema em atividades de ensino.

Tendo em conta esse quadro e no intuito de oferecer subsídios para o tratamento desse tema em aulas de Física no nível básico de ensino, este trabalho está orientado a partir de duas perspectivas: realizar breves considerações da Física básica presente no tema Mudanças Climáticas e discutir algumas das incertezas e controvérsias científicas diretamente relacionadas com as complexidades inerentes ao tema. De modo mais específico, faremos algumas considerações sobre o balanço energético do sistema Sol-Terra, o efeito estufa e a sua intensificação e a temperatura média da Terra.

III. Breve caracterização da interação Sol-Terra[1]

O Sol é uma esfera de gás em cujo núcleo acontece a geração de energia através de reações termonucleares. A radiação emitida por ele abrange todo espectro eletromagnético (Fig. 1), desde os raios X e gama até as ondas de rádio, passando pelo ultravioleta, visível e infravermelho. Conforme previsto por Planck, a distribuição da emissão do Sol aproxima-se da de um corpo negro[2] a uma temperatura de 5800 °C.

De toda a radiação emitida pelo Sol que chega ao topo da atmosfera terrestre, somente algumas faixas de comprimentos de onda atingem a superfície da Terra. Grande parte da intensidade dessa emissão que chega à superfície concentra-se no visível (380 a 750 nm), sendo que o máximo ocorre em um comprimento de onda em torno de $\lambda = 480$ nm. A Fig. 2 mostra a distribuição do espectro de energia eletromagnética do Sol no topo da atmosfera e na superfície terrestre observada ao nível do mar. Nela também estão apresentados os principais gases absorvedores da radiação eletromagnética, sendo que os mais importantes são o vapor d'água (H2O), o oxigênio molecular (O2), o ozônio (O3) o gás carbônico (CO2) e o (N_2O) óxido nitroso.

Somente uma fração da energia que incide no topo da atmosfera terrestre é absorvida pela superfície da Terra. Ao absorver essa energia, a superfície é aquecida e emite radiação predominantemente em comprimentos de onda entre 4 a 100 μm. Essa emissão espectral pode ser descrita a partir da teoria de um corpo negro a uma temperatura de aproximadamente 255 K. Para entender como esse processo ocorre, é necessário entender como se processa a interação solar com a Terra, principalmente com sua atmosfera. Esse processo será referido como balanço de energia Sol-Terra.

---

[1] A Terra, nesse caso, inclui superfície (solo e oceano) e atmosfera.

[2] Um corpo negro é um modelo matemático de um corpo que emite e absorve uniformemente toda a energia que incide sobre ele. Essa emissão e absorção são independentes do comprimento de onda, da direção de incidência ou do estado de polarização da radiação. A radiação emitida por ele é caracterizada apenas pela temperatura do corpo.

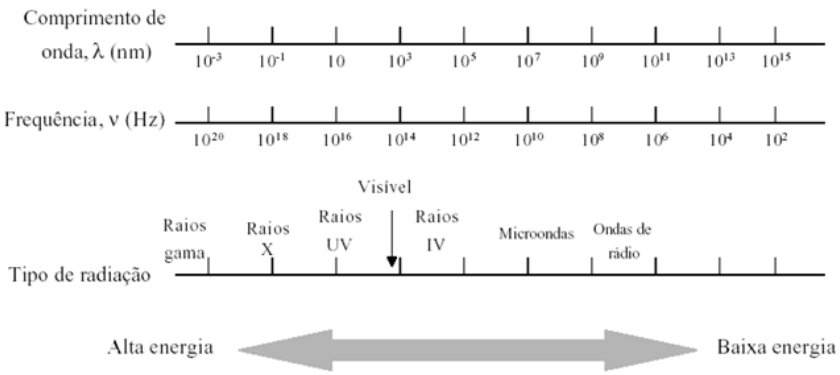

Fig. 1 - Espectro da radiação eletromagnética em função do comprimento de onda, da frequência e da energia dos fótons. Fonte: Adaptado de Sias (2009).

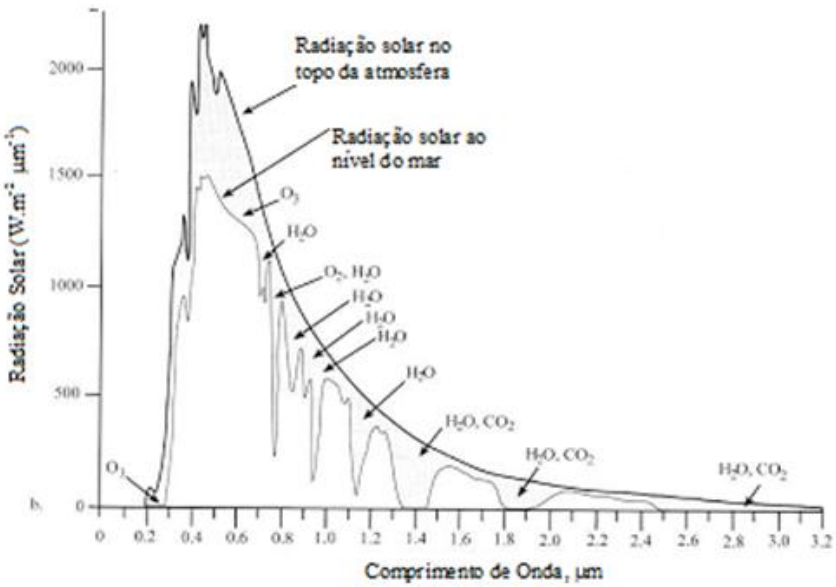

Fig. 2 - O espectro da emissão solar no topo da atmosfera e ao nível do mar. Nela estão representadas as principais moléculas presentes na atmosfera terrestre. Fonte: Adaptado de Martins, Pereira & Echer, 2004.

