

Conceitos Físicos Envolvidos na Temática do
Aquecimento Global na Perspectiva CTS:
Uma Proposta de Material Paradidático

JOZIEL COSTA CRETON

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2010

Conceitos Físicos Envolvidos na Temática do Aquecimento Global na Perspectiva CTS: Uma Proposta de Material Paradidático

JOZIEL COSTA CRETON

Dissertação apresentada ao
Centro de Ciência e
Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro, como parte das
exigências para a obtenção do
título de Mestre em Ciências
Naturais

Orientador: Prof. Marcelo Silva Sthel

Co-orientador: Prof. José Glauco Tostes

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCT / UENF**

27/2010

Creton, Joziel Costa

Conceitos físicos envolvidos na temática do aquecimento global na perspectiva CTS: uma proposta de material paradidático / Joziel Costa Creton. – Campos dos Goytacazes, 2010.

x, 177 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) --Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Ciências Físicas. Campos dos Goytacazes, 2010.

Orientador: Marcelo Silva Sthel.

Co-orientador: José Glauco Tostes.

Área de concentração: Ensino de Ciências.

Bibliografia: f. 60-62.

1. Aquecimento global 2. CTS 3. Paradidático I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Ciências Físicas II. Título

CDD 363.73874

Conceitos Físicos Envolvidos na Temática do Aquecimento
Global na Perspectiva CTS:
Uma Proposta de Material Paradidático.

JOZIEL COSTA CRETON

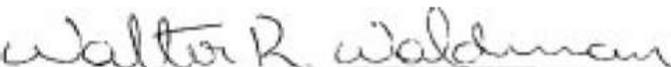
Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

Campos dos Goytacazes, 18 de Março de 2010.

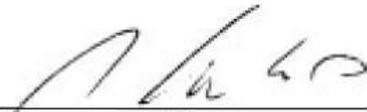
Aprovado por:

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Marília Paixão Linhares – LCFIS / UENF


Prof. Dr. Walter Ruggeri Waldman – LCQUI / UENF


Prof. Dr. Elza Maria Senra Oliveira – IFF Campos


Prof. Dr. José Glauco Tostes – LCQUI / UENF
(Co-orientador)


Prof. Dr. Marcelo Silva Sthel - LCFIS / UENF
(Orientador)

Universidade Estadual do Norte Fluminense
UENF

Quando contemplamos as maravilhosas obras de Deus, como se nos expande a mente, e como se nos aquece e eleva o coração! Alguém afirmou que a nossa razão pode, sozinha, compreender todas as coisas dentro dos confins da vasta criação, e calcular tudo o que não está além do céu. Mas tolo é o homem que não reconhece a influência sempre presente de Deus. Existem mistérios e maravilhas na natureza, e graça em cada momento que nos cerca, que não podem ser percebidos e explicados pelo intelecto humano.

A. J. O'Reilly

Dedico esse trabalho à
Jessica, minha amada esposa,
Ao Jó e Ana, meus pais
E a todos aqueles que,
incondicionalmente, me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Senhor Deus, criador e sustentador de tudo, que me concedeu a oportunidade realizar mais um sonho.

Agradeço ao Professor Sthel, pela orientação, amizade e confiança, sempre acreditando e lutando ao meu lado para que esse sonho se tornasse realidade.

Minha esposa, sempre amada, Jessica mola motriz de minha perseverança.

Da mesma forma, não posso deixar de ser eternamente grato aos estímulos de confiança e perseverança que recebi de meus pais, Jó e Ana, de minhas irmãs Hadassiana e Larissa, do amigo Ronaldo, que contribuiu na consecução da parte prática, bem como dos professores Glauco e Marília, que contribuíram com orientações fundamentais para realização desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 ENFOQUE CTS	14
3.1.1 Os estudos CTS.....	18
3.1.2 CTS na educação.....	19
3.2 APRENDIZAGEM CENTRADA EM EVENTOS	21
3.3 TOMADA DE DECISÃO.....	22
3.3.1 Por que agora?	23
3.4 REFERENCIAL dos PCNs	26
3.4.1 Competências e Temas estruturadores.....	27
3.4.2 Contextualização e Interdisciplinaridade	29
4 METODOLOGIA.....	34
4.1 OS CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO TEMA	35
4.2 DESENVOLVIMENTO DO LIVRO	36
4.2.1 A escolha dos capítulos.....	37
4.2.2 Livro Paradidático	37
4.2.3 Reprodutividade	38
4.3 TURMA PILOTO	38
4.3.1 Estratégia	39
4.3.2 Abordagem.....	41
5 RESULTADOS E ANÁLISE	43
5.1 O QUESTIONÁRIO.....	43
5.2 O TESTE.....	48
6 DISCUSSÃO	52
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58

REFERÊNCIAS.....	60
ANEXO A – Competências e habilidades.....	63
APÊNDICE A – Questionário	68
APÊNDICE B – Teste (Sugestão para Gabarito)	69
APÊNDICE C – Roteiros de Aula.....	71
APÊNDICE D – Livro: A Física do Aquecimento Global.....	78

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
PCNs	Parâmetros Curriculares Nacionais
ACE	Aprendizagem Centrada em Eventos
C&T	Ciência e Tecnologia
PLON	Projeto de Desenvolvimento Curricular em Física (<i>Dutch Physics Curriculum Development Project</i>) - Programa Holandês
SISCON	Ciência no Contexto Social (<i>Science in a Social Context</i>) - Programa Britânico
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
PCN+	Orientações Educacionais Complementares aos PCNs
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
EPEF	Encontro de Pesquisa em Ensino de Física
CO ₂	Dióxido de Carbono

RESUMO

CRETON, Joziel Costa; **Conceitos Físicos Envolvidos na Temática do Aquecimento Global na Perspectiva CTS: Uma Proposta de Material Paradidático**. 2010, 176 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2010.

Vivemos numa época em que todos os dias somos confrontados com decisões pessoais e sociais que podem interferir no futuro de nossa sociedade. Assim, na busca de uma visão mais abrangente do contexto ambiental dentro de sala de aula, procuramos capacitar os estudantes, futuros cidadãos, a tomarem decisões mais conscientes. Então, dentro do enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e através da Aprendizagem Centrada em Eventos (ACE), desenvolvemos um livro paradidático intitulado A FÍSICA DO AQUECIMENTO GLOBAL, onde este tema cercado pelos aspectos CTS, forma as unidades do livro, trazendo o Aquecimento Global como eixo estruturador da aprendizagem facilitando compreensão dos conceitos físicos envolvidos, a contextualização e interdisciplinaridade. Potencializando inclusive o desenvolvimento de habilidades, competências e valores éticos. Por fim, promovemos a validação da eficácia do livro como suporte conceitual em aulas de Física numa turma piloto. Procurando evidenciar se houve, nessa turma, evolução conceitual e alguma tendência de conscientização ambiental.

Palavras-chave: Aquecimento Global, CTS, Paradidático.

ABSTRACT

Creton, Joziel Costa; **Physical Concepts of the Global Warming Thematic in Perspective STS: A Paradidactic Material Proposition**. 2010, 176 p. Dissertation (Master) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos, 2010.

We live in a time when every day we are confronted with personal and social decisions that may affect the future of our society. Thus, looking for a more comprehensive view of the environmental context within the classroom, we seek to be able the students, future citizens, to take more informed decisions. So, in the focus of Science, Technology and Society (STS) and through the Learning Events Centered (LEC), we developed a paradidactic book titled THE PHYSICS OF GLOBAL WARMING, where the subject surrounded by STS aspects, form the units of the book, bringing the Global Warming as a structural axis of learning by facilitating the understanding of the physics concepts involved, the context and interdisciplinarity. This was done in order to enhance the development of abilities, skills and ethical values. Finally, we promote the validation of the effectiveness of the book as support conceptual in physics classes in a class driver. Looking for evidence of whether there was some conceptual evolution and trend of environmental awareness.

Keywords: Global Warming; STS, Paradidactic

1 INTRODUÇÃO

Num contexto ímpar onde toda humanidade toma conhecimento de um assunto que permeia todas as fontes de informação, propiciando a discussão das mudanças climáticas, muitas vezes, de forma desordenada e sem embasamento científico. Dessa forma, surgem diversas concepções equivocadas sobre esse tema, principalmente quanto ao entendimento do fenômeno do aquecimento global. Assim, surge a necessidade de se transmitir ao aluno informação correta e bem fundamentada a fim de que, quando se deparar com uma notícia na mídia ou até em artigos, ele possa julgar procedente ou especulativa essa nova informação.

A identificação de um problema ambiental envolve mais do que uma sensação subjetiva ou um conhecimento superficial, requer a compreensão dos processos e relações presentes, além das relações naturais e sociais subjacentes a essas atividades.

Nesse processo o educador é um elemento chave na construção do conhecimento e na formação do cidadão. Sendo fundamental, nesse contexto, a existência de elementos que subsidiem o educador nessa tarefa. É imprescindível que o professor detenha uma concepção clara sobre as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), tratando esse enfoque de forma que haja, em sala de aula, superação do senso comum, promovendo mudança de comportamento no aprendiz. Buscando um ensino libertador, transformador e formador de cidadãos com autonomia em suas decisões.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) reforçam esta necessidade ao promover competências e habilidades que pactuam com a autonomia dos cidadãos tais como o desenvolvimento da capacidade de interpretar e criticar processos e resultados, elaborar estratégias de enfrentamento de problemas e interagir no sentido de compreender o impacto e responsabilidade ambiental e social de cada ação humana.

A contribuição de um novo elemento didático é tarefa sujeita a grande responsabilidade, não somente no sentido de haver informações bem fundamentadas, mas como meio para formação do caráter de um aluno crítico e preparado para o exercício da cidadania.

Neste trabalho houve o desenvolvimento de um livro paradidático sobre o aquecimento global para auxiliar professores e alunos no processo de ensino e aprendizagem, bem como atestar sua eficácia em uma turma piloto. O livro paradidático faz uma ligação entre o conteúdo programático e o contexto atual, auxiliando o professor dentro e fora de sala de aula complementando as informações oferecidas ao aluno, em geral, pelo livro didático. A proposta foi apresentar de forma simples e descomplicada, conceitos, aplicações, relações históricas e questões éticas envolvendo o tema do aquecimento global. Trazendo também ao aluno uma visão mais integralizada do contexto mundial, das relações ambientais, políticas, econômicas e sociais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolvimento de uma proposta temática, um material paradidático sobre o aquecimento global, permitindo aos educandos uma visão mais integralizada do contexto mundial, das relações ambientais, científicas, tecnológicas e sociais. Também facilitando o desenvolvimento de habilidades, competências e valores para que, através de uma aprendizagem significativa e libertadora, os cidadãos transformem-se em agentes ativos na sociedade, capazes de fazerem escolhas bem fundamentadas e tomarem decisões mais conscientes

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desenvolver um livro paradidático sobre o aquecimento global que possa atuar como suporte conceitual em aulas de Física.
2. Testar o livro, aplicar seu conteúdo em uma turma piloto, a fim de mensurar e validar seu alcance conceitual.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O aquecimento global como problemática ambiental, leva-nos a reflexão sobre a intervenção indiscriminada do homem na natureza explorando-a de forma egoísta, justificando seus interesses pelo bem da ciência e modernização da sociedade. Contudo, com o aumento da compreensão da sociedade a respeito dos efeitos que essa modernização tem provocado, muitos têm se questionado até que preço é suportável permitir a exploração dos recursos naturais e os fins a que estes se destinam.

3.1 ENFOQUE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS)

Na segunda metade do século XX, surgiu no mundo inteiro um movimento que passou a refletir criticamente sobre as relações entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS). Este movimento deveu-se ao agravamento dos problemas ambientais e a uma forte crítica dos rumos tomados pelo desenvolvimento científico e tecnológico, especialmente quanto às aplicações da ciência em tecnologias para fins bélicos e demonstrações de poder econômico, como a corrida espacial. (ANGOTTI e AUTH, 2001)

Entretanto, o contexto histórico de evolução do movimento CTS é predominantemente de países desenvolvidos. Ora, para uma reflexão, ou questionamento, da necessidade de se incorporar o “S” no C&T, ou seja, para o retorno à importância dos fatores sociais, ambientais no desenvolvimento científico-tecnológico, faz-se necessário que haja, obviamente, um relevante grau de desenvolvimento científico e tecnológico, algo não explícito no histórico de nossa nação.

Lembrando nosso passado, no período colonial, Motoyama (1985) nos reporta que:

Os países do “terceiro mundo” não presenciaram crescimento científico e tecnológico próprio (...) pode-se dizer que não houve

evolução em C&T. Enquanto os países do norte avançavam encontrando seus espaços durante a ascensão do capitalismo, em nosso país a C&T marcavam passo sob o implacável jugo da metrópole portuguesa. Essa política colonial foi muito eficiente em seus propósitos, pois passou praticamente despercebida aqui a revolução científica dos séculos XVI e XVII, responsável pela disseminação do espírito científico na Europa, uma das características mais marcantes da chamada modernidade (MOTOYAMA apud AULER e BAZZO, 2001).

Todo desenvolvimento que a revolução científica, trouxe à Europa nunca foi vivido por nosso país. Pode-se dizer que, nesse período de “luz” na Europa, permanecemos nas “trevas”, e ainda, talvez o que tenhamos conseguido, já no período de nossa industrialização tardia, foi importar uma pequena “penumbra” que marcaria nosso desenvolvimento tecnocientífico até o presente.

Conforme Motoyama (apud AULER e BAZZO, 2001) “a C&T no Brasil nunca foram prioridades reais das políticas adotadas ao longo da história. O imediatismo e a cultura retórico-literária, aspectos vinculados ao colonialismo, não permitiram um olhar mais profundo sobre a importância da C&T.”

O Brasil buscou sua industrialização importando tecnologia do exterior, segundo Sant’Anna (apud AULER e BAZZO, 2001) o Brasil “refez as relações de dependência mantidas no modelo econômico anterior. E a perpetuação dessa política estrangulou um desenvolvimento científico e tecnológico autônomo.”

No Brasil, especialmente após a II Guerra Mundial, o governo brasileiro mostrou interesse em incentivar a pesquisa nacional, principalmente no campo da energia nuclear. Contudo, apesar da ideologia desenvolvimentista dos anos 50, no Brasil, a política científica e tecnológica não adquiriu posição de destaque porque a industrialização se baseava muito mais na importação de tecnologias e de técnicos do que pela sua produção nacional.

No fim dos anos 60, sob o nefasto jugo da ditadura, várias instituições científicas passaram a sofrer sucessivas investidas dos militares, assim como renomados cientistas brasileiros foram obrigados a se exilarem em outros países.

Uma das características do movimento CTS é enaltecer a democracia, a importância da sociedade atuar como limitador ético do desenvolvimento científico-

tecnológico. Mas nossa democracia, em comparação com nossa história - de mais de 500 anos como nação desde colônia, império, república (leite e café), ditadura - é apenas um bebê. Infelizmente, em nossa história, convivemos com um Estado predominantemente autoritário, no qual, geralmente, o povo brasileiro ficou alijado de qualquer participação. Ou seja, o Brasil andou, quando não “a reboque” dos países desenvolvidos, na contramão dos movimentos sociais, científicos, industriais e ideológicos.

Então, no contexto mundial¹, o vigente modelo tradicional de progresso prometia que o desenvolvimento científico seria seguido de desenvolvimento tecnológico e econômico, implicando por sequência, o desenvolvimento social.

Com a racionalidade crescente no século XIX, que atribuiu ao homem a tarefa de dominar/explorar a natureza, aliada ao também crescente processo de industrialização, o desenvolvimento centrado na ciência e tecnologia (C&T) passou a ser visto como sinônimo de progresso. Mas, com as guerras mundiais, principalmente a segunda, este desenvolvimento passou a ser questionado. O arsenal de guerra, como as bombas nucleares, deixou bem explícito o poder destrutivo do homem. O que inicialmente parecia um bem inegável a todos, com o passar dos anos revelou outras facetas. À medida que o uso abusivo de aparatos tecnológicos tornava-se mais evidente, com os problemas ambientais cada vez mais visíveis, a tão aceita concepção exultante de C&T, com a finalidade de facilitar ao homem explorar a natureza para o seu bem-estar começou a ser questionada por muitos (ANGOTTI e AUTH, 2001, p. 15).

Os questionamentos sobre a intervenção dos seres humanos no ambiente e seus impactos se tornaram bem expressivos a partir da década de 60, liderados por diversos movimentos de contestação, como o da contra-cultura e o ecologista/ambientalista. Na década de 70, um passo decisivo foi a Conferência de Estocolmo, em 1972, com o lançamento das “bases de uma legislação internacional

¹ Excluem-se os países que tomaram “outros rumos”, ou seja, os comunistas, os socialistas ou aqueles que, pode-se dizer, não tinham “rumo” definido.

do meio ambiente”, versando desde a questão das armas nucleares até a exploração dos recursos naturais.