IV. Balanço de energia Sol-Terra

Para compreender a condição climática da Terra, é necessário avaliar, entre outros aspectos, o balanço de energia entre o sistema Sol-Terra; em outras palavras, é preciso entender o que acontece com a radiação solar que chega à Terra. É importante ressaltar que as quantidades que serão descritas no balanço energético do sistema Sol-Terra referem-se ao balanço médio anual, e esses valores podem se modificar de acordo com o local estudado e com o período em questão (MARQUES, 1992).

Na Fig. 3 é apresentado um modelo do que ocorre com a energia proveniente do Sol quando atinge a Terra. A radiação solar incidente no topo da atmosfera (100%) é refletida, espalhada e absorvida na seguinte proporção: 30% é refletida e espalhada diretamente de volta para o espaço e os outros 70% são absorvidos pela Terra (51% pela superfície e 19% pela atmosfera).

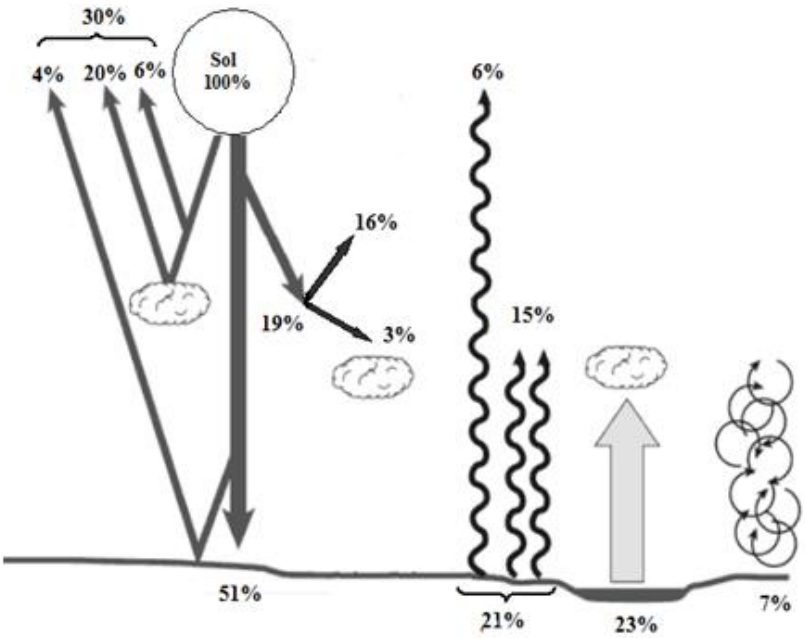

Fig. 3 - Balanço Energético do sistema Sol-Terra. Fonte: Adaptado de Hewitt & Jackson, 2009.

Os 30% da energia do Sol que é refletida ou espalhada de volta para o espaço são quantificados do seguinte modo: 6% pela atmosfera terrestre (fuligem, poeira e aerosóis[3]), 20% devido às nuvens e 4% diretamente pela superfície da Terra (florestas, oceanos, gelo, neve e solo). Esses processos constituem o albedo[4] da Terra.

É importante destacar que o albedo da Terra sofre importantes modificações ao longo do tempo. O seu aumento provoca a diminuição da temperatura terrestre, porque uma menor quantidade de energia proveniente do Sol será absorvida pela superfície da Terra, enquanto que a sua diminuição implica em um aquecimento do planeta. Vale ressaltar que essas alterações no albedo terrestre contribuem para as variações climáticas terrestres.

O albedo pode ser modificado tanto por causas naturais quanto por causas antropogênicas. Esse é um aspecto que suscita importantes controvérsias na comunidade científica que trata do tema Mudanças Climáticas. Por um lado, existem argumentos que apontam para o fato de que essas mudanças são essencialmente provocadas por causas naturais, por outro lado há fortes evidências que indicam que o ser humano tem acelerado acentuadamente essas modificações.

Dentre as causas naturais, podemos citar o aumento da quantidade de nuvens, o lançamento na atmosfera de uma grande quantidade de partículas (aerossóis) provenientes de erupções vulcânicas, o aumento ou a diminuição das superfícies cobertas por gelo e neve e das superfícies cobertas por florestas, entre outros aspectos.

A alteração do albedo terrestre por causas naturais pode ser explicada, por exemplo, pela variação na incidência de raios cósmicos galácticos na atmosfera (SVENSMARK, 1999; SLOAN; WOLFENDALE, 2008). Segundo Molion (2008), a incidência de raios cósmico-galácticos é um dos agentes responsáveis pela formação de núcleos de condensação – partículas higroscópicas essenciais para dar início à produção de gotas d'água de nuvens e de chuva. O aumento da concentração dos núcleos de condensação induz o aumento da cobertura de nuvens baixas – tipo "estrato" –, que são mais espessas e que, por sua vez, poderia levar a um aumento do albedo planetário, o que, provavelmente, acarretaria o resfriamento do planeta. Ainda segundo o autor, as nuvens altas – tipo "cirro" – são mais tênues e constituídas, em parte, por cristais de gelo. Elas tendem a aquecer o planeta, pois

---

[3] Suspensão de partículas microscópicas sólidas ou fluidas em ar ou gás.

[4] Medida da refletividade da luz solar no planeta Terra. Esse processo controla a quantidade de energia solar absorvida pelo sistema Terra-atmosfera.

permitem a passagem de radiação solar e absorvem a radiação infravermelha térmica que escaparia para o espaço exterior.

Outro exemplo de causas naturais que podem alterar o albedo terrestre são as erupções vulcânicas. Um dos produtos da erupção – os aerossóis – podem permanecer na alta atmosfera durante vários anos, ocasionando uma diminuição na intensidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre. Os aerossóis refletem a radiação solar de volta para o espaço, e isto é responsável pelo aumento do albedo e a consequente diminuição da temperatura da Terra. Esse efeito pode perdurar por vários anos, a depender da intensidade e da frequência das erupções vulcânicas.

Um importante exemplo de causa antropogênica relacionado com a modificação do albedo está diretamente associado com as mudanças na cobertura da superfície da terra (IPCC, 2007). As superfícies cobertas por gelo e neve refletem, aproximadamente, 90% da energia que incide sobre elas. As florestas refletem próximo de 12% e os oceanos e lagos algo em torno de 10% (MOLION, 2008). Portanto, a variação dessas coberturas sobre a superfície terrestre pode ocasionar variações no albedo. Esse, aliás, é um importante argumento a favor daqueles que defendem o papel do ser humano na aceleração das mudanças climáticas. É importante destacarmos que o ser humano, ao longo do último século, provocou grandes modificações nas áreas cobertas por florestas do nosso planeta.

Voltando à Fig. 4, vemos que, dos 70% da energia que interage com a Terra, aproximadamente 19% corresponde à energia absorvida pela atmosfera terrestre. Uma parte dessa energia, cerca de 3%, é absorvida pelas nuvens; o restante (16%) por algumas moléculas que compõem a nossa atmosfera. As principais moléculas que absorvem essa energia são o vapor d´água (H_2O), oxigênio (O_2), ozônio (O_3), gás carbônico (CO_2) e óxido nitroso (N_2O) (MOZETO, 2001). A absorção da radiação por essas moléculas está representada na Fig. 4. Podemos ver que, na faixa de 0,3 μm a 0,7 μm, a absorção da radiação pela atmosfera é muito pequena, essa região constitui a "janela" do visível. Além dessa, ainda existe a janela na faixa de comprimento de onda em rádio. Em todos os outros comprimentos de onda ocorre a absorção devido às moléculas presentes na atmosfera, comprimentos estes relacionados aos diferentes estados eletrônicos, rotacionais e vibracionais que elas podem assumir (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 1998).

Da radiação proveniente do Sol está faltando discutir a energia que atinge a superfície da Terra. Voltando ao balanço energético mostrado na Fig. 3, vemos que ela corresponde a 51% dessa radiação. Esse montante de energia é absorvido pela superfície da Terra (terra e oceanos), sendo responsável pelo seu aquecimento. Toda essa energia absorvida é reemitida para a atmosfera.

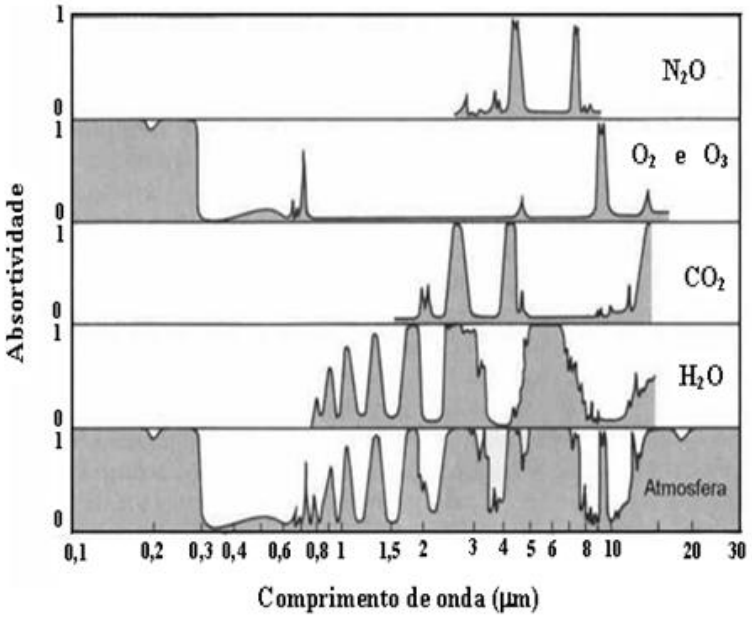

Fig. 4 - Absorção da radiação solar pelas principais moléculas presentes na atmosfera terrestre (a, b, c e d). Na parte "e" está representada a composição de todas elas. Fonte: Adaptado de Grimm, A.M. (2009).

É importante fazer uma distinção entre a radiação solar incidente no planeta e a radiação reemitida por ele. Grande parte da radiação emitida pelo Sol se encontra na faixa espectral em torno de 0,5 μm e a radiação terrestre se concentra na faixa de 10 μm. Por essa razão, a radiação solar é denominada radiação de "ondas curtas" (OC) e a radiação terrestre de radiação de "ondas longas" (OL)[5].