Na década de 90, com a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente, a Rio/92, muitas ideias e valores lançados e/ou repercutidos nesta Conferência – como desenvolvimento sustentável, cidadania planetária, responsabilidade global – passaram a constituir uma referência básica para as discussões e ações no campo ambiental.

A questão ambiental surge no contexto de uma crise de civilização, em que se coloca em xeque o conhecimento fracionado, a ideia majoritária de progresso, enfim, as promessas da modernidade. (...) a chamada problemática ambiental não se reduz a mais um “objeto” de estudo e investigação para as ciências e as tecnologias contemporâneas, uma vez que deriva do “abalo” da racionalidade científica hegemônica, denunciando os limites dos sistemas econômicos e culturais vigentes. De fato, com a criação de uma sociedade consumista de recursos, capitais e bens, que valoriza a acumulação material, a competição exacerbada, o individualismo egoísta vende uma ilusão alienante de crença na viabilidade desse modelo, que jamais poderia ser alcançado pelo conjunto da população planetária ou até mesmo pela grande maioria das nações existentes. Não há como se pretender que, dentro dessa estrutura, todas as nações atinjam o mesmo nível de desenvolvimento e o mesmo padrão de consumo dos atuais países desenvolvidos, sem que isso não resultasse em graves consequências ambientais (FARIAS e FREITAS, 2007).

Entretanto como sugerem Angotti e Auth, (2001) a ideia de desenvolvimento sustentável, não gerou grandes avanços para resolução de problemas reais, uma vez que todos defendem o desenvolvimento sustentável, ricos e pobres, exploradores e explorados, incluídos e excluídos. Este termo polissêmico, ao ser usado em muitos contextos, parece ter contribuído mais para manter a “lógica vigente” do que para realmente questioná-la e alterá-la.

Isso ressalta que, de fato, o desenvolvimento tecnológico e científico, mesmo com o adjetivo “sustentável”, não garante a resolução de questões sociais. Pelo contrário apenas reforçam as exclusões. A preocupação ambiental vem, nesse contexto, apenas para trazer uma reflexão quanto à possibilidade de manutenção do desenvolvimento ilimitado e corroborar o modelo hegemônico atual, não atentando para o verdadeiro sentido da problemática ambiental conforme bem resume Mahatma Gandhi: “A Terra pode oferecer o suficiente para satisfazer as necessidades de todos os homens, mas não à ganância de todos os homens”.

3.1.1 Os estudos CTS

Os estudos CTS, constituem um campo de trabalho recente, inícios da década de 1970, de caráter crítico a respeito da tradicional imagem essencialista da ciência e da tecnologia, envolvendo a problemática ambiental e de caráter interdisciplinar convergindo diversas disciplinas como filosofia, ciências, história da ciência e teoria da educação.

A Expressão “ciência, tecnologia e sociedade” (CTS) procura, conforme Bazzo (*et al*, 2003), definir um campo de trabalho acadêmico cujo objeto de estudo está constituído pelos aspectos sociais da ciência e da tecnologia, tanto no que concerne aos fatores sociais, políticos e econômicos que modulam a mudança científico-tecnológica, como diz respeito às consequências éticas, sociais e ambientais. Ou seja, o diferencial desses estudos CTS é que elementos não-epistêmicos ou técnicos – valores morais, convicções religiosas, interesses profissionais, pressões econômicas, etc. – desempenham um papel decisivo na gênese e na consolidação das ideias científicas e artefatos tecnológicos.

Esses estudos, segundo Santos e Mortimer (2001), surgiram inicialmente em países europeus e norte-americanos em contraposição aos pressupostos cientificistas que valorizavam a ciência depositando uma crença cega em seus resultados:

A ciência era vista como uma atividade neutra, de domínio exclusivo de um grupo de especialistas, que trabalhava desinteressadamente e com autonomia na busca de um

conhecimento universal, cujas consequências ou usos inadequados não eram de sua responsabilidade. A crítica a tais concepções levou a uma filosofia e sociologia da ciência que passou a reconhecer as limitações, responsabilidades, cumplicidades dos cientistas, enfocando a ciência e a tecnologia (C&T) como processos sociais (SANTOS e MORTIMER, 2001, p.96).

Nesse contexto o enfoque CTS surge como um elemento de integração entre diferentes culturas; de um lado, procura proporcionar uma inserção humanística nas áreas científico-tecnológicas, desenvolvendo uma sensibilidade crítica acerca dos impactos sociais e ambientais derivados das tecnologias e, de outro lado, busca aprimorar um conhecimento contextualizado sobre ciência e tecnologia aos elementos da área de humanas, para que, capacitados, possam participar de discussões sobre políticas tecnológicas e de desenvolvimento científico.

De fato, uma das grandes metas do modelo CTS é dotar as pessoas de habilidades e competências, tornando-as capazes de debater e discutir questões científicas e tecnológicas que permeiam a sociedade.

3.1.2 CTS na educação

Bazzo, Linsingen e Pereira (2003) apontam que os programas CTS existentes na educação secundária (Ensino Médio) podem ser classificados em três grupos: Introdução de CTS nos conteúdos das disciplinas de ciências (enxerto CTS); a ciência vista através de CTS; e, por último, CTS puro.

- **Enxerto CTS:** *Trata-se de introduzir nas disciplinas de ciências, dos currículos, temas CTS, especialmente relacionados com aspectos que levem os estudantes a serem mais conscientes das implicações da ciência e da tecnologia. Os temas são introduzidos sem que a ciência deixe de ser apresentada de modo usual, assim, há pouca alteração na organização e seleção dos conteúdos.*

- **Ciência e tecnologia através de CTS:** *Ensina-se mediante a estruturação dos conteúdos das disciplinas de cunho científico e tecnológico, a partir de CTS ou com orientação CTS. Essa estruturação pode ser levada a cabo tanto por disciplinas isoladas como através de cursos multidisciplinares, inclusive por linhas de projetos pedagógicos interdisciplinares. Por exemplo, no programa holandês conhecido como PLON (Projeto de Desenvolvimento Curricular em Física), trata-se de um conjunto de unidades onde, cada uma delas, tornam-se problemas básicos relacionados com os futuros papéis dos estudantes (como consumidor, como cidadão, como profissional). A partir daí seleciona-se e estrutura-se o conhecimento científico e tecnológico necessário para que o estudante esteja capacitado para entender um artefato, tomar uma decisão ou entender um ponto de vista sobre um problema social relacionado de algum modo com a ciência e com a tecnologia.*
- **CTS puro:** *significa ensinar CTS onde o conteúdo científico passa a ter um papel subordinado. Em alguns casos o conteúdo científico é incluído para enriquecer a explicação dos conteúdos CTS em sentido estrito, em outros as referências aos temas científicos ou tecnológicos são apenas mencionadas, porém não explicadas. Por exemplo, o programa britânico SISCON (ciência no contexto social) na escola usa a história da ciência e da sociologia da ciência e também da tecnologia para mostrar como foram abordadas no passado questões sociais vinculadas à ciência e a tecnologia, ou como se chegou a certa situação problemática no presente (BAZZO, LINSINGEN e PEREIRA, 2003).*

Segundo Carvalho (*apud* FARIAS e FREITAS, 2007), as interações CTS têm interessado cada vez mais a pesquisa e a prática educacional devido às “evidências, cada vez mais contundentes, sobre como a C&T podem afetar a sociedade humana e o ambiente”

Cursos de CTS para o ensino de ciências têm sido propostos tanto para a educação básica quanto para cursos superiores e até de pós-graduação. O objetivo central desse ensino na educação básica é promover a educação científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões (CRUZ; ZYLBERSZTAJN, 2005).

3.2 APRENDIZAGEM CENTRADA EM EVENTOS

Segundo Cruz e Zylbersztajn (2005), várias estratégias têm sido utilizadas nos cursos com enfoque CTS. Que vão além de práticas de palestras envolvendo demonstrações, sessões de questionamento, solução de problemas e experimentos, incluindo jogos de simulação e desempenho de papéis, fóruns e debates, projetos individuais e de grupo, etc. Por isso, no que diz respeito a estratégias de ensino, o enfoque CTS é multifacetado.

Conforme esses autores uma das estratégias dentro do enfoque CTS é a Aprendizagem Centrada em Eventos (ACE) que:

Foi delineada com um evento em particular, ocorrência ou conjunto de circunstâncias retiradas da vida real e usadas como base na elaboração de módulos para o ensino. De especial interesse são os eventos ricos em oportunidades curriculares, isto é, aqueles eventos a partir dos quais um maior número de assuntos pode ser trabalhado. (...) o “evento” deve ser saliente e evocativo, isto é, deve ser um incidente ou episódio que seja motivador, rico em “interesse humano”, capaz de estimular a discussão e o debate (CRUZ; ZYLBERSZTAJN, 2005).

A Ciência e tecnologia através de CTS engloba essa abordagem ACE, articulando os conteúdos científicos dentro de temas que potencializam a aprendizagem, atingindo uma vasta gama de aspectos ligados a educação, ciência,

economia, política, ética, saúde pública e riscos à sustentabilidade. Além de traduzirem um forte apelo frente às repercussões dos problemas ambientais.

3.3 TOMADA DE DECISÃO

Quando pensamos em problemas, logo os associamos às suas possíveis soluções. Contudo, o caminho para essas soluções não é de única via, precisamos tomar decisões, fazer escolhas; inclusive a inação, é uma decisão. Podemos dizer que as decisões que tomamos estão fundamentadas em dois aspectos: conhecimento e valores. Eles precisam existir em equilíbrio e estão interrelacionados. Por exemplo, uma pessoa com elevado grau de conhecimento pode tomar decisões práticas, porém moralmente erradas, eficientes, mas egoístas, lucrativas, mas inconsequentes. Por outro lado, uma pessoa com caráter, com ética, mas sem conhecimento do que fazer, como fazer e para que fazer, não terá condições de tomar decisões, mesmo tendo boas intenções. Por isso, é tão imprescindível que esses aspectos sejam desenvolvidos no cidadão de forma equilibrada e completa.

Vivemos em uma época em que todos os dias somos confrontados com decisões pessoais e sociais que podem interferir no futuro de nossa sociedade. Decisões pessoais como separar o lixo para reciclagem, optar pelo transporte público ou ir de carro para o trabalho, decisões sociais dentre as quais, apoiar ou não a construção de usinas nucleares, o investimento em fontes renováveis de energia, a produção e consumo de transgênicos, reflorestamento, campanhas “pró-verde”, etc.

Nesses exemplos, questões com as quais somos confrontados no nosso dia-a-dia, podem e devem ser abordados no contexto educativo, onde conheceremos a ética, desenvolveremos nossa conduta moral e também aprenderemos o conjunto de competências necessárias para nos posicionar frente às importantes decisões científicas, tecnológicas, sociais, ambientais e políticas que delimitam nosso futuro.

3.3.1 Por que agora?

Em um contexto de crise, a conscientização, ou sensibilização, exerce um importante papel na participação dos indivíduos com respeito às decisões a serem tomadas.

Em uma nova área da psicologia cognitiva sobre a liberdade de escolha, mostra-se que muitas das decisões que tomamos na vida são influenciadas, em grande parte, por nosso inconsciente. E que construímos preferências e valores em resposta a perguntas que o mundo nos faz ou com possibilidades que ele nos apresenta (SCHWARTZ, 2007).

São raras as oportunidades que assuntos científicos se tornam tão populares. Até mesmo a questão do aquecimento no planeta devido à poluição atmosférica, que já era discutida e estimada há muito tempo², somente tomou destaque no mundo com o último relatório do IPCC em 2007. Recentemente, a questão da energia nuclear no Brasil se popularizou com a construção da usina nuclear Angra I na década de 1970. Isto aguçou a curiosidade dos jovens servindo de motivação para que muitos se apaixonassem por Ciências. Outro exemplo foi a Teoria da Relatividade, mesmo complexa para muitos, se tornou popular em nosso país com o evento em Sobral-CE³, no dia 29 de maio de 1919 e com a visita de Einstein ao Brasil em 1925.

Assim, a popularização do aquecimento global abriu as portas para influenciar as escolhas inconscientes da população em geral. Não se trata de querer “manipular maquiavelicamente” o inconsciente coletivo e transformá-los em zumbis liderados por Al Gore⁴. Ao contrário, trata-se de fornecer mais informação para que a comunidade possa corretamente eleger prioridades.

² “Um cálculo simples mostra que a temperatura das regiões árticas subiria de 8 a 9°C se o ácido carbônico [CO₂] aumentar de 2,5 a 3 vezes o seu valor atual...” *Arvid Gustav Högbom, “Om Sannolikheten FöSekulära I Atmosfärens Kolsyrehalt”, 1894.*

³ Uma expedição organizada pela Royal Astronomical Society, chefiada pelo astrônomo Andrew Crommelin, para a observação do eclipse solar que, conforme cálculos, seria melhor observado em Sobral-CE. O objetivo dessa expedição foi confirmar a Teoria Geral da Relatividade, publicada por Einstein em 1915.

⁴ Ex-vice-presidente dos EUA alcançou grande destaque no combate ao aquecimento global após publicação de seu livro “Uma Verdade Inconveniente” e um filme documentário de mesmo título em 2006, que rendeu um Oscar de melhor documentário em 2007. E junto com IPCC recebeu o prêmio Nobel da Paz em 2007 pelos seus esforços na construção e disseminação de maior conhecimento sobre as alterações climáticas induzidas pelo homem e por lançar as bases necessárias para inverter tais alterações.

Uma pesquisa feita por Daniel Kahneman (SCHWARTZ, 2007), professor da Universidade de Princeton, mostrou que, um grupo de voluntários estava disposto a contribuir mais para uma campanha para salvar golfinhos do que para uma que prevenisse o câncer de pele na população rural. Porém, quando os dois temas foram colocados lado a lado na mesma tela mental, houve mudança de opinião. Assim, uma pergunta formulada num contexto mais limitado pode fazer com que um projeto de baixa prioridade ganhe relevância, ao passo que quando uma política pública é apresentada num cenário mais amplo, é possível persuadir os indivíduos a rever suas prioridades (SCHWARTZ, 2007).

Fica latente que controlar a moldura do debate, pode mudar a opinião pública em qualquer direção. Não se trata apenas de popularizar a ciência, mas também inserir mais pessoas bem informadas nas discussões políticas. Os exemplos da energia atômica e da Teoria da Relatividade são muito importantes, mas o peso da decisão sobre o que fazer com o aquecimento global remete a uma complexa rede de problemas com questões de ordem científica (causas e possíveis consequências das mudanças climáticas), econômica (custos dos prejuízos e custos da prevenção dessas mudanças), políticas (pressões de lobbies interessados e consequências eleitorais das medidas econômicas propostas), éticas (deve a geração atual pagar a conta do aquecimento global para evitar suas consequências desastrosas para as gerações futuras?), sendo a principal delas, a de ordem vital, ou seja, a sustentabilidade da vida humana.

A abordagem constante desse tema pela mídia mundial, aliado a imensa capacidade de disseminação de informação pela mídia atual e sua grande capilaridade por todo estrato da sociedade, nos fez “cair ao colo” uma oportunidade rara, que nos permite discutir ciência de forma contextualizada com a maioria da população, aproveitando a curiosidade nela despertada, recrutando futuros cientistas e, principalmente, formando cidadãos conscientes de suas responsabilidades quanto ao futuro da humanidade, capacitando-os a participar de discussões científicas que envolvem posições antagônicas, negociação, argumentação e tomada de decisão.

Nesse sentido, percebemos claramente uma urgência de valorização da educação onde o educando sinta-se inserido na sociedade em que vive, sendo incentivado a discutir assuntos de seu cotidiano, permitindo-o expressar suas opiniões, aprendendo a argumentar e tomar decisões bem fundamentadas,

respaldadas pela ética, e, neste caso, referente às decisões que dizem respeito às relações Ciência, Tecnologia e Sociedade.

A educação deve promover condições para a difusão de valores fundamentais ao interesse social, aos direitos e aos deveres dos cidadãos, de respeito ao bem comum e à ordem democrática. A educação deve se empenhar para formar cidadãos informados e capazes de tomar decisões sobre problemas atuais, particularmente questões envolvendo CTS.

A democracia pressupõe que os cidadãos, e não somente seus representantes políticos, tenham a capacidade de entender alternativas e, com tal base, expressar opiniões e, em cada caso, tomar decisões bem fundamentadas. Ou seja, o cidadão deve estar capacitado a analisar e avaliar os aspectos positivos e negativos da ciência, do desenvolvimento tecnológico e dos contextos social, político e econômico. Para então definir seus valores e tomar as decisões pertinentes, reconhecendo a relevância de suas decisões.

A falta de formação acadêmica e de sensibilização resultam na inação frente às políticas hegemônicas que se mantêm e, não raro, fortalecem as exclusões. Onde a supervalorização do lucro prescinde o reconhecimento do ser humano. O mercado regula as demandas, definindo os perfis ideais, as competências.

Hoje, a mídia tem um papel altamente relevante na composição dos valores e competências dos cidadãos, ou seja, os meios de comunicação tem tido um papel significativo enquanto formadores de opinião. Principalmente para aqueles que restringem sua fonte de informação às programações de TV. Com essa limitação de informação, o telespectador é conscientemente, ou inconscientemente, induzido a obedecer a um padrão de comportamento e de valores orientados pelos formuladores de opinião de tais emissoras. Com isso, ficamos sujeitos à inversão e crise de valores, a mercê de tais programações.

É imprescindível a participação da escola na formação dos cidadãos, principalmente devido à associação que existe entre competências e valores, que estão intimamente relacionados ao nível de informação da população. Assim, se faz necessário implementar propostas político-pedagógicas que viabilizem a educação numa perspectiva libertadora dos envolvidos nessa “limitação cultural”. Ou seja, os jovens precisam ser alcançados por instrumentos educacionais a fim de que possam atuar na sociedade com lucidez, assumindo plenamente seu papel no meio social.

Xavier e Ker (2004) após analisarem textos jornalísticos e livros paradidáticos sobre o tema do efeito estufa, concluíram que, mesmo textos jornalísticos de importantes periódicos analisados, apresentam ausência de rigor científico no tratamento da questão do efeito estufa, ou seja, não se preocupa com a explicitação correta dos conceitos científicos envolvidos, trazendo um prejuízo para sociedade, pois negligenciam as assertivas científicas e valorizando o sensacionalismo. Por outro lado, a análise de livros paradidáticos mostrou que estes foram concebidos com maior coerência com as hipóteses aceitas pela comunidade científica, mas ainda assim alguns autores deixaram lacunas significativas ao tratarem do tema. Esses exemplos indicam que a abordagem de conteúdos para o ensino precisa de um crivo responsável e especializado. Por isso se torna imprescindível um maior investimento em divulgação científica a fim de suprimirmos aquelas informações desconexas e alienantes.

Para Zuin *et al*, (2008), a concepção CTS preocupa-se com a divulgação e a popularização de conhecimentos técnico-científicos para que cada vez mais os cidadãos, de posse dessas informações, transformem-se em agentes atuantes na sociedade, defendam suas próprias opiniões e se tornem, assim, protagonistas de mudanças capazes de influenciarem positivamente a tomada de decisões.

3.4 REFERENCIAL DOS PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS (PCNs)

Atualmente, dentro de uma abordagem disciplinar de Física, algumas vezes são discutidos fenômenos como o efeito estufa, o comportamento da camada de Ozônio, ou formas de geração e transformação de energia. Aprofundando-se os conceitos necessários ao entendimento dessas questões sem que, no entanto, seja introduzida de fato uma abordagem que possa contribuir para o entendimento da complexa questão ambiental.

Por outro lado, quando analisamos as diversas iniciativas no âmbito da Educação Ambiental (EA), no Brasil normatizada pela Lei 9.795 de 27/04/99 (BRASIL, 1999), frequentemente podemos constatar que os conhecimentos de Física não são introduzidos, limitando as abordagens ambientais a no máximo aspectos biológicos. Além disso, quando comparecem análises de processos físicos, a abordagem acaba se limitando a aspectos predominantemente informativos, sem o

aprofundamento das relações, fenômenos e conceitos que permitiriam uma verdadeira apropriação do conhecimento por parte dos estudantes.

Instaurando, assim, dois discursos diferentes: o do conhecimento disciplinar específico, por um lado, e aquele da Educação Ambiental, por outro, sem que esses discursos se articulem (SOUSA e KAWAMURA, 2004).

Existe, dessa forma, uma lacuna no ensino de ciências que exige uma proposta que seja capaz de articular o conhecimento dos processos físicos, presentes nas tecnologias e na natureza, com as importantes questões ambientais que se desdobram em questões sociais, econômicas e políticas.

Conforme os PCNs+ (Brasil, 2002), a Física deve contribuir para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário. Também fornecendo instrumentos para compreender, intervir e participar do mundo em que vive. Nesse sentido, o ensino de Física transcende a prática da pura transferência de informações e se reveste de responsabilidade de moldar e capacitar o indivíduo.

É sempre necessário fazer escolhas em relação ao que é mais importante para a formação do indivíduo e quais competências serão as mais apropriadas para melhor compreensão da realidade.

(...) quando se toma como referência o “para que” ensinar Física, supõe-se que se esteja preparando o jovem para ser capaz de lidar com situações reais, crises de energia, problemas ambientais (...) o conhecimento a ser apreendido em Física que não se reduz apenas a uma dimensão pragmática, de um saber fazer imediato, mas que deve ser concebido dentro de uma concepção humanista abrangente, tão abrangente quanto o perfil do cidadão que se quer ajudar a construir. Esse objetivo mais amplo requer, sobretudo, que os jovens adquiram competências para lidar com as situações que vivenciam ou que venham a vivenciar no futuro, muitas delas novas e inéditas (BRASIL, 2002, p.61).

3.4.1 Competências e Temas estruturadores

Nos PCNs foram estabelecidas algumas competências e habilidades importantes para o educando como: Representação e Comunicação, Investigação e Compreensão e Contextualização Sócio-Cultural⁵. Que podem ser alcançadas por meio dos Temas Estruturadores, ou seja, de uma organização capaz de dar conta ao mesmo tempo de tópicos disciplinares e do desenvolvimento de competências, habilidades, valores e atitudes.

Nesse sentido, a escolha criteriosa de tais temas torna-se essencial para que os objetivos da aprendizagem sejam alcançados. E conforme os objetivos traçados, certos assuntos ou tópicos, terão maior êxito por possuírem maior potencial de exploração do que outros. Esse potencial se relaciona ao desenvolvimento de habilidades e competências, bem como os valores humanos, espírito crítico no aluno, enfim, que capacitem o indivíduo compreender, interagir e transformar a realidade na qual estamos inseridos.

Para tal, o Aquecimento Global desponta como um importante tema estruturador em Física, pois além de englobar outros temas multidisciplinares, fornece elementos para o desenvolvimento de competências que permitem lidar com fontes de energia, processos e propriedades térmicas de diferentes materiais, permitindo escolher aqueles mais adequados a cada tarefa. Competências para compreender e lidar com as variações climáticas e ambientais ou, da mesma forma, com os aparatos tecnológicos que envolvem esse conhecimento, fornecendo elementos para avaliar a intervenção da atividade humana sobre essas variações. Trazendo reflexão quanto à evolução dos processos humanos ao longo da história, que se desenvolveram numa relação de necessidade, produção e poluição. Bem como o conhecimento das transformações energéticas, com suas limitações intrínsecas, ou o desenvolvimento de nações que não tiveram cuidado com a exploração dos recursos naturais e consequências ambientais.

Reis (1999) destaca a possibilidade de se desenvolver competências através da discussão de assuntos controversos como a pesquisa de informação, detecção de incoerências, avaliação da idoneidade das fontes, comunicação da informação recolhida, exposição de pontos de vista divergentes, fundamentação de opiniões, poder de argumentação e trabalho cooperativo.

⁵ Veja a lista de competências sugeridas pelos PCNs no anexo A

Dentre outras competências a serem desenvolvidas na educação de um cidadão crítico, destacamos o enfrentamento de questões como o aquecimento global, o questionamento de fontes de informação, a compreensão dos processos naturais e tecnológicos, o uso dos conhecimentos de Física, de Química e de Biologia para explicar o mundo natural e para planejar, executar e avaliar intervenções práticas. Sabendo também utilizar elementos e conhecimentos científicos e tecnológicos para diagnosticar e equacionar questões sociais e ambientais.

3.4.2 Contextualização e Interdisciplinaridade

Em função do seu caráter multidisciplinar e da sua relevância frente ao interesse público, o tema Aquecimento Global pode ser visto como um grande tema através do qual se pode explorar diversos sub-temas, como a relação do homem e o clima, o balanço de radiação terrestre, espectro de radiação, interação entre radiação e matéria, temperatura e calor, energia, importância física e social da água, alterações climáticas, sustentabilidade, etc. Tais temas são caminhos facilitadores para introdução dos conceitos científicos, além de proporcionar elementos para uma formação crítica do indivíduo.

Ao analisarmos a grade curricular da Educação Básica no Brasil, percebemos que o estudo do clima acaba sendo direcionado às disciplinas de Geografia e Ciências, no Ensino Fundamental e suprimido no Ensino Médio quando a disciplina Ciências é substituída por Química e Física. As conexões interdisciplinares acabam se perdendo nesse processo que deveria somar e não subtrair conhecimento dos alunos. Temas atuais e tão importantes para formação acadêmica e social dos alunos, como o aquecimento global, deixam de ser citados nas aulas e nos livros de tais disciplinas.

Nesse sentido, é oportuno explorar, no Ensino Fundamental e Médio, as relações CTS, principalmente a contextualização dos assuntos científicos nos conteúdos das disciplinas. O Ensino Fundamental tem relativa vantagem por possuir, na disciplina Ciências, um relacionamento integrado das ciências naturais; já o ensino médio necessita de um esforço maior para romper com a fragmentação das ciências nas disciplinas Física e Química. Uma incorporação de conteúdos CTS nos

currículos, em especial no Ensino Médio, é imprescindível para aprimorar um currículo contextualizado que reforce os diversos aspectos necessários à formação do indivíduo.

Assim, Santos (2007) questiona se a simples menção de um fenômeno ou do cotidiano significa contextualização; reforçando sua afirmação dizendo que *“essa aparente contextualização é colocada apenas como um pano de fundo para encobrir a abstração excessiva de um ensino puramente conceitual, enciclopédico, de cultura de almanaque”*. Esforços para desmistificar a Ciência se esbarram num ensino que, para os alunos, se resume em uma memorização de nomes complexos, classificações de fenômenos e resolução de problemas por meio de algoritmos. Por outro lado, a simples inclusão de questões do cotidiano pode não implicar a discussão de aspectos relevantes para a formação do aluno enquanto cidadão ou não motivar suficientemente os alunos a se interessarem por ciências.

Portanto, o ensino deve romper com essas fragilidades, desenvolvendo valores e competências numa perspectiva mais humana diante das questões sociais com relação à ciência, tecnologia e natureza. Para isso é necessário a articulação do currículo com situações reais que envolvam o cotidiano do aluno, suas vivências, saberes e concepções. Onde abordagens de temas sociais e situações reais, de forma articulada transversalmente aos conteúdos e aos conceitos científicos, se tornem bases sólidas para que os alunos compreendam o mundo natural, técnico e social em que estão inseridos. Desenvolvendo, na qualidade de cidadãos, a capacidade de tomada de decisão com maior responsabilidade.

Auler (*apud* NASCIMENTO e VON LINSINGEN, 2006) comenta que o enfoque CTS “permite compreender problemas relacionados ao contexto do aluno” de modo que “a aprendizagem é ‘facilitada’ porque o conteúdo está situado no contexto de questões familiares e relacionado com experiências extra-escolares dos alunos”.

Cabe lembrar que o cotidiano dos alunos brasileiros é imerso em informações, principalmente aquelas veiculadas pelos principais meios de comunicação como televisão e internet. Portanto, o tema do aquecimento global é comum, mesmo que não compreendido satisfatoriamente pela maior parte dos estudantes.

Essa familiaridade contribui naturalmente para compreensão dos conceitos científicos envolvidos, levando posteriormente ao entendimento de outros tópicos como a responsabilidade antrópica na questão ambiental, o uso de energia fóssil, a

composição atmosférica, o efeito estufa, etc. Refletindo, no estudante, uma melhor leitura do mundo natural, científico, político, econômico e social em que vivemos.

Para um maior alcance, outras estratégias devem ser desenvolvidas em conjunto. O Aquecimento Global, como tema, abre espaço para a construção de conhecimentos em diferentes disciplinas, como por exemplo em:

Química: A identificação e o comportamento das moléculas em nossa atmosfera;

Biologia: A biodiversidade; A extinção de espécies; As condições para proliferação de doenças;

História: As condições sócio-econômicas e ambientais em que se desenrolaram as Revoluções Científica, Industrial e Tecnológica;

Geografia: A discussão das divisões políticas, sociais, econômicas e ambientais no mapa mundial com gráficos indicando os países que mais contribuíram e contribuem com a emissão de gases estufa;

Português: A promoção de seções de leituras, trabalhando o uso de diferentes linguagens (cotidiana, científica, técnica); A redação de textos exprimindo a opinião dos estudantes;

Matemática: Cálculos de estimativas, tendências e interpretação de gráficos e tabelas;

Essas estratégias podem contribuir para derrubar falsos mitos a respeito da ciência como “infabilidade”, ausência de erros, incertezas, suposta neutralidade, certeza de poder resolver qualquer problema, etc.

A relevância desses tópicos não pode ser ignorada no processo de formação do aluno, em especial o do Ensino Médio. Conforme os PCNs, “na perspectiva escolar, a interdisciplinaridade não tem a pretensão de criar novas disciplinas ou saberes, mas de utilizar os conhecimentos de várias disciplinas para resolver um problema” (BRASIL, 2000, p. 21).

Ou seja, não se trata de excluir os conceitos ensinados, mas sim de que forma abordaremos esses conceitos. Muitas vezes os alunos apresentam dificuldades causadas pela própria abordagem dos livros, ou mesmo pelo professor que apresenta os conteúdos descontextualizados da realidade cultural do aluno.

Os alunos têm, diariamente, acesso a muita informação através da mídia em geral. Quando a escola traz os conteúdos de forma segmentada, apenas reproduz a realidade das informações que tais alunos recebem diariamente. E não suprim, dessa forma, a necessidade do aluno em filtrar e interligar tais informações.

Ou seja, conforme a teoria da aprendizagem de Ausubel (2003) o aluno nessas condições somente conseguirá reproduzir tal conteúdo de maneira idêntica a que lhe foi apresentado, pois ele absorveu esse conteúdo de maneira literal. Sua aprendizagem foi mecânica.

Uma abordagem interdisciplinar dos conceitos físicos (ou de outra matéria), centrada num tema já incorporado pela estrutura cognitiva do aluno terá maior êxito. Dessa forma ele aprenderá a estrutura da informação de maneira que poderá, com maior facilidade, solucionar problemas em outros contextos.

Em uma aprendizagem significativa não acontece apenas a retenção da estrutura do conhecimento, mas se desenvolve a capacidade de transferir esse conhecimento para uma possível utilização em um contexto diferente daquele em que ela se concretizou.

Quando o aprendiz tem pela frente um novo corpo de informações e consegue fazer conexões entre esse material que lhe é apresentado e o seu conhecimento prévio em assuntos correlatos, ele estará construindo significados pessoais para essa informação, transformando-a em conhecimentos, em significados sobre o conteúdo apresentado.

Essa construção de significados não é uma apreensão literal da informação, mas é uma percepção substantiva do material apresentado, e desse modo se configura como uma aprendizagem significativa (TAVARES, 2005).

Entretanto, existem certos conceitos físicos difíceis de serem assimilados por envolverem a necessidade de graus de abstração mais elevados, como interação da radiação com a matéria. Quando abordamos problemas associados ao cotidiano do aluno, ou seja, dentro de seu contexto social e intelectual, o aluno encontrará maior facilidade para compreender os conceitos, pois seus significados já incorporados anteriormente contribuirão efetivamente para estruturação do conhecimento.

O aluno perceberá que a ciência é excelente ferramenta para entender a natureza, desmistificando a dificuldade de aprender física. Assim, conceitos que antes não tinham espaço na grade curricular, por serem mais complexos, poderão ser abordados mais facilmente.

Assim, podemos sugerir que os objetivos educacionais do Ensino Médio podem passar a ter maior ambição formativa, tanto em termos da natureza das informações tratadas, dos procedimentos e atitudes envolvidas, como em termos das habilidades, competências e dos valores desenvolvidos.

Como vimos anteriormente, as decisões que tomamos são influenciadas pelo contexto de informação e formação que temos. Por isso necessitamos de conhecimento amplo e profundo o suficiente para tomarmos decisões corretas. É nesse sentido que a aprendizagem se torna, mais do que nunca, essencial.

4 METODOLOGIA

Uma proposta curricular de CTS deve incluir conteúdos integrados de ciências e tecnologia dentro de uma visão crítica de seus papéis sociais, ou seja, que aborde discussões sobre os aspectos ambientais, históricos, éticos, políticos, e socioeconômicos da ciência e da tecnologia. Essa proposta deve ir ao encontro da construção de meios que viabilizem a atuação dos professores no desenvolvimento de habilidades, competências e valores nos alunos, futuros cidadãos.

Para tanto é necessário um esforço das diversas áreas do conhecimento a fim de desenvolverem trabalhos acadêmicos e materiais, didáticos e paradidáticos, que venham atender essa proposta curricular.

Nesse sentido, fomos desafiados a elaborar, um material paradidático de Física que apresentasse conceitos físicos de forma dinâmica, com fluidez e clareza. Ao passo que, na perspectiva CTS, deveria incorporar criticidade, reflexão e conhecimento das relações sociedade-natureza, ciência-sociedade e tecnologia-sociedade. E concomitantemente com o desenvolvimento desse material, deveríamos mensurar seu alcance conceitual procurando validá-lo em uma série de aulas expositivas numa turma piloto.