A energia reemitida pela superfície da Terra (OL) está distribuída da seguinte forma: 30% através de fluxos de calor sensível e latente e 21% correspondem à emissão de radiação no infravermelho. O fluxo de calor sensível (7%) está diretamente relacionado com processos de condução e convecção de calor da su-

[5] A terminologia usada aqui para designar "ondas longas" e "ondas curtas" não deve ser confundida com as encontradas na faixa *rádio* do espectro eletromagnético. Nessa faixa, os comprimentos de onda maiores que 500 metros são chamados *ondas longas* e os entre 10 a 200 metros são denominados de *ondas curtas*.

perfície da Terra para a atmosfera; o de calor latente (23%) refere-se aos processos de mudanças de fases da água. Os 21% restante são emitidos para a atmosfera na forma de radiação no infravermelho, sendo que 6% são enviadas diretamente para o espaço (janela atmosférica na faixa do infravermelho) e 15% são absorvidas por diferentes moléculas que estão presentes na atmosfera, que é aquecida e também passa a emitir OL em todas as direções. Esse processo tem um papel muito importante no balanço de energia Sol-Terra e contribui para o efeito estufa.

V. Efeito Estufa

A nossa atmosfera, como já descrito anteriormente, é composta por um grande número de gases, sendo que os principais são o nitrogênio (78%) e o oxigênio (21%). Além desses, ainda encontramos muitos outros gases em pequenas quantidades (H_2O, CO_2, O_3, CH_4, etc.). O N (nitrogênio) e o O (oxigênio) não absorvem a radiação em OL emitida pela superfície da Terra, ao passo que o H_2O, CO_2, NO_2, O_3, CH_4 e os gases da família do CFCs[6] absorvem uma fração significativa de radiação em OL. Essa radiação absorvida por esses gases é reemitida, também em OL, em todas as direções, inclusive de volta para a superfície, sendo novamente absorvida e reemitida para a atmosfera, onde o processo se repete. Esse fenômeno, conhecido como efeito estufa[7], impede que toda a radiação em OL emitida pela atmosfera e pela superfície terrestre seja perdida para o espaço; tal processo é essencial para a existência das condições climáticas atuais da Terra e para a manutenção da vida na forma como a conhecemos. Na prática, se não houvesse atmosfera, a Terra teria uma temperatura de corpo negro de -18 °C. A presença da atmosfera faz com que, efetivamente, a temperatura da Terra esteja em torno de 15°C (XAVIER; KERR, 2004).

---

[6] Os CFCs (clorofluorcarbonetos), também conhecidos como freons, são principalmente encontrados como solventes orgânicos, gases para refrigeração e propelentes em extintores de incêndio e aerossóis. O protocolo de Montreal recomendou o banimento desses gases nos países desenvolvidos a partir de 1995.

[7] É importante destacar que o termo *efeito estufa* é inspirado em estruturas utilizadas com a finalidade de aumentar a energia térmica do sistema, de tal modo que a temperatura em seu interior seja maior do que no ambiente externo. Esse objetivo somente é alcançado devido à presença de uma superfície que aprisiona a energia. No caso da Terra, não há, evidentemente, uma superfície rígida que desempenhe esse papel. Isso, como já dito anteriormente, é feito por alguns gases presentes na atmosfera. Nesse sentido, apesar de ser aceito universalmente, o nome *efeito estufa* talvez não seja o mais adequado para explicar o fenômeno natural do aquecimento do planeta.

O mecanismo de absorção e emissão de radiação pelas moléculas que interagem com as OL pode ser compreendido a partir do estudo de seus modos vibracionais e rotacionais. As moléculas não são estruturas fixas, elas podem vibrar e girar, e isso faz com que, por exemplo, as distâncias relativas entre os átomos constituintes variem. Portanto, fazer a radiação incidir sobre as moléculas é uma maneira de ativar esses movimentos e essa ativação somente ocorrerá para comprimentos de ondas específicos, que depende essencialmente das características internas das moléculas, tais como as distâncias e massas relativas entre os átomos e das constantes de força entre as ligações (TOLENTINO & ROCHA-FILHO, 1998; BAIRD, 2002).

Os gases que mais contribuem para esse efeito são o vapor d'água e o CO_2. Nos 100 metros da atmosfera mais próximos da superfície da Terra, a maior contribuição para o efeito estufa é devida ao vapor d'água. De toda a radiação em OL emitida pela superfície terrestre, em torno de 65% é absorvida pelo vapor d'água. Ao considerar a participação do CO_2 e dos demais gases-estufa, a absorção passa para algo próximo de 70%. O restante da radiação em OL (30%) escapa diretamente para o espaço. Se considerarmos apenas o montante da energia que é absorvida pelos gases-estufa, o vapor de água é responsável por algo em torno de 92% dela. Essa contribuição decresce com a altitude, mas estima-se que, para o efeito total, ela fique em torno de 75% (BARRETT, 2005).

Ao longo do tempo, a composição da atmosfera terrestre vem sendo modificada, tanto por efeitos naturais quanto pela atuação do ser humano. Essas modificações podem provocar variações na intensidade do efeito estufa. Porém, há um importante problema de natureza controversa quanto a esse assunto. Não sabemos, com alto grau de precisão, qual a real participação do homem na alteração dos gases-estufa presentes na atmosfera e também não sabemos ao certo quais cenários climáticos que essas modificações implicam. As variações no efeito estufa dependem da concentração dos gases-estufa, do comprimento de onda no qual o gás absorve radiação, da intensidade de absorção por molécula, da existência de outros gases que absorvem fortemente no mesmo comprimento de onda e do seu tempo de residência na atmosfera (BAIRD, 2002).