Assim, dentro da ótica “Ciência e Tecnologia através de CTS” e da “Aprendizagem Centrada em Eventos (ACE)” é que desenvolvemos um livro paradidático intitulado A FÍSICA DO AQUECIMENTO GLOBAL, onde o conhecimento de um tema cercado pelos aspectos CTS, forma as unidades do livro, trazendo tal problema ambiental como meio para explicitação dos conceitos científicos envolvidos, abordando as tecnologias que contribuíram para seu agravamento, bem como outras que procuram mitigá-lo, e ainda, sua evolução histórico-social.

4.1 OS CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO TEMA

Alguns dos critérios conforme indica Santos (SANTOS, 2001 *apud* ZUIN *et al*, 2008) são necessários nos materiais curriculares de CTS, de modo que propiciem condições de aprendizagem:

- a) Responsabilidade sócio-ambiental dos cidadãos;
- b) Influências mútuas CTS;
- c) Relação com as questões sociais;
- d) Ação Responsável;
- e) Tomada de decisões e resolução de problemas.

Em virtude do que já foi apresentado, dentre esses itens destacamos o último: “Tomada de decisões e resolução de problemas”. Trata-se de uma competência primordial para a sustentabilidade da civilização global, pois resume os outros pontos citados garantindo aos estudantes uma visão mais abrangente das ciências e suas tecnologias propiciando uma aprendizagem significativa. Também é de suma importância a conscientização das ações humanas, individual ou coletiva, seja de cunho ambiental, social ou ético.

Quando o indivíduo se depara com uma questão controversa, ele é instigado a produzir sua opinião, discutir e argumentar sua posição. Isso oferece uma excelente oportunidade de aprendizagem. E, sendo a controvérsia um fato da vida, como se pode pretender desenvolver cidadãos capazes de decidirem perante questões morais complexas de sua vida, se os alunos não forem ensinados a pensar criticamente sobre assuntos controversos (REIS, 1999).

Então, na busca de um tema que contemplasse um suporte conceitual no ensino de ciências com enfoque CTS, que viesse de encontro com a necessidade de atualização didática com possibilidades de exploração multidisciplinar levando à reflexão de aspectos sociais, ambientais e éticos. E ainda, com o benefício de uma grande repercussão na mídia fomentando a curiosidade da população. Fomos conduzidos ao tema do aquecimento global.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO LIVRO

Num trabalho de Lopes *et al* (2009) foi elaborado um mapeamento de trabalhos relacionados à temática Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) apresentados nas últimas edições (período entre 2000 e 2007) de dois eventos da área de Ensino de Ciências: o ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências) e o EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física). Este artigo inferiu que:

(...) boa parte dos pesquisadores se preocupa apenas em detectar a forma de pensar e agir dos sujeitos, em vez de propor mecanismos que propiciem uma abordagem que vise a discussões efetivas sobre as relações entre Ciência e Tecnologia e suas implicações na Sociedade e no Ambiente. (grifo nosso)

Então, motivados pela falta de material adequado para a abordagem e discussão de um tema tão importante e a existência, conforme encontraram Xavier e Ker (2004), de muitos materiais elaborados sem o devido rigor científico, realizamos uma extensa pesquisa bibliográfica em artigos, revistas, livros, sites da internet, em busca dos aspectos já abordados, das lacunas existentes a respeito do tema e de subsídios para elaboração do novo material. Assim, nos dispomos a confeccionar um material que atendesse essas necessidades.

O seu modelo de abordagem curricular do livro consistiu no desenvolvimento de conteúdos de física sem a exaustiva exposição de aparatos matemáticos, que dificultam, por vezes, a compreensão dos conceitos físicos⁶. Dessa forma, a explicitação do conteúdo de forma contínua, intenciona facilitar o entendimento dos conceitos, mesmo que no início da leitura estes estivessem implícitos. Essa separação entre os conceitos e as formulações matemáticas, serve para encorajar a leitura àqueles que não têm domínio de tais ferramentas. Então optamos por adicionar as relações “mais complexas” como apêndices.

Toda abordagem do tema é feita com o propósito de que o aluno possa compreender os processos físicos relacionados ao tema e possa discutir as

⁶ Essa dificuldade é resultado da falta de hábito, de alguns estudantes, com esses simbolismos matemáticos, que são úteis, mas necessitam de um relativo grau de conhecimento.

condições em que tal problema ambiental se desenvolveu, bem como suas implicações e quais as medidas para mitigar seus efeitos.

O livro foi elaborado de forma cuidadosa quanto aos conceitos apresentados, para que a aprendizagem seja concebida dentro das atuais concepções científicas.

4.2.1 A Escolha dos Capítulos

Cada tópico ou capítulo foi desenvolvido com o objetivo de dar fluidez ao livro estabelecendo vínculos entre si, tornando-o dinâmico e homogêneo. Os conteúdos de física são explicitados ao longo da leitura, ou seja, não há separação entre o tema e os conteúdos.

Os capítulos também propiciam estudos interdisciplinares e o desenvolvimento de atitudes e valores de forma articulada com os avanços na compreensão tanto do tema quanto dos conceitos introduzidos.

A articulação entre os capítulos oferece, tanto uma integração dos conceitos, como uma liberdade na ordem da abordagem na prática de ensino. Seu formato final permite ao professor a opção de utilizá-los de acordo com os seus pressupostos pedagógicos e sua adequação metodológica. Ou seja, a sequência dos capítulos não deve ser encarada como algo inflexível, que se deve seguir, obrigatoriamente, a ordem apresentada, ou que tenha tempo predeterminado. Pois no processo pedagógico, há conceitos que podem ser suprimidos num primeiro momento sendo abordados somente depois de um amadurecimento de outros conceitos presentes em capítulos posteriores. O processo de aprendizagem é dinâmico e adaptável ao momento vivido pelos aprendizes.

Cabe-se destacar, todavia, que o caráter de criticidade a ser atribuído à abordagem proposta vai depender, sobretudo, da forma como capítulos serão debatidos e mediados pelo professor em sala de aula.

4.2.2 Livro Paradidático

A opção pelo modelo paradidático foi uma questão de enquadramento, que se deveu a conformidade com os objetivos traçados. A expressão “para” é de origem grega e que significa “além” ou “adiante”. Dialeticamente os livros paradidáticos

estariam “além dos livros didáticos”, ou seja, são elaborados visando complementar, ir além, aprofundar assuntos não atendidos completamente nos livros didáticos. Caracterizando-se como obras que objetivam incentivar o aluno ao estudo, contribuindo para a contextualização e atualização dos conteúdos e, ainda, tornar lúdico o aprendizado.

4.2.3 Reprodutividade

A efetividade de propostas educacionais como esta, dentro do enfoque CTS, pode ser ampliada para vários níveis de formação. Apesar de existir importantes diferenças entre tais níveis e entre as especialidades, considerando as especificidades de cada situação, é possível encontrar, em nossa proposta, subsídios conceituais para os diversos níveis e modalidades de ensino. Ou seja, apesar de estar, a priori, direcionada para o ensino médio, ao realizar as devidas adaptações e contextualizações, sua aplicabilidade pode ser estendida ao ensino fundamental ou ao superior.

Outras disciplinas podem desenvolver trabalhos semelhantes, aprofundando os conceitos relacionados a temas interdisciplinares como o aquecimento global. Isso deve ser estimulado a fim de proporcionar alternativas ao currículo tradicional.

Por outro lado, podem ser desenvolvidos materiais complementares como experimentos, dinâmicas, debates simulados, trabalhos em grupo, pesquisas adicionais, filmes, palestras, etc.

4.3 TURMA PILOTO

Após o desenvolvimento do livro procuramos testá-lo aplicando seu conteúdo em uma turma denominada piloto, a fim de mensurar e validar o alcance conceitual do mesmo.

Nossa expectativa, com os alunos, era de que o livro atuasse como um instrumento mediador da articulação das questões concernentes ao aquecimento global e os conceitos científicos envolvidos. O livro deveria colaborar para uma visão mais abrangente dos aspectos relacionados, facilitando a interligação dos conceitos

através de uma solução temática, bem como conscientizando-os da responsabilidade e atuação histórica do homem frente a natureza.

4.3.1 Estratégia

A estratégia de aplicação foi elaborada de forma a se ajustar ao método de ensino encontrado na escola. Assim, desenvolvemos aulas expositivas com suporte do livro A FÍSICA DO AQUECIMENTO GLOBAL, procurando explorar a curiosidade dos estudantes sobre o tema questionando seu conhecimento sobre os fenômenos naturais e responsabilidade ambiental. Fizemos o levantamento das concepções iniciais dos alunos com o questionário e sugerimos a leitura do livro conforme o planejamento das aulas. Os alunos foram instruídos a responderem a lista de exercícios anexa ao livro para posterior entrega. Foram esclarecidos de que realizariam um teste e que, juntamente com as respostas da lista, receberiam conceito no bimestre corrente do ano letivo.

4.3.1.1 Papel do Professor

Numa proposta de construção coletiva do conhecimento é imprescindível que o professor tenha uma atitude criativa, crítica e ilustrada. Articulando conhecimentos, argumentos e contra-argumentos, baseados em problemas comuns, e neste caso relacionados com as implicações do desenvolvimento científico-tecnológico e das escolhas sociais.

4.3.1.2 A Turma

Para essa pesquisa escolhemos uma turma de 20 alunos (faixa etária de 16-17 anos) do 2º Ano do Ensino Médio, período noturno, do IFF (Instituto Federal Fluminense) na cidade de Campos dos Goytacazes - RJ (antigo CEFET - Campos).

O perfil da Turma era de adolescentes, com comportamentos variados e típicos dessa idade. Alguns se destacavam em querer chamar atenção para si, enquanto que outros eram tímidos, alguns muito comprometidos com o aprendizado

e outros muito pouco. Também notamos uma baixa frequência nas aulas e falta de motivação por alguns alunos.

Por outro lado, com o desenrolar das aulas os alunos se mostraram participativos e espontâneos, o que facilitou a exposição, discussão, interação e percepção das necessidades quanto ao aprendizado.

Os alunos sugeriram possuir relativa habilidade na busca de informação complementar, seja em jornais, revistas ou internet.

4.3.1.3 Fonte de Dados (Questionário e Teste)

O Questionário (Apêndice A), ou pesquisa exploratória, se apresenta como um excelente aliado, uma vez que é ideal para auxiliar o professor na fase de planejamento, contribuindo para a elaboração da estratégia que melhor se encaixa nas necessidades dos alunos. Com essa pesquisa, o pudemos mensurar o conhecimento prévio, ou seja, as concepções iniciais dos alunos sobre o tema e subtemas. Então, através da análise das respostas dos alunos, pudemos notar com mais clareza seus níveis de conhecimento a respeito do assunto. Assim, desenvolvemos as aulas privilegiando os tópicos mais destoantes.

O Teste (Apêndice B) foi elaborado com intuito de mensurar a evolução da aprendizagem a partir da aplicação do questionário. As perguntas do teste foram semelhantes ao questionário, facilitando a comparação entre as respostas dos alunos individualmente.

4.3.1.4 O Livro

O livro atuou como instrumento mediador no processo de aprendizagem, estimulando nos estudantes a leitura, propiciando a contextualização dos conceitos envolvidos, e contribuindo para o desenvolvimento da autonomia intelectual dos estudantes. Foi apresentado no princípio da abordagem, sendo descrito como um material com qualidades conceituais e com simplicidade para leitura.

4.3.1.5 Site

Utilizamos também a internet como ferramenta de disseminação do conteúdo. Criamos um grupo do Google, uma espécie de comunidade no endereço <http://groups.google.com.br/group/fisica-das-mudancas-climaticas?hl=pt-BR>, para disponibilizar o material desenvolvido para a turma. Todos os alunos puderam fazer parte do grupo bastando fornecer seus e-mails para receberem o convite.

Os alunos receberam todo material impresso, não havendo a necessidade de acesso ao site, por isso este foi pouco requisitado. Contudo este figurou como uma estratégia que pode ser melhor explorada, principalmente como uma opção ecológica evitando gasto com impressão.

4.3.1.6 Roteiros

Os Roteiros de Aula (Apêndice C) foram elaborados para facilitar a condução das aulas, podendo ser utilizados como tópicos em slides se a escola oferecer o recurso de projeção. Foram elaborados conforme o perfil da turma e da disponibilidade de tempo. Optou-se por uma sequência dos assuntos diferente daquela encontrada no livro, em decorrência do conhecimento prévio dos estudantes.

4.3.1.7 Lista de Exercícios

Foi desenvolvida com intuito de potencializar o aprendizado conduzindo os alunos a se aprofundarem nas questões elaboradas fixando os conceitos nelas inseridos. A lista está agregada ao livro no Apêndice IV.

4.3.2 Abordagem

Desenvolvemos o trabalho no prazo que consideramos mínimo para explicitação do conteúdo, ou seja, 9 aulas conforme os roteiros (Apêndice C). Instruímos os alunos quanto a necessidade da leitura do livro A FÍSICA DO

AQUECIMENTO GLOBAL e da realização da lista de exercícios que representou 20% do conceito do bimestre. Disponibilizamos ambos em versão impressa a todos os alunos.

Aula 1: Aplicamos o questionário e discutimos as respostas dadas pelos alunos;

Aula 2: Explanamos o conteúdo do capítulo 1- Planeta Terra;

Aula 3: Abordamos os conceitos do capítulo 4 - Calor;

Aula 4: Foram conduzidos o capítulo 5 - Planeta Água e o capítulo 6 - Processos Térmicos nos Fenômenos Naturais;

Aula 5: Salientamos o assunto Energia e Sustentabilidade (esse conteúdo foi introduzido como parte do capítulo 6, porém posteriormente desmembramos e criamos o capítulo 7) e vimos o capítulo 2 - Astronomia;

Aula 6: Finalmente explicitamos o capítulo 3 - Equilíbrio Energético e o Aquecimento Global;

Aula 7: Entrega da lista de exercícios e discussão das respostas;

Aula 8: Revisão rápida do conteúdo;

Aula 9: Realização do Teste.

5 RESULTADOS E ANÁLISE

Os instrumentos que foram utilizados para obtenção dos “dados” foram o questionário e o teste. As questões do questionário e do teste eram livres e dissertativas. Analisamos somente as respostas dos alunos que participaram do teste e do questionário perfazendo um total de 14 questionários e, conseqüentemente, 14 testes.

Obtivemos diversos tipos de respostas, dentre elas, respostas mais elaboradas enquanto que outras não atingiram o objetivo, ou não foram dadas. Assim, cada resposta foi dividida, conforme seu conteúdo, em grupos. Estes por sua vez foram normalizados conforme o total de questionários para apresentar a quantidade de vezes que foram citadas pelos alunos. Ou seja, a mesma resposta poderia se enquadrar em todos os grupos ou em apenas um. Por exemplo: como na questão “1”. Do total de respostas, 100% indicaram conhecer o tema, na mesma resposta o grupo “TV” foi mencionado em 71% das respostas, o grupo internet foi mencionado em 36% das respostas, e assim sucessivamente. Enfim, houve alunos que responderam somente TV, outros somente internet e houve aqueles que responderam TV e internet. Assim, não nos preocupamos em desvencilhar os que apenas citaram um ou outro, mas sim se a resposta apareceu em algum momento.

Esta forma de colher os dados, restringe o universo de possibilidades, se mostrando suficiente para análise do comportamento da turma. Para uma aferição das correlações entre as respostas, seria mais adequado um acompanhamento mais aprofundado da turma com um maior número de questões sobre um mesmo tópico. Como nosso objetivo na turma foi validar a eficácia do livro, procuramos apenas evidenciar se houve evolução conceitual por parte dos alunos.

5.1 O QUESTIONÁRIO

Apresentamos aqui as questões e os resultados obtidos pela aplicação do questionário. A cada resultado realizamos um comentário sobre o que procuramos e obtivemos com cada questão. E, conforme este resultado foi que organizamos as aulas.

1) Você já ouviu falar sobre mudanças climáticas ou aquecimento global? Onde?

100% dos alunos responderam sim, ou seja, todos mostraram alguma familiaridade com o tema. Dentre estes, 71% responderam na TV, 36% na internet e 29% apontaram outros meios diversificados como jornais, revistas, livros e palestras. Outro fator muito importante foi apurar que 64% indicaram também ter discutido em algum momento o tema em sala de aula.

Procuramos assim averiguar as fontes de informação mais utilizadas pelos alunos. Essa pergunta indica como os alunos lidam com o mundo da informação, indicando quantas e quais são essas fontes de informação, o que influencia diretamente seu nível de alienação.

2) Quais assuntos de Física poderíamos abordar envolvendo o aquecimento global?

21% indicaram temperatura, 64% o calor, 7% transferência de calor, 29% da turma não respondeu a esta pergunta.

Procuramos aqui aferir os conceitos físicos que eles já haviam associado ao tema, para assim explorar suas concepções iniciais e dar atenção devida para aqueles conceitos que não foram citados ou citados com alguma distorção.

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

64% associaram o Aquecimento Global à poluição, 36% ao desmatamento, 21% às queimadas, 14% as poluições de fábricas e veículos, 14% ao CO₂, 7% ao homem, 7% associou a má utilização de recursos hídricos e 21% fez confusão ao citar efeitos como causas.

Propomos aqui conhecer as concepções a respeito das causas do aquecimento global, considerando se o associavam a algum fenômeno natural, se antropogênico, ou se havia algum conceito sem afinidade com as atuais concepções científicas.

4) Em sua opinião, quais são as consequências do aquecimento global?

64% dos educandos apontaram o derretimento das calotas polares, 50% aumento no nível dos mares, 21% mudanças climáticas, 21% citaram aumento das temperaturas e tempestades, 14% secas e alterações nas estações do ano, 7% desaparecimento de cidades litorâneas, extinção de espécies, escassez de água e fome. Destacamos que 7% das respostas citaram o fim da camada de ozônio e tremores de terra como consequência do aquecimento global. E, ainda, 21% tiveram opiniões extremistas ou apocalípticas.

O conhecimento das consequências do aquecimento global representa um importante fator de conscientização, por outro lado pode ser interiorizado de forma equivocada e exagerada.

5) Você sabe o que é o efeito estufa? Saberria dizer como funciona?

21% não sabia ou não respondeu, 29% definiu de forma correta, 29% definiu de forma parcialmente correta, a saber, faltando algum termo importante ou mostrando desconhecimento dos conceitos físicos, 21% associou o fenômeno com a destruição, ou buraco, na camada de ozônio e 7% citou erroneamente os raios ultravioletas como responsáveis pelo efeito estufa.

Objetivamos com essas questões perceber especificamente alguma dificuldade na definição do fenômeno do efeito estufa.

6) O efeito estufa é algo maléfico? O que aconteceria se não existisse efeito estufa? Existe alguma relação entre o efeito estufa e a destruição na camada de ozônio?

50% dos alunos afirmou ser o efeito estufa maléfico enquanto que 43% afirmou não ser. 7% não respondeu. 14% indicou haver algum tipo de relação entre efeito estufa e buraco na camada de ozônio, 21% que o CO₂ ou que o efeito estufa destrói a Camada de Ozônio. 29% das respostas afirmavam que morreríamos congelados ou não haveria vida na Terra e 7% sugeriu que se não houvesse efeito

estufa “não haveria catástrofes causadas pelos fenômenos naturais”, nem aumento de doenças e “a temperatura da Terra seria equilibrada”.

Procuramos verificar as concepções exageradas, ou de temor a respeito do efeito estufa. Também fomos diretos à sondagem de um ponto de grande confusão: o efeito estufa e o buraco na camada de ozônio. Essa confusão pode ser explicada pela falta de rigor científico de fontes de informação ao reproduzirem parcialmente suas matérias, ou ainda uma reprodução com termos equivocados. Pois apesar de serem problemas ambientais que envolvem gases e radiação, possuem mecanismos distintos.

7) O Efeito Estufa é um fenômeno exclusivo de nosso Planeta?

29% respondeu que sim, 21% que não e 50% não sabiam ou não responderam.

Nessa questão procuramos sondar a profundidade do conhecimento sobre o mecanismo do efeito estufa, transportando a comparação aos outros planetas caracterizando-o também como um fenômeno natural.

8) Você acha que o movimento da Terra, do Sol, da Lua, têm relação com o aquecimento global? Explique.

14% respondeu que sim, 36% que não e 50% não sabiam ou não responderam. 21% indicou que somente os seres humanos são causadores do problema e 7% apresentou noção sobre distribuição de radiação solar pelo globo e chegou a conclusão de que somente os movimentos terrestres têm influência.

Essa questão visa estimular outro olhar, uma reflexão com maior abrangência a respeito da influência de fatores astronômicos nos fenômenos climáticos. Inclusive para ratificar se pensam no aquecimento global como um fenômeno de origem antropogênica.

9) Existe relação entre a temperatura e a radiação que o Sol emite?

79% respondeu que sim, 0% que não e 21% não sabiam ou não responderam. 36% comentaram que a radiação provoca aquecimento/determina a temperatura.

Esta questão explicita a chave de um conceito primordial no entendimento, não somente do mecanismo do efeito estufa, mas de toda biosfera: o espectro de radiação solar. Também instiga alguma associação entre radiação, temperatura e calor.

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

50% definiu corretamente citando calor como energia em trânsito e que ocorre devido a diferença de temperatura. Somente 7% citou as formas de troca: convecção, irradiação e condução. 43% não soube ou não respondeu e 7% respondeu que “calor é temperatura em trânsito”.

Elaboramos esta questão a fim de mensurar o nível de conhecimento sobre calor e trocas energéticas. Para privilegiar ou não esse tópico.

11) Para ocorrer evaporação a água precisa estar a 100°C ? Por quê?

71% respondeu que sim, 14% que não e 14% não sabiam ou não responderam. 43% associaram essa temperatura como exclusiva para ebulição/evaporação da água, enquanto que 7% sugeriu que esta poderia evaporar antes dos 100°C .

Também procuramos mensurar o nível de conhecimento da turma a respeito de termodinâmica. Onde o conceito de pressão poderia ser evidenciado.

12) O que provoca o aumento do nível dos mares?

79% indicaram o derretimento das calotas polares/geleiras, 7% apontaram o derretimento dos icebergs, o aquecimento global, o movimento de translação e a lua.

Nessa questão objetivamos mensurar as concepções a respeito do aumento do nível oceânico, haja vista ser uma questão importante e controversa, envolvendo exageros e conceitos equivocados a respeito do degelo.

13) Existe solução para o problema do aquecimento global?

86% responderam que sim, 0% responderam não e 14% não sabiam ou não responderam. 43% apontaram atitudes como conscientização e diminuição da poluição/desmatamento, 14% sugeriu utilização de lâmpadas fluorescentes, transporte coletivo e redução dos gases estufa e 7% indicou uma substituição de combustíveis fósseis por renováveis.

Com essa questão, procuramos estimular os estudantes a refletir sobre as causas desse problema e suas soluções. Viabilizando um canal para educação ambiental.

5.2 O TESTE

Com o teste procuramos qualificar as concepções dos estudantes após as aulas. Em cada questão procuramos notar se houve alguma retenção cognitiva quanto aos conceitos, o tema e suas interrelações. Apresentamos a seguir a frequência das respostas como feito anteriormente no questionário.

1) Quais assuntos de Física poderíamos abordar envolvendo o aquecimento global?

50% dos alunos indicaram temperatura; 64% o calor; 50% transferência de calor; 21% das respostas continham convecção, radiação, condução, calor latente, calor específico, astronomia e/ou meteorologia; 14% reflexão, absorção, espalhamento e fontes de energia; 7% acidez nos oceanos e pressão atmosférica; 7% não responderam a esta pergunta.

Houve respostas mais completas em relação ao questionário caracterizando uma melhor associação dos conceitos físicos com o aquecimento global e por consequência uma nova leitura da natureza e de seus fenômenos.

2) Quais são as causas (naturais e antropogênicas) e consequências do aquecimento global?

50% diferenciaram corretamente as causas naturais das antropogênicas, 21% se referiram ao metano liberado na digestão de animais, 14% ao metano produzido no cultivo de arroz, 7% aos gases das erupções vulcânicas, 36% citaram as queimadas e desmatamento, 64% o CO₂ de veículos e fábricas, 36% se preocupam com aumento no nível dos oceanos, 21% com o derretimento das geleiras e aumento das temperaturas, 7% citou outras consequências como enchentes, secas, ondas de calor, chuvas, extinção de animais, escassez de água, destruição de cidades litorâneas e 14% não respondeu totalmente.

Como esta pergunta foi elaborada em duas partes, causas e consequências, houve uma diminuição na especificidade das respostas. Essa diminuição se concentrou na parte consequências, pois o conhecimento do fenômeno como algo também natural, proporcionou a redução das visões extremistas.

3) O que é efeito estufa? Saberria dizer como funciona?

0% da turma não sabia ou não respondeu, 50% definiu de forma correta, 43% definiu de forma parcialmente correta, ou seja, faltando algum termo importante ou mostrando desconhecimento dos conceitos físicos, 21% associou o fenômeno com destruição, ou buraco, na camada de ozônio e 7% citou erroneamente os raios ultravioletas como responsáveis pelo efeito estufa.

Foi notada uma evolução na definição correta do fenômeno de 29% para 50% e de 29% para 43% na definição parcialmente correta, indicando uma migração dos 21% para 0% dos que não sabiam ou não responderam. Essas definições indicam um melhor entendimento do mecanismo do efeito estufa.

4) O efeito estufa é algo maléfico? O que aconteceria se não existisse efeito estufa? Existe alguma relação entre o efeito estufa e a destruição na camada de ozônio?

100% afirmou não ser maléfico; 43% indicou haver algum tipo de relação entre efeito estufa e buraco na camada de ozônio; 64% das respostas afirmavam que morreríamos congelados ou não haveria vida na Terra.

100% afirmando não ser maléfico indica que foi alcançado o objetivo esclarecer o fenômeno como algo não apocalíptico. Porém, não ficou claro para todos a relação entre buraco na camada de ozônio com o efeito estufa, pois foi notado um aumento de 21% para 43% nesta afirmação. Notamos que é muito arraigada a concepção de poluição e buraco na camada de ozônio. Sugerindo um esforço maior no aprofundamento dessa questão e diferenciação desses fenômenos.

5) Por que o deserto tem temperaturas tão altas de dia e baixas a noite?

43% da turma explicou com base no calor sensível da areia que aquece e esfria rapidamente, 36% citou que a areia absorve radiação solar, 29% respondeu associando essa variação à falta de umidade no ar, 29% não respondeu ou não sabiam.

Nessa questão, procuramos avaliar dois conceitos do conteúdo, a umidade relativa do ar e o calor específico. Pois, conforme o conteúdo que foi apresentado em aula julgamos oportuno avaliar. O resultado dessa questão se mostrou satisfatória com 43% das respostas citando o calor sensível e mais 29% citando a umidade no ar. Contudo, há bastante espaço para melhorar esse desempenho.

6) O que provoca o aumento do nível dos mares? Os icebergs que flutuam no oceano podem contribuir para esse aumento? Explique.

86% responderam o degelo das calotas polares, 7% citou a dilatação volumétrica dos oceanos, 7% citou o aquecimento global e 7% não respondeu.

29% respondeu que os icebergs contribuem para o aumento do nível dos oceanos, 57% das respostas disse que eles não contribuem e 50% evidenciou esse fato considerando que pelo princípio de Arquimedes o volume que os icebergs flutuante ocupam já está contabilizado no nível atual.

Houve evolução conceitual ao apresentarmos a dilatação volumétrica com parte do processo e que quanto ao gelo flutuante, pelo princípio de Arquimedes, não contribui para o aumento do nível oceânico.

7) O problema do aquecimento global está intimamente ligado às fontes de energia. Quais as limitações para o uso de energia útil e quais sugestões para minimizar o problema do aquecimento global?

50% dos alunos não respondeu; 43% citou a substituição por fontes de energia renováveis, 21% indicou haver necessidade de reduzir a poluição, 14% otimizar o uso de energia, 7% citou as limitações na conversão de energia como calor, a necessidade de proteção das áreas verdes, da reciclagem, da conscientização ambiental e da redução do desperdício.

Notamos uma timidez frente à questão, com 50% não respondendo. Por outro lado foi positivo 43% citarem a substituição da matriz energética por uma versão mais sustentável. Mas esta questão mostrou uma necessidade de investimento em conscientização ambiental.

6 DISCUSSÃO

A escola tem o papel de preparar as futuras gerações para enfrentar o mundo, para isso o currículo deve materializar este ideal, propiciando um aprendizado significativo auxiliando o desenvolvimento pessoal e social dos indivíduos.

O cotidiano moderno mostra desafios científicos, sociais, políticos, econômicos e ambientais. Infelizmente, o ensino no nível médio, em especial o de Física, apresenta muitas dificuldades em relação à motivação e interesse por parte dos alunos. Isso se deve principalmente por este ser encarado como uma cultura inútil, ou seja, sua aplicação se restringe, para muitos, apenas como algo que deve ser decorado e logo esquecido após uma avaliação ou vestibular. Esses alunos não conseguiram ou não foram estimulados a perceber a importância de entender ciências como algo que está mais perto do que eles podem imaginar. Então, devemos estimular a visão do conhecimento físico como meio eficaz de entender a realidade que nos cerca, produzindo uma valorização do mesmo e promovendo uma permanência desse conhecimento na memória do indivíduo.

Para que o conhecimento acompanhe o indivíduo por toda vida, não basta que seja aprendido como uma simples descrição da realidade, mas deve ter um vínculo forte, deve ser útil ou trazer satisfação ou prazer. No caso da satisfação, envolve muito mais do que entender os conceitos científicos como uma descrição da realidade, envolve sentimentos subjetivos em relação a esse conhecimento trazendo apreciação como a música ou a arte o fazem. Por outro lado, se o conhecimento tiver uma importância funcional este também é sustentado, nesse sentido pode ser um conhecimento que produza tecnologia ou simplesmente facilite o dia a dia.

Entretanto, uma abordagem que invariavelmente traz uma internalização do conhecimento é o confronto. Todos os dias somos confrontados com decisões pessoais e sociais que podem interferir no futuro de nossa sociedade. Seja a preocupação ambiental, não pelo amor à natureza, mas pela reação dela aos impactos antrópicos. Seja pela necessidade de se manter a qualidade de vida. Seja para defender sua postura moral. Seja para defender seu grupo. Seja qual for, sempre precisamos de subsídios para defender nossos interesses, sejam eles individuais ou coletivos, precisamos sempre tomar decisões em diversas esferas

como a científica, tecnológica, social, ambiental ou política. Desde que sejamos convencidos que tal conhecimento é relevante para nós, nos dedicaremos a assimilá-lo.

Em nossa pesquisa, constatamos, nos alunos, uma familiaridade com o tema do aquecimento global, algo que já era previsto. Dentre todos os alunos, 64% relataram ter discutido esse assunto em sala de aula, contudo eles não apresentaram, no princípio, uma visão completa a respeito do mesmo. Essa visão pouco ampla pode ser comprovada pelas citações dos alunos que relacionaram poucos conteúdos de Física como temperatura (21%), calor (64%) e transferência de calor (7%).

Posteriormente, com o desenvolvimento das aulas constatamos uma melhor associação do tema pelos alunos. Com os conceitos físicos sendo melhor percebidos em suas nuances presentes nos fenômenos naturais, ou seja, aumentaram sua capacidade de discernir outros conceitos, passando a citar tópicos como convecção, radiação, condução, calor latente, calor específico, astronomia e/ou meteorologia em 21% das respostas; reflexão, absorção, espalhamento e fontes de energia em 14%; acidez nos oceanos e pressão atmosférica em 7%; além dos já citados: temperatura (50%), calor (64%) e transferência de calor (50%). Caracterizando uma visão mais ampliada em relação ao tema, o que estimulou a reflexão a respeito das influências de que cada atitude pode provocar e a percepção de quão sensível é o equilíbrio natural do planeta. O que demonstra que o confronto, no quesito responsabilidade ambiental, além de estimular a assimilação do conhecimento científico leva à reflexão sobre questões éticas, políticas, sociais, econômicas, históricas e tecnológicas.

Santos e Mortimer (2000) ampliam a visão sobre as relações CTS, afirmando que uma proposta baseada no enfoque CTS para o ensino de ciências deve promover uma educação científica, tecnológica e social, onde os conteúdos científicos e tecnológicos sejam abordados de forma integrada com seus aspectos sócio-econômicos, políticos, éticos, ambientais e históricos.

A Lei de Diretrizes e Bases (LDB) (BRASIL, 1996), os PCNs (BRASIL, 2000) e os PCN+ (BRASIL, 2002) abordam a relevância de aproximar o aluno da interação com a ciência e a tecnologia em todas as dimensões da sociedade, oportunizando uma concepção ampla e social do contexto científico e tecnológico. O que se aproxima da perspectiva CTS para o ensino.

A mídia tem um papel muito importante na divulgação de informações, mas na maioria das vezes são notícias superficiais, no que tange os conceitos científicos. Isso ocorre principalmente pelo fato de seu público alvo ser muito heterogêneo. Por outro lado, isso não exige os meios de comunicação de tratarem tais informações com certo rigor científico. Constatamos em nossa pesquisa que todos os alunos afirmaram conhecer o tema do aquecimento global e que tinham como fontes principais a TV (71%) e a internet (36%), o que indica claramente como os alunos são bombardeados com muita informação, inclusive de cunho científico.

Essa porta pode ser explorada se orientada de forma adequada, pois com o inconsciente coletivo recebendo tanta informação, por vezes útil e outras tantas inútil, podemos contextualizar o aprendizado trazendo esse apanhado de conhecimento e discuti-lo em sala de aula. Nesse sentido, o professor, como agente transformador, precisa trabalhar essa contextualização com os significados científicos incorporados pelos alunos conduzindo-os através dos caminhos que essas informações constroem.