Um exemplo das mudanças na composição da atmosfera provocadas pelo homem está diretamente relacionada com a emissão de CO_2. Segundo alguns trabalhos (MARQUES, 1992; IPCC, 2007), o aumento da concentração desse gás na atmosfera é o principal responsável pela intensificação do efeito estufa. Porém, é importante mencionar que há algumas controvérsias relacionadas com esse fato. Ao atribuir esse papel unicamente ao aumento de CO_2, deixa-se de considerar as mudanças nas concentrações dos outros gases-estufa devidas às atividades antro-

pogênicas. Deve-se salientar que, apesar de apresentarem pequenas concentrações atmosféricas, a contribuição desses gases para o efeito total pode vir a ter um peso significativo. Por exemplo, os gases da família CFCs e o metano absorvem radiação de OL em uma faixa de 8 a 12 μm, região na qual o CO_2 e o H_2O não absorvem (MITCHELL, 1989). Desse modo, mesmo tendo concentrações atmosféricas pequenas, alguns gases-estufa acabam tendo um papel de destaque na contribuição do aumento do efeito estufa.

A consideração de que o aumento da concentração de CO_2 é o principal agente da intensificação do efeito estufa leva ao seguinte questionamento: qual o papel do ser humano no processo que leva ao aumento da concentração de CO_2?

Há dados que mostram que os níveis históricos de CO_2 aumentaram sensivelmente desde a primeira Revolução Industrial, principalmente em decorrência do aumento do uso de combustíveis fósseis e das mudanças na utilização da terra (IPCC, 2007). Este, aliás, é o argumento mais encontrado na grande mídia que procura tratar as origens e as causas relacionadas ao aumento do efeito estufa. Parte desse argumento se sustenta nas medições de concentração de CO_2 na atmosfera, como as realizadas no observatório de Mauna Loa, Havaí. A Fig. 5 apresenta os dados relativos dessas medidas para os últimos 50 anos.

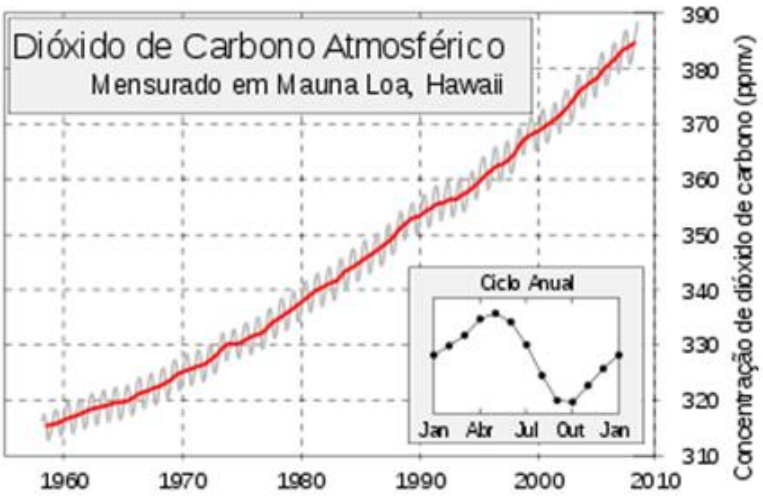

Fig. 5 - Curva de Keeling: Concentrações de CO2 Atmosférico medidas em Mauna Loa, Havai Mauna Loa Observatory. O gráfico apresenta oscilações anuais. Fonte Adaptado de Murray-Rust, P. (2009).

É importante salientar que os dados apresentados na Fig. 5 foram coletados no hemisfério norte. A linha ondulada que aparece no gráfico reflete a variação sazonal do fluxo de CO_2 entre a atmosfera e a biota desse hemisfério. No destaque do gráfico (Ciclo Anual), é mostrado a maneira como essa variação ocorre ao longo do ano. O aumento ou a diminuição desse fluxo está diretamente relacionado com os processos de fotossíntese e de respiração: a fotossíntese retira CO_2 da atmosfera e a respiração o adiciona. Em alguns períodos do ano, o processo de fotossíntese é maior do que o de respiração. Em outras épocas isso se inverte. No outono, no inverno e até no início da primavera, o fluxo de CO_2 gerado pelo processo de fotossíntese é menor do que o de respiração, e isso ocasiona um aumento na concentração desse gás na atmosfera. No final da primavera e durante o verão, o fluxo de CO_2 para a biota é maior e, nesse caso, há uma diminuição da concentração de CO_2.

Ainda segundo o IPCC (2007), a taxa de concentração de CO_2 na atmosfera aumentou

> *(...) de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005. A concentração atmosférica de dióxido de carbono em 2005 ultrapassa em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm), como determinado a partir de testemunhos de gelo. A taxa de aumento da concentração anual de dióxido de carbono foi mais elevada durante os últimos 10 anos (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano) do que desde o início das medições atmosféricas diretas contínuas (média de 1960 a 2005: 1,4 ppm por ano), embora haja variações de um ano a outro nas taxas de aumento (p. 5).*

De outro lado, instaurando a controvérsia, encontram-se autores como Hieb & Hieb (2006), que destacam o fato de que não há dados suficientes que comprovem que o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera seja originário somente de emissões antrópicas – principalmente as geradas pela queima de combustíveis fósseis. Há, isto sim, importantes dúvidas quanto ao real peso dessas emissões de carbono para a intensificação do efeito estufa. Porém, cabe destacar que não podemos desprezar o fato do homem estar alterando de forma significativa o processo conhecido como *ciclo anual do carbono*.

Na Tabela 1 é mostrado o fluxo de CO_2 para o sistema Terra-atmosfera. Podemos observar que a biosfera e os oceanos atuam como sumidouro de CO_2, enquanto as principais fontes são a queima de combustível fóssil e o desflorestamento (NOAA, 2009). Estima-se que 4 bilhões de toneladas de dióxido de carbono por ano (GtC/ano) fiquem armazenados na atmosfera.