Um caminho possível é aquele ideal, onde os conceitos internalizados tiveram uma fonte confiável e o entendimento inicial foi produtivo, no sentido de orientar e não desorientar o aprendiz, promovendo uma contínua construção do conhecimento. Em nosso estudo, apesar de não apresentarem pleno domínio na descrição do fenômeno do efeito estufa, os alunos já tinham uma visão prévia do assunto. Mas com o decorrer das aulas esse tópico pode ser trabalhado de forma adequada apresentando uma evolução na definição correta do fenômeno de 29% para 50% e de 29% para 43% na definição parcialmente correta.

Outro caminho é aquele onde o conhecimento gerado, principalmente o internalizado, foi desorientador, ou seja, trouxe informação errada ou inadequada. Quando isso ocorre, o professor deve detectar tais conceitos e promover a desconstrução dessas concepções e trabalhá-las em sua reconstrução.

Inicialmente, a tendência de parte dos alunos (50%) era apresentar o efeito estufa como algo maléfico, sendo percebida uma visão catastrofista em suas respostas (21%). Como na citação a seguir de um aluno mostrando as consequências do aquecimento global:

“Enlouquecimento da temperatura no planeta acarreta inúmeros desastres ambientais em todo mundo”

Nessa direção, no princípio, nenhum aluno apontou alguma causa natural para o efeito estufa, restringindo suas respostas à poluição e desmatamento. Posteriormente, 50% conseguiu distinguir corretamente as causas naturais das antropogênicas, citando as erupções vulcânicas e o metano produzido em charcos e na digestão de animais.

Sobre as prováveis consequências do aquecimento global, ganharam destaque nas respostas, o derretimento das calotas polares e consequente aumento no nível dos oceanos. Assim, procuramos investir nessa questão trazendo os conceitos de dilatação volumétrica e do princípio de Arquimedes esclarecendo que parte do aumento do nível dos oceanos se deve a dilatação causada pelo aumento da temperatura dos oceanos e que a contribuição das calotas polares se restringe a apenas ao gelo continental e não ao flutuante (icebergs). Esse assunto despertou o interesse nos estudantes, pois ficaram curiosos pela descoberta do mecanismo do aumento do nível dos oceanos evidenciando algo que parecia tão certo para eles. Neste caso, o confronto aliado à curiosidade a respeito de um assunto já comum a eles serviu como facilitador na aprendizagem.

É muito importante o tratamento das informações incorporadas pelos alunos, pois um conhecimento gerado a partir de uma informação equivocada ou incompleta pode trazer muitos prejuízos. Em nossa pesquisa, encontramos certa dificuldade em reverter algumas concepções já internalizadas pelos estudantes como, por exemplo, no assunto do buraco na camada de ozônio e do efeito estufa. Mesmo os alunos demonstrando algum conhecimento a respeito dos dois fenômenos, insistiram em confundi-los, apesar de discutirmos esse assunto em aula. Como observado na comparação da questão 4 do teste e a de número 6 do questionário, onde notamos um crescimento de 21% para 43% na afirmativa de haver relação entre os dois fenômenos.

Isso demonstra a complexidade da aprendizagem, pois fatores que poderiam motivar o aprendiz, como o conhecimento científico de assuntos de seu cotidiano, pode se tornar uma tarefa bastante complicada quando nos deparamos com a necessidade de corrigir um conceito equivocado já internalizado. A necessidade de desconstrução e posterior reconstrução do conhecimento precisa ser reconhecida pelo professor e deve ser muito bem trabalhada a fim de suplantarmos tais conceitos. O método a ser adotado nesse caso deve ser cativante e questionador para que seja despertada uma nova visão do conceito.

A aprendizagem é uma atividade complexa, envolve diversos parâmetros difíceis de serem reunidos por apenas uma metodologia. Não podemos engessar o ensino exclusivamente à leitura de livros didáticos ou paradidáticos, ou promover aprendizagem somente com salas virtuais de ensino à distância, ou tão somente a aulas expositivas sem vida. O processo de aprendizagem envolve sobretudo motivação. Essa motivação pode não ser encontrada ou desenvolvida da mesma maneira em todos os aprendizes, alguns precisam de uma cobrança maior, com provas e avaliações, outros precisam desenvolver trabalhos em grupo, debates, atividades com recursos multimídias, e enquanto que outros preferem aulas expositivas e experimentos. Então, normalmente os aprendizes precisam de uma variação de métodos, tanto de aprendizagem como de avaliação para que se extraia o melhor rendimento na turma.

Observamos que, o livro A FÍSICA DO AQUECIMENTO GLOBAL, mostrou-se um bom suporte na condução das aulas, apresentando uma sequência de capítulos que podem ser utilizados de forma dinâmica e em qualquer ordem. Notamos que a estratégia de estímulo à leitura do material não surtiu o efeito desejado. Pois esperávamos que a maioria se dedicasse à leitura do mesmo, o que não ocorreu. Ainda assim, o material não seria capaz de atender todo currículo de Física, pois não foi preparado com esse objetivo e alcance. Por outro lado, os estudantes mostraram-se interessados em compreender um assunto que lhes causava curiosidade e confronto. O que foi aproveitado na dinâmica das aulas, onde o professor expôs os conceitos ao passo que debatia os questionamentos dos alunos a respeito dos fenômenos. Enfim, o sucesso na prática do ensino envolve mais do que bons materiais e capacitação docente. Vai muito além, dependendo especialmente da motivação gerada no estudante.

O professor precisa estar preparado para exercer sua função estando sempre atualizado, debatendo os assuntos com os alunos, incentivando neles uma independência intelectual, capacidade de escolha e decisão. Essa independência intelectual é subsidiada pelo conhecimento adquirido enquanto que o poder de decisão está associado à moral desenvolvida no indivíduo. Nesse último aspecto múltiplas direções podem surgir pois não somente o ambiente escolar é que influencia o amadurecimento ético do indivíduo, mas também os relacionamentos interpessoais, a família, a religião, etc. Por exemplo, para muitos é praticamente consenso o fato de que é preciso estudar para vencer na vida. No entanto, o que

significa vencer? Incluir-se entre os privilegiados ou ampliar as condições para questionar e mudar a lógica perversa de exclusão, tão marcante em diversas sociedades? Outro exemplo é a ideia de desenvolvimento sustentável, que parece um ponto de acordo entre muitos, não tem gerado grandes avanços para resolução de problemas reais, uma vez que todos defendem o desenvolvimento sustentável, ricos e pobres, exploradores e explorados, incluídos e excluídos.

Nesse aspecto, o papel ideológico da escola é transformar o indivíduo para propiciar a transformação da sociedade. E, assuntos como o aquecimento global, que reportam mudanças de comportamento, precisam ser debatidos para que essas mudanças possam ocorrer de fato. Por conseguinte, os estudos CTS ganham destaque por pregarem uma necessidade de reflexão quanto aos interesses sociais, políticos, econômicos e ambientais envolvidos no desenvolvimento científico e tecnológico, trazendo questionamentos aos valores éticos e morais presentes nesses cenários.

Os estudantes precisam debater os assuntos ambientais em sala de aula a fim de refletirem quanto às condições de vida de nosso planeta no futuro. Os alunos pesquisados demonstraram uma preocupação com a preservação da natureza. Pelo menos quanto ao conhecimento do principal causador dessa destruição, o homem. Quando perguntados sobre a possibilidade de haver uma solução para o aquecimento global, 86% responderam que sim, dos quais 43% apontaram atitudes como conscientização e diminuição da poluição e desmatamento como as principais formas de se minimizar o aquecimento global.

A partir deste ponto, com aulas a respeito de conservação de energia, obtivemos uma sensibilização voltada para o cerne do problema do aquecimento global e da civilização como a conhecemos. Então, 43% das respostas sugeriram a substituição das fontes fósseis por fontes de energia renováveis, ressaltando a otimização da energia utilizada, a proteção às áreas verdes e a reciclagem reduzindo o desperdício de matéria prima.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento do livro, alcançamos num primeiro momento um pequeno grupo de alunos, que demonstraram interesse pelo assunto. Mas, com a posterior formalização completa desse material, seja em formato impresso ou eletrônico, poderemos propagar com maior alcance mais uma ferramenta de educação científica de conscientização e sensibilização ambiental, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades, competências e valores nos educandos. Nesse sentido o professor é fundamental para atingir estas metas, pois ele é quem despertará no aluno o interesse pelo assunto e o auxiliará no seu desenvolvimento pessoal.

Para muitos, a ciência apresenta-se como algo extremamente rígido e cheio de axiomas inquestionáveis, esta visão faz com que ela perca o brilho da descoberta, do questionamento, fazendo com que o ensino tome o mesmo rumo. Entretanto, a ciência não deve ser encarada dessa forma, muito menos as aulas devem ser promovidas de forma que os alunos saiam pensando que os conceitos científicos são incompreensíveis. A abordagem do assunto, ou metodologia empregada, faz toda a diferença. No caso das aulas com suporte do livro A FÍSICA DO AQUECIMENTO GLOBAL, foram repletas de perguntas simples com respostas simples quanto aos tópicos abordados. Por exemplo, na questão dos icebergs, os alunos discutiram argumentando se de fato eles não contribuiriam para aumento do nível dos oceanos, então quando passaram a observar o mesmo fato contrargumentados pelo princípio de Arquimedes, eles puderam discutir afirmações aparentemente corretas, questionar e até refutá-las, baseados em simples noções de ciência básica. Demonstrando que os assuntos que nos são apresentados pela mídia devem ser analisados à luz de nossa compreensão, que será mais seletiva quanto maior nossa compreensão sobre cada assunto.

A compreensão de situações-problema de caráter real como o aquecimento global com suas causas e consequências, reveste o aprendiz de capacidade e responsabilidades para resolução dos problemas que fazem parte de sua vida. O que insere, de fato, o estudante como uma das peças fundamentais na solução de problemas sociais, tecnológicos e científicos e ambientais.

O desenvolvimento do conteúdo científico a partir de uma proposta temática de cunho ambiental trouxe um resultado promissor, pois os elementos necessários para o desenvolvimento intelectual na área de ciências, bem como do exercício ativo da cidadania, da conscientização ambiental, do uso de energias renováveis e da economia de energia estiveram presentes no texto e nas discussões em aula, permitindo a continuada manutenção dos conceitos históricos, sociais e éticos da ciência.

O desenvolvimento desse livro paradidático foi um passo no sentido de uma longa caminhada no desenvolvimento de materiais que atendam de forma completa a necessidade de aprimoramento da formação acadêmica e ética do cidadão.

O questionário e o teste foram fundamentais na mensuração do conhecimento dos alunos, apesar de não demonstrar claramente o potencial de cada estudante, que somente pode ser notado com observações subjetivas.

Ficamos motivados quanto ao alcance que uma proposta temática pode obter, podendo ser estendida a em outros contextos de aprendizagem. Por outro lado, não podemos afirmar até que ponto os professores estão preparados para utilizar esse material, apesar de sua fácil compreensão. Talvez o que seja mais apropriado perguntar é se, apesar de um maior esforço, os educadores estariam dispostos a quebrarem suas rotinas de ensino pela utilização de novos materiais, mesmo com ganho de interesse por parte dos estudantes. E até que ponto seria possível envolver a escola e seus professores numa proposta curricular diferenciada e interdisciplinar como esta sugere?

REFERÊNCIAS

ANGOTTI, J. A. P.; AUTH, M. A. **Ciência e Tecnologia: Implicações Sociais e o Papel da Educação**. *Ciência & Educação*, v.7, n.1, p.15-27, 2001.

AULER, D. **Movimento ciência-tecnologia-sociedade (CTS): modalidades, problemas e perspectivas em sua implementação no ensino de física**. In: Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. SBF. Florianópolis, 1998. apud NASCIMENTO, T. G.; VON LINSINGEN, I. **Articulações entre o enfoque CTS e a pedagogia de Paulo Freire como base para o ensino de ciências**. *Convergência* v. 13, p. 95-116. Toluca, 2006.

AUSUBEL, D. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. Plátano, 2003.

BAZZO, W.; LISINGEN, I. V.; PEREIRA, L. T. do V. **Introdução aos estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)**. *Cadernos de Ibero América. OEI-Organização dos Estados Ibero-americanos para a Educação, a Ciência e a Cultura*. 151p. Espanha: Madrid, 2003.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**, Lei nº 9.394, 20 de dezembro de 1996.

BRASIL. **Política Nacional de Educação Ambiental**, Lei nº 9.795, 27 de abril de 1999.

BRASIL. PCN+ Ensino Médio: **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias** MEC-SEMTEC. Brasília, 2002. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>> acesso em 03/06/09.

BRASIL. SECRETARIA DE EDUCAÇÃO MÉDIA E TECNOLÓGICA. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. MEC/SEFM Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>> acesso em 03/06/09.

CARVALHO, W. L. P. **Cultura científica e cultura humanística: espaços, necessidades e expressões**. Tese (Livre Docência). Ilha Solteira (SP), Departamento de Física e Química, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP, 2005. apud FARIAS, C. R. O. ; FREITAS, D. **Educação ambiental**

e relações CTS: uma perspectiva integradora. *Ciência & Ensino*, v. 1, p. 1, Campinas, 2007.

CRUZ, S. M. S. C. de; ZYLBERSZTAJN, A. **O enfoque ciência, tecnologia e sociedade e aprendizagem centrada em eventos.** In PIETROCOLA, M.(org). *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora.* UFSC, 2ª ed. p.171-196. Florianópolis, 2005.

FARIAS, C. R. O. ; FREITAS, D. **Educação ambiental e relações CTS: uma perspectiva integradora.** *Ciência & Ensino*, v. 1, p. 1, Campinas, 2007.

IPCC (Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas). **Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas.** Paris, 2007.

LOPES, N. C.; ANDRADE, J. A. N.; QUEIRÓS, W. P.; SOUZA, R. R.; NARDI, R.; CAVALHO, W. L. P. **Tendências do Movimento CTS em dois Eventos Nacionais da Área de Ensino de Ciências.** XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física SNEF 2009. Vitória, ES. Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/> acesso em 02/09/2009.

MOTOYAMA, S. **Os principais marcos históricos em ciência e tecnologia no Brasil.** Sociedade Brasileira de História da Ciência, São Paulo, n.1, p.41-49, jan.-jun. 1985. *apud* AULER, D. E; BAZZO, W. **A Reflexões para a implementação do Movimento CTS no contexto educacional brasileiro.** *Ciência e Educação*, v.7 n.1, p.1-13, Bauru, 2001.

REIS, P. **A discussão de assuntos controversos no ensino das ciências.** *Inovação*, n. 12, p. 107-112, 1999.

SANT'ANNA, V. M. **Ciência e Sociedade no Brasil.** São Paulo: Símbolo, 1978. *apud* AULER, D. E; BAZZO, W. **A Reflexões para a implementação do Movimento CTS no contexto educacional brasileiro.** *Ciência e Educação*, v.7 n.1, p.1-13, Bauru, 2001.

SANTOS, M.E.N.V.M. **A cidadania na “Voz” dos manuais escolares.** Livros Horizonte. Lisboa, 2001. *apud* ZUIN, V. G.; FREITAS, D.; OLIVEIRA, M. R. G. de; PRUDÊNCIO, C. A. V. **Análise da perspectiva ciência, tecnologia e sociedade em materiais didáticos.** *Ciências & Cognição*, v.13, p.56-64, São Carlos, mar. 2008.

SANTOS, W. L. P. e MORTIMER, E. F. **Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no Contexto da**

Educação Brasileira. Ensaio. v.2, n.2, p. 133-162, ISS N1415-2150
<http://www.coltec.ufmg.br/~ensaio>, 2000.

SANTOS, W.L. P.; MORTIMER, E. F. **Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de Ciências.** *Ciência & Educação*, v.7, n.1, p. 95-111 Bauru, 2001.

SANTOS, W. L. P. **Contextualização no Ensino de Ciências por Meio de Temas CTS em uma Perspectiva Crítica.** *Ciência & Ensino*, v.1, número especial, nov. 2007

SCHWARTZ, B. **O Mito da Liberdade de Escolha.** *Mente & Cérebro*, Edição 179, São Paulo, dez. 2007

SOUSA, P. F. F.; KAWAMURA, M.R. **Desenvolvimento Sustentável e Ensino de Física.** IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, 2004.

TAVARES, R. **Aprendizagem Significativa e o Ensino de Ciências.** Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação - 28ª Reunião Anual, 2005.

XAVIER, M. E. R.; KERR, A. S. **A Análise do Efeito Estufa em Textos Paradidáticos e Periódicos Jornalísticos.** *Cad. Bras. Ensino de Física*. v. 21, n. 3: p. 325-349, dez. 2004.

ZUIN, V. G.; FREITAS, D.; OLIVEIRA, M. R. G. de; PRUDÊNCIO, C. A. V. **Análise da perspectiva ciência, tecnologia e sociedade em materiais didáticos.** *Ciências & Cognição*, v.13, p.56-64, São Carlos, mar. 2008. Disponível em http://www.cienciasecognicao.org/pdf/v13/cec_v13-1_m318244.pdf Acesso em: 01/07/2009.

ANEXO A – COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

Competências e habilidades – Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2000)

Representação e comunicação

- Desenvolver a capacidade de comunicação.
- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico.
- Interpretar e utilizar diferentes formas de representação (tabelas, gráficos, expressões, ícones...).
- Exprimir-se oralmente com correção e clareza, usando a terminologia correta.
- Produzir textos adequados para relatar experiências, formular dúvidas ou apresentar conclusões.
- Utilizar as tecnologias básicas de redação e informação, como computadores.
- Identificar variáveis relevantes e selecionar os procedimentos necessários para a produção, análise e interpretação de resultados de processos e experimentos científicos e tecnológicos.
- Identificar, representar e utilizar o conhecimento geométrico para aperfeiçoamento da leitura, da compreensão e da ação sobre a realidade.
- Identificar, analisar e aplicar conhecimentos sobre valores de variáveis, representados em gráficos, diagramas ou expressões algébricas, realizando previsão de tendências, extrapolações e interpolações e interpretações.
- Analisar qualitativamente dados quantitativos representados gráfica ou algebricamente relacionados a contextos sócio-econômicos, científicos ou cotidianos.

Investigação e compreensão

- Desenvolver a capacidade de questionar processos naturais e tecnológicos, identificando regularidades, apresentando interpretações e prevendo evoluções. Desenvolver o raciocínio e a capacidade de aprender.

- Formular questões a partir de situações reais e compreender aquelas já enunciadas.
- Desenvolver modelos explicativos para sistemas tecnológicos e naturais.
- Utilizar instrumentos de medição e de cálculo.
- Procurar e sistematizar informações relevantes para a compreensão da situação-problema.
- Formular hipóteses e prever resultados.
- Elaborar estratégias de enfrentamento das questões.
- Interpretar e criticar resultados a partir de experimentos e demonstrações.
- Articular o conhecimento científico e tecnológico numa perspectiva interdisciplinar.
- Entender e aplicar métodos e procedimentos próprios das Ciências Naturais.
- Compreender o caráter aleatório e não determinístico dos fenômenos naturais e sociais e utilizar instrumentos adequados para medidas, determinação de amostras e cálculo de probabilidades.
- Usar os conhecimentos da Física, da Química e da Biologia para explicar o mundo natural e para planejar, executar e avaliar intervenções práticas.
- Aplicar as tecnologias associadas às Ciências Naturais na escola, no trabalho e em outros contextos relevantes para sua vida.

Contextualização sócio-cultural

- Compreender e utilizar a ciência, como elemento de interpretação e intervenção, e a tecnologia como conhecimento sistemático de sentido prático.
- Utilizar elementos e conhecimentos científicos e tecnológicos para diagnosticar e equacionar questões sociais e ambientais.
- Associar conhecimentos e métodos científicos com a tecnologia do sistema produtivo e dos serviços.
- Reconhecer o sentido histórico da ciência e da tecnologia, percebendo seu papel na vida humana em diferentes épocas e na capacidade humana de transformar o meio.

- Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolveram por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade.
- Entender a relação entre o desenvolvimento de Ciências Naturais e o desenvolvimento tecnológico e associar as diferentes tecnologias aos problemas que se propuser e se propõe solucionar.
- Entender o impacto das tecnologias associadas às Ciências Naturais, na sua vida pessoal, nos processos de produção, no desenvolvimento do conhecimento e na vida social.

Competências disciplina de Física (BRASIL, 2002, p.63 - 68)

- Reconhecer e saber utilizar corretamente símbolos, códigos e nomenclaturas de grandezas da Física,
- Conhecer as unidades e as relações entre as unidades de uma mesma grandeza física para fazer traduções entre elas e utilizá-las adequadamente.
- Ler e interpretar corretamente tabelas, gráficos, esquemas e diagramas apresentados em textos.
- Construir sentenças ou esquemas para a resolução de problemas;
- Acompanhar o noticiário relativo à ciência em jornais, revistas e notícias veiculadas pela mídia, identificando a questão em discussão e interpretando, com objetividade, seus significados e implicações para participar do que se passa à sua volta.
- Descrever relatos de fenômenos ou acontecimentos expressando-se de forma correta e clara.
- Argumentar claramente sobre seus pontos de vista, apresentando razões e justificativas claras e consistentes.
- Identificar regularidades, associando fenômenos que ocorrem em situações semelhantes para utilizar as leis que expressam essas regularidades na análise e previsões de situações do dia-a-dia.
- Identificar transformações de energia e a conservação que dá sentido a essas transformações, quantificando-as quando necessário. Identificar também formas de dissipação de energia e as limitações quanto aos tipos de

transformações possíveis impostas pela existência, na natureza, de processos irreversíveis.

- Reconhecer a conservação de determinadas grandezas, como massa, carga elétrica, corrente etc.,
- Fazer uso de formas e instrumentos de medida apropriados para estabelecer comparações quantitativas.
- Fazer estimativas de ordens de grandeza para poder fazer previsões.
- Elaborar modelos simplificados de determinadas situações, a partir dos quais seja possível levantar hipóteses e fazer previsões.
- Reconhecer, na análise de um mesmo fenômeno, as características de cada ciência, de maneira a adquirir uma visão mais articulada dos fenômenos.
- Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época.
- Perceber o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história.
- Compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir.
- Reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social.
- Compreender a responsabilidade social que decorre da aquisição de conhecimento, sentindo-se mobilizado para diferentes ações, seja na defesa da qualidade de vida, da qualidade das infra-estruturas coletivas, ou na defesa de seus direitos como consumidor.
- Promover situações que contribuam para a melhoria das condições de vida da cidade onde vive ou da preservação responsável do ambiente,
- Reconhecer que, se de um lado a tecnologia melhora a qualidade de vida do homem, do outro ela pode trazer efeitos que precisam ser ponderados quanto a um posicionamento responsável.
- Reconhecer, em situações concretas, a relação entre Física e ética, seja na definição de procedimentos para a melhoria das condições de vida, seja em

questões como do desarmamento nuclear ou em mobilizações pela paz mundial.

- Reconhecer que a utilização dos produtos da ciência e da tecnologia nem sempre é democrática, tomando consciência das desigualdades e da necessidade de soluções de baixo custo.

Competências na área de ciências

(BRASIL, 2002, p.63 - 68)

- Identificar em dada situação-problema as informações ou variáveis relevantes e possíveis estratégias para resolvê-la.
- Identificar fenômenos naturais ou grandezas em dado domínio do conhecimento científico, estabelecer relações; identificar regularidades, invariantes e transformações.
- Selecionar e utilizar instrumentos de medição e de cálculo, representar dados e utilizar escalas, fazer estimativas, elaborar hipóteses e interpretar resultados.
- Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos.
- Articular, integrar e sistematizar fenômenos e teorias dentro de uma ciência, entre as várias ciências e áreas de conhecimento.
- Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.
- Compreender a ciência e a tecnologia como partes integrantes da cultura humana contemporânea.
- Reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social.
- Reconhecer e avaliar o caráter ético do conhecimento científico e tecnológico e utilizar esses conhecimentos no exercício da cidadania.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

A Física do Aquecimento Global**QUESTIONÁRIO****Joziel C. Creton** - *joziel@uenf.br*

Nome: _____

e-mail: _____

Favor responder de forma objetiva e resumida, no máximo 4 linhas cada questão.

- 1) Você já ouviu falar sobre mudanças climáticas ou aquecimento global? Onde?
- 2) Quais assuntos de Física poderíamos abordar envolvendo o aquecimento global?
- 3) Você saberia dizer quais são as causas do aquecimento global?
- 4) Em sua opinião, quais são as consequências do aquecimento global?
- 5) Você sabe o que é o efeito estufa? Saberria dizer como funciona?
- 6) O efeito estufa é algo maléfico? O que aconteceria se não existisse efeito estufa? Existe alguma relação entre o efeito estufa e a destruição na camada de ozônio?
- 7) O Efeito Estufa é um fenômeno exclusivo de nosso Planeta?
- 8) Você acha que o movimento da Terra, do Sol, da Lua, têm relação com o aquecimento global? Explique.
- 9) Existe relação entre a temperatura e a radiação que o Sol emite?
- 10) O que você sabe sobre calor? (Exemplo: definição, como ocorrem as trocas de calor, etc.)
- 11) Para ocorrer evaporação a água precisa estar a 100°C ? Por quê?
- 12) O que provoca o aumento do nível dos mares?
- 13) Existe solução para o problema do aquecimento global?

APÊNDICE B – TESTE (SUGESTÃO PARA GABARITO)



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE CAMPOS

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

MEC / SETEC



Nome: _____ T: 202 N

Prof. Ronaldo Bastos

2ª Avaliação de Física – 4º Bimestre

1) Quais assuntos de Física poderíamos abordar envolvendo o aquecimento global?

R: *Concentração e composição de gases na atmosfera (ciclo do carbono), Astronomia (estações do ano, movimentos orbitais e eras do gelo), Espectro eletromagnético, Interação da radiação com a matéria, Energia: Equilíbrio Energético, Calor e suas trocas, Leis da termodinâmica: Lei zero, 1ª lei, 2ª lei, Pressão, Mudança de estado físico, dilatação volumétrica (no mar), degelo, evaporação, Fluxo de matéria (envolvidos nas correntes atmosféricas e oceânicas, etc.*

2) Quais são as causas (naturais e antropogênicas) e consequências do aquecimento global?

R: **Causas Naturais:** *variações astronômicas, queimadas espontâneas, erupções vulcânicas, gelo e degelo de regiões com matéria orgânica, permafrost, charcos com matéria orgânica como mangues, gases de digestão de animais em larga escala, etc.* **Causas Antropogênicas:** *Poluição atmosférica intensificada a partir da Revolução Industrial, alterações na natureza como desmatamento, inundações de grandes áreas, agricultura não sustentável, CFCs, etc.* **As consequências do aquecimento global** *são um aumento de intensidade de tempestades e fenômenos climáticos, inundações, chuvas torrenciais, secas prolongadas, desertificação, doenças, fome, aumento no nível do mar, perda de biodiversidade, temperaturas mais altas, etc.*

3) O que é efeito estufa? Saberíamos dizer como funciona?

R: *Efeito de “aprisionamento” da radiação solar refletida pela Terra aquecendo a superfície. Gases estufa são aqueles com propriedade de absorver radiação na faixa do infravermelho, como o CO₂, H₂O_(g), CH₄ que absorvem parte da radiação (IV) emitida pela Terra impedindo que essa radiação “escape” para o espaço, permitindo a manutenção da temperatura média da Terra sem grandes variações.*

4) O efeito estufa é algo maléfico? O que aconteceria se não existisse efeito estufa? Existe alguma relação entre o efeito estufa e a destruição na camada de ozônio?

R: *O efeito estufa não é maléfico. Sem esse efeito, a temperatura média terrestre seria -19°C, com grandes oscilações entre temperatura máxima e mínima*

diariamente impedindo a sustentação da vida como a conhecemos. Apesar de o buraco na camada de ozônio e o aquecimento global (consequência da intensificação do efeito estufa) serem problemas envolvendo gases atmosféricos, radiação e serem problemas ambientais com influência humana, não têm uma relação direta. O primeiro é causado pela redução do ozônio (que absorve radiação UV) na estratosfera devido aos CFCs. O efeito estufa acontece na troposfera quando um aumento na quantidade de gases estufa como CO₂ provoca uma maior absorção de radiação IV. O ozônio e o CFC por coincidência também são gases estufa, mas na proporção encontrada na troposfera pouco influenciam o aquecimento global em comparação ao CO₂.

5) Por que o deserto tem temperaturas tão altas de dia e baixas a noite?

R: O clima no deserto se deve à baixa umidade no ar. Devido ao tipo terreno (pouca vegetação) o clima se mantém seco. Quando a radiação solar atinge essa região ela é toda convertida em calor sensível aumentando a temperatura local durante o dia e resfria rapidamente à noite. Se houvesse maior umidade, o calor poderia ser atenuado durante o dia na evaporação da água (calor latente) e manteria uma temperatura mais amena à noite com a condensação desse vapor.

6) O que provoca o aumento do nível dos mares? Os icebergs que flutuam no oceano podem contribuir para esse aumento? Explique.

R A Expansão Térmica da água é responsável por parte do aumento, estimativas do IPCC indicam que no século XXI pode ocorrer um aumento de 30 a 40cm no nível dos oceanos. Degelo nos Pólos (somente o gelo continental) também contribui para esse aumento, sendo estimado, no século XXI, um aumento de 18 a 58cm. Conforme o Princípio de Arquimedes o peso do Iceberg é igual ao peso da água por ele deslocada, ou seja, o gelo flutuante que derrete não contribuirá para o aumento no nível no mar pois já está contabilizado no nível atual.

7) O problema do aquecimento global está intimamente ligado às fontes de energia. Quais as limitações para o uso de energia útil e quais sugestões para minimizar o problema do aquecimento global?

R: Na natureza, as transformações térmicas são praticamente todas irreversíveis. Isso significa que ocorre uma diminuição na capacidade da energia de realizar trabalho útil, ou seja, há uma limitação na conversão de energia, pois parte dessa energia é perdida na forma de calor. Nesse sentido, para minimizar o problema do aquecimento global é necessário melhorar ao máximo a eficiência dos motores, que apesar de terem um limite de rendimento (motor ideal) podem ser melhorados. Por outro lado, podem ser movidos por combustíveis de fontes menos poluentes como energia eólica, geotérmica, de marés, hídrica, células a hidrogênio, etc.

APÊNDICE C – ROTEIROS DE AULA

Aula 1 – 10/12/2008

Questionário

- 1) Você já ouviu falar sobre mudanças climáticas ou aquecimento global? Onde?
 - A queima de combustíveis fósseis?
 - CO_2 , CH_4 , N_2O ?
- 2) Quais assuntos de Física poderíamos abordar envolvendo o aquecimento global?
 - Concentração e composição de gases na atmosfera (ciclo do carbono),
 - Astronomia (estações do ano, movimentos orbitais e eras do gelo)
 - Espectro eletromagnético
 - Interação da radiação com a matéria,
 - Energia: Equilíbrio Energético
 - Calor suas trocas
 - Leis da termodinâmica: Lei zero, 1ª lei, 2ª lei
 - Pressão
 - Mudança de estado físico, dilatação volumétrica (no mar), degelo, evaporação
 - Fluxo de matéria (envolvidos nas correntes atmosféricas e oceânicas)
- 3) Você saberia dizer quais são as causas do aquecimento global?
 - Naturais: *variações astronômicas, queimadas espontâneas, erupções vulcânicas, gelo e degelo de regiões com matéria orgânica, permafrost, charcos com matéria orgânica como mangues, gases de digestão de animais em larga escala, etc.*
 - Antropogênica: *Poluição atmosférica intensificada a partir da Revolução Industrial, alterações na natureza como desmatamento, inundações de grandes áreas, agricultura não sustentável, CFCs, etc.*
- 4) Em sua opinião, quais são as consequências do aquecimento global?
 - Aumento de intensidade de tempestades e fenômenos climáticos, inundações, chuvas torrenciais, secas prolongadas, desertificação, doenças, fome, aumento no nível do mar, perda de biodiversidade, temperaturas mais altas, etc.
- 5) Você sabe o que é o efeito estufa? Saberria dizer como funciona? O Efeito Estufa é um fenômeno exclusivo de nosso Planeta?
 - *Efeito de “aprisionamento” da radiação solar refletida pela Terra aquecendo a superfície. Gases estufa são aqueles com propriedade de absorver radiação na faixa do infravermelho, como o CO_2 , $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$, CH_4 que absorvem parte da*

radiação (IV) emitida pela Terra impedindo que essa radiação “escape” para o espaço, permitindo a manutenção da temperatura média da Terra sem grandes variações.

- Sem o efeito estufa a temperatura média da Terra seria -19°C! Em Vênus, onde o CO₂ ocupa maior parte da atmosfera, sua temperatura aproxima-se a 477°C. Ou seja, não é um fenômeno exclusivo da Terra.

Aula 2 – 10/12/2008

Capítulo 1

Um planeta único no Sistema Solar com condições para existência de VIDA

- Trocas energéticas, água como mediadora nesse transporte, condições de temperatura e pressão, órbita terrestre no lugar certo, Vênus (sem condensação, sem chuva), o movimento de rotação e translação, sua inclinação, gravidade, efeito estufa, etc.