Tabela 1: Fontes e Sumidouros de CO_2

Fluxo de CO_2 atmosférico	GtC/ano
Origem	Balanço
Biosfera	- 2
Oceanos	- 3
Queima de combustível fóssil	+ 8
Desflorestamento	+ 1
Balanço Anual	+ 4

Fonte: Adaptado de NOAA (2009).

Contudo, por conta das complexidades envolvidas nos processos físicos que descrevem o ciclo do carbono, os dados apresentados na Tabela 1 necessitam de maior discussão. Por exemplo, os oceanos se constituem no principal sumidouro de carbono do planeta. Nesse sentido, é preciso considerar com mais critério sua importância no ciclo anual do carbono. Esse ciclo é composto pelos processos de troca que ocorrem entre os três principais reservatórios de carbono do planeta: atmosfera, oceanos e biosfera terrestre.

Em relação ao ciclo de carbono, Pacheco & Helene (1990) apontam que

> *O CO_2 desaparece da atmosfera somente pelo processo de absorção dos outros dois reservatórios: oceanos e biomassa... Esses reservatórios têm subdivisões internas e os mecanismos de trocas nas suas fronteiras são muito complexos. O ciclo biogeoquímico do carbono é o nome dado ao conjunto de processos responsáveis por retirar carbono de um determinado reservatório, fazê-lo participar de compostos e reações em outros reservatórios e, após algum tempo, devolvê-lo ao reservatório de origem* (p. 209).

O fluxo de CO_2 entre os oceanos e a atmosfera depende de vários fatores, sendo que entre eles está a temperatura da água. Quanto maior a temperatura da água dos oceanos, menor é a absorção de CO_2 da atmosfera e vice-versa. Ainda segundo Pacheco & Helene (1990),

> *(...) em primeira aproximação, o fluxo local de carbono trocado entre atmosfera e oceano por unidade de superfície e tempo é proporcional à solubilidade do CO_2, à temperatura da água e à diferença entre as pressões parciais do gás na água e na atmosfera. Já a capacidade global do oceano em fazer trocas com a atmosfera passa pela complexa dinâmica da circulação oceânica, que é caracterizada por movimentos ascendentes e descendentes das águas. Uma mesma região oceânica poderá ser tanto emissora*

como absorvedora de CO_2, dependendo da pressão parcial do CO_2 na água e na atmosfera; a quantidade de CO_2 dissolvida na água depende de variáveis climatológicas e do ciclo sazonal dos organismos vivos do mar (p.209).

Estima-se que a superfície dos oceanos absorva entre 90 e 100 GtC por ano da atmosfera (MOLLION, 2007). Um erro de 10% nessa estimativa acaba sendo bem maior do que as 4 GtC que ficam armazenadas na atmosfera anualmente. Esse valor também é equivalente à quantidade de CO_2 liberada pela queima de combustíveis fósseis.

O aumento da concentração dos gases-estufa discutido acima ocasiona uma maior retenção de radiação em OL na atmosfera. Esse processo muitas vezes aparece diretamente relacionado com a intensificação do efeito estufa e o aumento da temperatura média da Terra. A Fig. 6 mostra a variação global da temperatura média da Terra de 1850 até os dias atuais. Observa-se que a temperatura média da superfície terrestre aumentou desde o fim do século XIX, algo em torno de 0,8 °C, mas, como pode ser visto diretamente no gráfico, esse aumento não foi constante nem linear e, em alguns períodos, ocorreu uma diminuição da temperatura da Terra. Nos últimos 20 anos houve um aumento mais acentuado da temperatura. Segundo o IPCC (2007), a temperatura do planeta irá aumentar entre 1,8°C e 4°C até o final deste século. É importante salientar que essas estimativas estão baseadas na utilização de modelos climáticos e dependem do grau de emissão de gases-estufa. Ainda segundo eles, se for mantido o quadro de emissões de gases-estufa de 2000, poderá ocorrer, para as próximas duas décadas, um aumento de temperatura de, aproximadamente, 0,1°C por década.

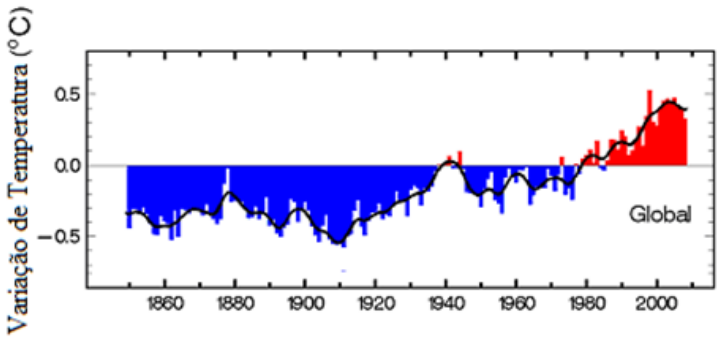

Fig. 6 - Variação global da temperatura média da Terra de 1850 a 2005. Fonte: Adaptado de Jones, Osborn & Briffa (2009).

Todavia, é importante ressaltar que a ideia de uma temperatura média da Terra é mais um aspecto controverso nessa discussão de natureza científica.

O conceito de temperatura de um corpo macroscópico apenas tem um sentido preciso e, portanto, não ambíguo, no equilíbrio térmico. Assim, se olharmos a Terra como o corpo macroscópico que é, apenas se pode falar com propriedade da sua temperatura se ela estiver em equilíbrio. Entretanto, equilíbrio térmico não há na Terra, o que se evidencia pelo próprio clima. Assim, as variações de temperatura na Terra são evidentes e, quando se faz menção à temperatura, nessa circunstância, esta corresponde a uma temperatura local, ou seja, uma temperatura medida localmente, onde subjaz a um equilíbrio local. Entretanto, a Terra globalmente não está em equilíbrio e, apenas por esse motivo, não é possível definir univocamente uma temperatura da Terra. Não existe o conceito de temperatura de um corpo extenso submetido a um gradiente de temperatura na Termodinâmica ou na Mecânica Estatística. Além do mais, o conceito de temperatura para sistemas fora do equilíbrio não é definido. Nas formulações da Termodinâmica e da Mecânica Estatística do não-equilíbrio (ou fora do equilíbrio), o conceito de temperatura não se coloca (ESSEX *et alii*, 2007).

Esses fatos não invalidam a possibilidade de se tomar alguma média sobre as temperaturas da Terra. O que eles atestam, de forma implacável, é que essa "temperatura média" não tem significado físico, isto é, não se pode concluir nada a partir dela. O conceito de temperatura média é um conceito espúrio, com o qual e a partir do qual nenhuma predição coerente pode ser tomada. A própria definição de *média* carece de uma discussão mais aprofundada. Segundo Essex *et alii* (2007), existem várias opções matematicamente legítimas de se calcular uma média. No caso da temperatura média da Terra, os meteorologistas e climatologistas utilizam, aproximadamente, uma centena de diferentes formas de calcular essa média. Em geral, elas dependem da localização da estação meteorológica e do dia e do horário no qual as medidas são realizadas. A temperatura média serve para tentar fazer ver à população do planeta que a Terra está aquecendo e que isso se dá pela intervenção humana. Porém, essa afirmação não é, em definitivo, científica; ela poderá ser política, psicológica ou de outra natureza.

VI. Considerações finais

As considerações sobre algumas possibilidades dos professores de Física abordarem temas controversos em atividades de ensino nos leva a refletir sobre o significado de ensinar essa disciplina na Educação Básica. O ensino de Física,

nessa etapa da escolarização, deve contribuir para a formação de cidadãos aptos a participar de processos sociais de tomada de decisões que envolvem a ciência e a tecnologia. É importante ressaltar que a utilização de temas controversos em aulas de Física pode ser entendida como um caminho para nós, professores, desenvolvermos processos de inovação curricular.

O tema Mudanças Climáticas nos possibilita trabalhar uma série de controvérsias, como, por exemplo, aquelas internas e restritas à própria comunidade científica. Nesse sentido, enfatizamos que a apresentação e discussão dessas controvérsias nas aulas podem ser utilizadas para ilustrar uma série de conceitos físicos básicos, tais como aqueles mostrados ao longo deste trabalho.

Algumas controvérsias científicas associadas ao tema Mudanças Climáticas estão relacionadas com a discussão de suas origens, causas e efeitos. A tese defendida pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), por exemplo, é a de que existe um aquecimento planetário provocado pelas atividades humanas. Essa tese é sustentada em três grandes pilares: as séries históricas dos desvios de temperatura global, as séries históricas de concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO_2) e uma previsão de clima baseada no dobro da concentração de CO_2. Porém, a história geológica do planeta, por exemplo, indica que, ao longo dos anos, o clima da Terra modificou-se diversas vezes. Os desvios de temperatura observados nas últimas décadas, mesmo considerando-se um intervalo de tempo da ordem de centenas de anos, podem ser explicados a partir de várias perspectivas, como, por exemplo, a diminuição do albedo planetário, uma menor atividade vulcânica no último século, as variações das circulações atmosféricas e oceânicas, as mudanças dos parâmetros orbitais da Terra, ou ainda algumas variações na produção de energia solar.

Também é importante ressaltar que devemos estar preparados não só para explicar os mecanismos que levam as moléculas de CO_2 a absorverem radiação na faixa de comprimento de onda do infravermelho, mas a contextualizar o significado dessas emissões para a sustentação da sociedade industrial que construímos, tendo em vista que os combustíveis fósseis constituem a matriz energética preponderante em nossa sociedade. Simplesmente situar de um lado as atividades econômicas baseadas nos combustíveis fósseis como essencialmente maléficas, e de outro lado a produção de energia "limpa" através das tecnologias associadas aos sistemas fotovoltaicos e eólicos como sendo a solução dos problemas gerados pelas mudanças climáticas não parece ser, do ponto de vista da formação científica do estudante, o melhor caminho a ser seguido por nós professores. De fato, argumentos dessa natureza apenas encobrem as questões que realmente importam ser pensadas e discutidas do ponto de vista da formação científica do cidadão, pois é ne-

cessário levar em conta o fato de que não há meio de produção de energia que deixe de provocar impactos ambientais ou que não esteja diretamente relacionado com grandes interesses econômicos e políticos.

Devemos enfatizar que a sugestão de trabalhos com temas controversos não pode ser confundida com posições que descaracterizam o que é básico na Física. É importante reconhecer qual é o seu espaço específico na compreensão de um fenômeno complexo como o das Mudanças Climáticas e, nessa perspectiva, ensinar Física também inclui mostrar quais caminhos essa Ciência percorre para compreender certos aspectos da realidade, apontar suas possibilidades e seus limites.

Por fim, e não menos importante, também é preciso enfatizar que discussões dessa natureza não nos eximem de realizar críticas ao modo como nos relacionamos com a natureza e a forma como inventamos a nossa organização social. De fato, é cada vez mais evidente que vivemos uma situação insustentável do ponto de vista econômico, político e ambiental, sobretudo ao vislumbrarmos as imensas distorções que existem no mundo.

Referências bibliográficas

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2 ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2002. 622 p.

BARRETT, J. Greenhouse molecules, their spectra and function in the atmosphere. **Energy and Environment**, v. 16, n. 6, p. 1037-1045, 2005.

ESSEX, C.; MCKITRICK, R.; ANDRESEN, B. Does a global temperature exist? **Journal of Non-Equilibriun Thermodinamics**, v. 32, n. 1, p. 1-28, 2006.

GALVÃO, D. M.; SILVA, H. C. O discurso sobre 'mudanças climáticas' num texto de divulgação científica: textualização, circulação e leitura de conhecimentos geocientíficos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA EM ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA, I, 2007, Campinas. **Atas...** Campinas: IG/Unicamp, 2007. p. 259-267.

GRIMM, A. M. **Meteorologia Básica - Notas de Aula.** Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html> Acesso em: 24 out. 2009.

FORGIARINI, M. S.; AULER, D. A abordagem de temas polêmicos na educação de jovens e adultos: o caso do "florestamento" no Rio Grande do Sul. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias,** v. 8, n. 2, p. 399, 2009.

HEWITT, C. N.; JACKSON, A. V. **Atmospheric Science for Environmental Scientists**. Ed. Wiley-Blackwell, 2009. p. 75.

HIEB, M.; HIEB, H. Water Vapor Rules the Greenhouse System. **Global Warming: A closer look at the numbers.** Disponível em: <http://www.geocraft.com/WVFossils/greenhouse_data.html> Acesso em: 12 nov. 2009.

HOBSON, A. Teaching Relevant Science for Scientific Literacy Art Hobson. **Journal of College Science Teaching**, v. 30, n. 4, p. 238-43, 2001.

JONES, P. D.; OSBORN, T. J.; BRIFFA, R. Global and Hemispheric Annual Temperatures Anomalies – 1850 to 2008. Disponível em: <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/jonescru/graphics/glnhsh.png> Acesso em: 4 nov. 2009.

LEVINSON, R. **Towards a pedagogical framework for the teaching of controversial socio-scientific issues to secondary school students in the age range 14-19**. 2008, 242f. Tese (Doutorado em Educação) - Instituto de Educação, Universidade de Londres, Londres, Inglaterra.

MARQUES, V. S. O efeito estufa e o aquecimento global. **Anuário do Instituto de Geociência***s,* Rio de Janeiro, v. 15, p. 93-106, 1992. Disponível em: <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_1992/vol_15_93_106.pdf> Acesso em: 10 out.2009.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário: o Projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 145-159, 2004.

MITCHELL, J. F. B. The "Greenhouse" Effect and Climate Change. **Reviews of Geophysics**. v. 27, n. 1, p. 115-139, 1989.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: natural ou antropogênico? In: SEMAGEO, XXVIII, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianopolis: UFSC, 2007.

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

MOZETO, A. A. Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, N. Edição Especial, p. 41-49, 2001. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/atmosfera.pdf > Acesso em: 28 set. 2009.

MURRAY-RUST, P. **A Keeling curve.** Disponível em: <http://www.nature.com/nature/journal/v451/n7179/fig_tab/451648a_F3.html> Acesso em: 24 out. 2009

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSFERIC ADMINISTRATION. **Carbon Tracker.** Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/carbontracker/overview.html> Acesso em: 30 out. 2009.

PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO2. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, n. 9, 1990. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010340141990000200010&script=sci_arttext>

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA. Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/portuguese/ar4-wg1-spm.pdf> Acesso em: 30 jun. 2009.

REIS, P. R. **Controvérsias sócio-científicas: discutir ou não discutir? Percursos de aprendizagem na disciplina ciências da terra e da vida.** 2004, 457f. Tese (Doutorado em Educação) - Departamento de Educação, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

REIS, P. R. Ciência e Controvérsia. **Revista de Estudos Universitários,** v. 35, n. 2, p. 9-15, 2009. Disponível em: <http://periodicos.uniso.br/index.php/reu/article/viewFile/559/273>

ROSS, S. Physics in the global greenhouse. **Physics Education**, v. 21, p. 175-181, 1991.

SIAS, D. B. **O Espectro Eletromagnético.** Disponível em:

<http://penta3.ufrgs.br/CESTA/fisica/calor/espectroeletromagnetico.html> Acesso em: 20 nov. 2009.

SILVA, L. F. **A temática ambiental, o processo educativo e os temas controversos: implicações teóricas e práticas para o ensino de Física.** 2007. 211f. Tese (Doutorado em Educação Escolar) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, UNESP, Araraquara.

SILVA, L. F.; CARVALHO, L. M. A Temática Ambiental e o Processo Educativo: o ensino de física a partir de temas controversos. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. especial, p. 1-12, 2007.

SLOAN, T.; WOLFENDALE, A. W. Testing the causal link between cosmic rays and cloud cover. **Environmental Research Letters**, v. 3, p.1-6, 2008

SVENSMARK, H. Cosmic Rays and Earth Climate. **Space Science Reviews**, n. 93, p.155-166, 1999.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. A Química no Efeito Estufa. **Química Nova na Escola,** n. 8, p. 10-14, 1998.

VIEIRA, K. R. C. F.; BAZZO, W. A. Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. Edição Especial, 2007.

XAVIER, M. E. R.; KERR, A. S. A análise do efeito estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 325-349, 2004.