O homem e o Clima

- A humanidade se desenvolveu (temperatura média de 14°C) - agricultura, cidades, tecnologia.
- Variações Climáticas: civilizações desapareceram: Vikings – Groelândia (invernos rigorosos de 1400 a 1850); Saara verdejante há 5.000 anos; Maias – Secas há 1.100 anos
- Já podemos responder quem é o responsável pelo aquecimento global?
- Importância do efeito estufa comparado a outros Planetas.
- Atividades humanas e gases estufa há 10.500 anos:
- Tendência dos ciclos: Reversão
CO₂: Há 8.000 anos com o desenvolvimento da agricultura com devastação de florestas na Europa: 160ppm para 280ppm (Revolução Industrial) e para 380 atualmente.
CH₄: Há 5.000 anos com a agricultura úmida, cultivo de arroz China: 600ppb para 715ppb (Revolução Industrial) e 1774ppb atualmente.
- Revolução industrial Século XVIII
- Dependência da temperatura com o aumento na concentração dos gases de efeito estufa.
- Número de habitantes no planeta: início do século XX 1 bilhão e no final 6 bilhões. A energia por habitante aumentou 4 vezes em relação há 100 anos. A produção sustentável atingiu seu limite em 1986. E atingirá o equivalente a 2 Planetas em 2050 com 9 bi habitantes.
- Se parássemos de emitir CO₂, resolveria?
- Modelos Climáticos e Consequências.

Atmosfera e Oceano

- Atmosfera: 4 camadas: Alto poder de dispersão dos gases, sensibilidade a alterações em gases traços.

- Troposfera: região onde o ar gira; 12 km altura; 80% dos gases; 5 km de atmosfera respirável com $\frac{1}{2}$ dos gases.
- Estratosfera: ozônio (10 ppm) 25 km, sem eles ficaríamos cegos.
- Composição: Nitrogênio (78%), Oxigênio (20,9%) e Argônio (0,9%)
- Gases estufa (forçantes): Vapor d'água (a 25°C, 3%), CO₂ 380ppm, CH₄ 1,5 ppm (20X); N₂O 319 ppb (210X), hidrofluorcarbonos (HFC), os cloro-fluor-carbonos (CFC), um total de 30 gases.
- Ciclo do Carbono
- Oceano: Sumidouro de CO₂ e Grande reservatório Térmico
- O CO₂ pode ser absorvido pelo oceano, dissolvido, ser usado para fotossíntese (algas), ser armazenado na cadeia alimentar.
- Os Oceanos absorveram 48% do carbono emitido pelo homem entre 1800 e 1994.
- O oceano está absorvendo menos: saturação (Acidificação/Carbonato) e temperatura (abrir lata de refrigerante: chiado maior quando mais quente).

Aula 3 – 15/12/2008

Capítulo 4

Calor

- Energia transferida entre dois corpos devido à diferença de temperatura, independentemente de transporte de massa e execução de trabalho.
- Energia Térmica – relacionada ao movimento contínuo dos átomos (vibração, rotação ou translação)
- **Condução** – contato físico entre os corpos. (interação partícula-partícula) Condutividade Térmica: Condutor e Isolante.
- **Convecção** – correntes de fluidos ascendentes e descendentes. (Ex.: as brisas marítimas: calor específico)
- **Irradiação Térmica** – emissão de radiação pelos corpos aquecidos. A transmissão de calor se deve a interação da radiação com a matéria. (Ex.: Estufa) A radiação se transmite inclusive no vácuo.
- Calor Específico – quantidade de calor necessária para alterar de um grau a temperatura de uma unidade de massa.
- Calor Latente – Energia necessária para modificar o estado físico de uma substância. (altera a energia potencial de ligação dos átomos ou moléculas, muda sua configuração)
- Não é necessário que a água atinja 100°C para se evaporar: Basta que as moléculas que estão expostas ao ar (que estão mais fracamente ligadas) recebam energia suficiente para evaporar.
- Efeito Feedback.
- Temperatura: Precisamos de termômetros, não podemos confiar em nossa sensação de quente ou frio. Escalas Kelvin, Celsius, Fahrenheit.
- Para estimar temperaturas antigas utiliza-se relação entre crescimento de anéis de árvore, isótopos O¹⁶ e O¹⁸ em fósseis e bolhas em estratos de gelo.
- Primeira Lei: Princípio da conservação da energia.

Aula 4 – 15/12/2008

Capítulo 5

Planeta Água

- 71% da superfície - somos feitos de 70% d'água.
- Apenas 0,014% da água doce é acessível, mas distribuídas desigualmente.
- A água é responsável pelas trocas energéticas na atmosfera, muda de estado, reflete radiação quando neve, absorve mais quando líquida ou vapor, se comporta, entre 0 e 4° C, de forma anômala permitindo que apenas as superfícies se congelem e a vida aquática sobreviva. Sem falar na biodiversidade onde esta é abundante, enfim água é sinônimo de vida.
- Mudanças de fase

Precipitação Mundial:

- Aumento da Evaporação (moléculas na superfície dos líquidos com energia cinética suficiente para evaporar ou condensar dependendo da temperatura);
- Umidade relativa = razão entre pressão de vapor d'água e pressão de vapor de saturação (limite para começar a condensação)
- A pressão interfere na temperatura de ebulição (no Everest a 8.882m a água ferve a 71°C, numa panela de pressão a 2 atm ela ferve a 120° C).
- Previsão de aumento de precipitação forte em regiões enquanto falta em outras.

Desertificação:

- Deserto: Baixa umidade, pouca vegetação, não há manutenção de temperatura.
- Secas: maior evaporação pode desertificar regiões, diminuição no fluxo dos rios dependentes de degelo dos Alpes.
- Savanização = Desmatamentos + aquecimento + secas.

Dilatação Volumétrica do Mar

- A Expansão Térmica da água é responsável por parte do aumento do nível dos oceanos. Estimativas do IPCC indicam que no século XXI pode ocorrer um aumento de 30 a 40 cm. Isso sem falar nos impactos das ressacas.

Degelo nos Pólos

- Pode contribuir no século XXI com 18 a 58 cm no aumento do nível dos mares.
- Somente o gelo continental contribui para esse aumento.
- Princípio de Arquimedes e o Iceberg.

Aula 4 – 15/12/2008

Capítulo 6

Processos Térmicos nos Fenômenos Naturais

- **Correntes Atmosféricas:** Correntes de convecção impulsionadas pelo aquecimento devido a interação da radiação solar e realimentadas pelo efeito estufa. Movimento da atmosfera se deve a distribuição desigual da radiação e da rotação terrestre. Três forças governam esse movimento: Gradiente de pressão, força de Coriolis e de atrito.
- **Correntes Oceânicas:** são governadas pelas diferenças de temperatura e salinidade, influenciadas por ventos e marés. Ex.: a corrente do Golfo leva calor para Europa.
- **El Niño e La Niña** geralmente ocorrem com frequência de 3 a 5 anos. Aquecimento/Resfriamento anormal das águas do Pacífico Tropical. Causando distúrbio na distribuição de chuvas do planeta.
- **Tornados e Furacões:** são tempestades alimentadas por uma combinação de ventos e aquecimento atmosférico e oceânico.
- **Segunda Lei:** quando a energia muda de forma através de transformações térmicas, ocorre uma diminuição na capacidade da energia realizar trabalho útil. Parte é perdida na forma de calor. A energia útil na natureza sempre diminui.
- **Energia e Sustentabilidade:** Precisamos de energia, mas devemos dar preferência àquelas que causem menor impacto na natureza.

Aula 5 – 17/12/2008

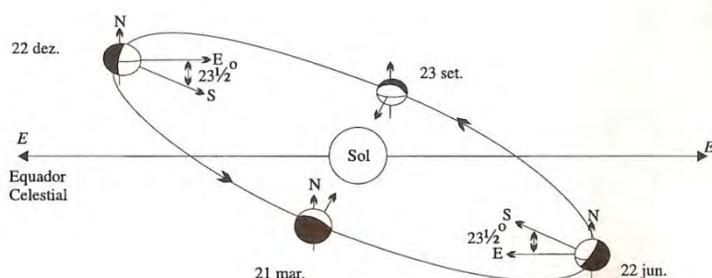
Capítulo 2

Astronomia

- Sol – Potência luminosa recebida pelo sol (10^{26} watts = J/s), ou 10 milhões de vezes a produção anual de petróleo na Terra.
- Terra – Recebe cerca de 1400 W/m^2
- Estamos sujeitos a variações astronômicas como: ciclos de manchas solares.
- O fator Astronômico que mais influencia é a variação na distribuição da energia recebida do Sol.

As Estações:

- Não estão ligadas à proximidade da Terra ao Sol: Periélio e Afélio.
- Ocorrem devido à inclinação da eclíptica em relação ao plano do equador celestial ($23^\circ 27'$). O que proporciona, em certas épocas do ano, regiões mais iluminadas e maior aquecimento.



- Solstício: maior inclinação em relação ao equador celestial, maior dia do ano (solstício de verão) e a maior noite do ano (solstício de inverno).
- Equinócio: momento em que a Terra passa pelo equador celeste e o dia e a noite tem igual duração.
- Sol da meia-noite: quando no verão há 24 ou mais horas de sol.
- Primavera (21/03 Hemisfério Norte, 23/09 Hemisfério Sul). Periodicidade Vital para os Ecossistemas: Na Holanda os pardais chegam em 23/04, os filhotes nascem em 02/06. O aquecimento recente antecipou a aparição das folhas, antecipando o máximo de concentração de lagartas 28/05 para 15/05.

Ciclo de Milankovitch

- A combinação de ciclos mais sutis que contribuem para a variação climática e explicam as eras glaciais.
- Excentricidade da órbita terrestre – Um ciclo de 92.000 a 100.000 anos que leva o planeta mais perto ou mais longe do Sol.
- Obliquidade da Eclíptica - Ciclo de 40.000 a 41.000 anos onde o eixo da Terra varia sua inclinação em relação à eclíptica de $21,5^\circ$ a $24,5^\circ$ provocando, quanto maior o ângulo, uma maior diferenciação entre as estações do ano.
- Precessão dos Equinócios – ciclo de 19.000 a 23.000 anos onde há oscilação do eixo da Terra como o giro de um pião.
- A combinação desses ciclos orbitais provoca variações cíclicas na intensidade e distribuição sazonal da radiação solar recebida pela Terra, o que provocou as Eras Glaciais e os períodos Interglaciais Quentes.
- Fato intrigante é que deveríamos estar passando por um Período frio, mas estamos, com a influência dos gases estufa, prolongando um Período Interglacial Quente.

Aula 6 – 17/12/2008

Capítulo 3

Equilíbrio Energético e o Aquecimento Global

- De toda radiação que chega a Terra parte é refletida, parte é espalhada, e outra é absorvida pelos continentes, oceanos, nuvens e gases atmosféricos.
- 30% da radiação é refletida de volta para o espaço, sendo 6% espalhada para o espaço, 20% refletida pelas nuvens e 4% pela superfície.

- **Espalhamento (dispersão)** – Gases e aerossóis causam esse espalhamento. O espalhamento depende do tamanho das moléculas. Então, o Violeta e o Azul predominam, entretanto o azul ganha destaque, pois a transmissividade da atmosfera privilegia o Azul. O espalhamento também é responsável pela cor branca das nuvens, pelo arco-íris, e pelo vermelhado nascer ou pôr do sol, onde a radiação percorre um caminho maior na atmosfera sendo toda a faixa correspondente ao azul mais espalhada, sobrando apenas a faixa próxima ao vermelho.
- **Reflexão** – Albedo significa a porção da radiação que é refletida. Albedo do gelo é próximo a 1.
- **Aerossóis** – são partículas em suspensão na atmosfera como poeira, pólen, etc. São importantes no balanço energético da Terra, pois influenciam na formação de nuvens mais refletoras. O vulcão Pinatubo nas Filipinas, em 1991, lançou 20 megatoneladas de ácido sulfúrico na atmosfera causando, por um período, uma diminuição de 0,6°C na temperatura média da Terra.
- **Absorção**
 - **na atmosfera** (19%): moléculas absorvem energia na forma de radiação, esta energia é transformada em movimento molecular interno causando o aumento de sua temperatura.
 - **na superfície** (51%): a maior parte desta energia é irradiada de volta para a atmosfera no intervalo de radiação infravermelha sendo então absorvida pelos gases estufa.
- Espectro (onda eletromagnética)
- Espectro de radiação – Todo corpo emite radiação e está relacionado com sua temperatura.

Sol – a 5770K que corresponde a uma faixa de 200 e 3000 nanômetros, com maior concentração entre 400 a 780 nm correspondendo à luz visível.

Terra – a 288K (15°C) emite radiação entre 4 μm e 50 μm, tendo um λ máximo entorno de 10 μm (10.000 nm). Portanto Infravermelho.

- Somente o equilíbrio de energia radiante (sem efeito estufa) não justifica nossa temperatura média 15°C, pois nosso planeta deveria ter uma temperatura de -34°C!
- Cada molécula interage com uma faixa de frequência de radiação, assim os gases estufa absorvem radiação infravermelha (a faixa que a Terra reemite e escaparia para o espaço).
- O vapor d'água (H₂O), absorve radiação a 6,3μm e a 18μm, o dióxido de carbono (CO₂), a 4,3μm e a 15μm, o metano (CH₄), a 7,7μm, o ozônio (O₃), entre 9 e 10μm, o óxido nitroso (N₂O), a 8,6μm.

IMPORTANTE: o Buraco na Camada de Ozônio, não tem relação com o efeito estufa, e sim com a questão da maior exposição à radiação UV (causadora de câncer).

APÊNDICE D – Livro: A Física do Aquecimento Global

A Física do Aquecimento Global

LIVRO

Joziel Costa Creton

Orientador: Prof. Marcelo Silva Sthel

Co-orientador: Prof. José Glauco Tostes

UENF - CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

2009

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	80
1 PLANETA TERRA.....	81
1.1 O homem e o Clima.....	81
1.2 Atmosfera e Oceano, sua Composição e Importância para o Planeta.....	86
2 ASTRONOMIA.....	92
2.1 As Estações do Ano.....	92
2.2 O Ciclo de Milankovich.....	96
3 EQUILÍBRIO ENERGÉTICO E O AQUECIMENTO GLOBAL.....	101
3.1 Distribuição da Radiação.....	101
3.2 Espectro de Radiação do Sol e da Terra.....	105
3.3 Absorção de Radiação pelas Moléculas.....	112
4 CALOR.....	117
4.1 Primeira Lei da Termodinâmica.....	122
4.2 Efeitos da Troca de Calor.....	123
4.3 Temperatura e sua variação.....	124
5 PLANETA ÁGUA.....	126
5.1 Evaporação Modifica a Precipitação Mundial.....	129
5.2 Desertificação.....	132
5.3 Dilatação volumétrica do mar.....	134
5.4 Degelo nos Pólos.....	136
6 PROCESSOS TÉRMICOS NOS FENÔMENOS NATURAIS.....	140
6.1 Correntes Atmosféricas.....	140
6.2 Correntes Oceânicas.....	142
6.3 Fenômenos Naturais.....	143
6.4 A Segunda Lei da Termodinâmica.....	148
7 ENERGIA E SUSTENTABILIDADE.....	152
APÊNDICE I – REVISÃO DE CONCEITOS BÁSICOS DE FÍSICA E QUÍMICA.....	162
APÊNDICE II – COMO AS COISAS FUNCIONAM.....	171
APÊNDICE III – DEFINIÇÕES E INFORMAÇÕES RELEVANTES.....	173
APÊNDICE IV – LISTA DE EXERCÍCIOS.....	175
BIBLIOGRAFIA.....	176

APRESENTAÇÃO

É essencial que tenhamos total domínio sobre o tema do aquecimento global por ser de vital importância para nossa e futuras gerações. Devemos reconhecer o papel da ciência em questões tão cruciais para humanidade. Precisamos valorizar a educação para podermos lidar com sabedoria sempre que surgirem novos desafios, tanto em nossa individualidade quanto à coletividade. Por isso é de grande valor incluir o ensino de física nesse contexto, onde os efeitos do ensino de ciências contribuem diretamente para conscientização e formação de uma sociedade atualizada e preparada para as mudanças climáticas.

Abordamos aqui, conceitos de física associados ao tema do aquecimento global. Entretanto, não temos objetivo aprofundar descrições matemáticas, mas evidenciar tais conceitos. Para compilar as estruturas e os temas deste livro paradidático, seguimos orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais focando nossa abordagem nos eixos: Ciência, Tecnologia e Sociedade.

O presente livro se complementa com um questionário que deve ser aplicado antes das aulas, pois este facilitará o processo de aprendizagem ao identificar os pontos que requerem maior atenção. No livro encontramos conceitos interdisciplinares que podem ser desenvolvidos em conjunto com outras matérias, contudo ele se caracteriza como uma unidade limitada de física, ou seja, não atende todo o currículo para o Ensino Médio e, por isso, não deve ser conduzido como única fonte de estudo, não caracterizando nosso objetivo. Ao contrário, o propomos como uma nova opção para facilitar, atualizar e motivar o ensino de ciências nas séries a que se aplica, sendo assim classificado como um livro paradidático.

1 PLANETA TERRA

O planeta Terra apresenta certas características que o tornam único no Sistema Solar. A atmosfera terrestre, por sua composição e estrutura, interage simultaneamente com a radiação solar e a superfície terrestre, estabelecendo um sistema muito sensível de trocas energéticas que controlam o movimento das correntes marinhas e atmosféricas.

A vida em nosso planeta depende da água líquida que domina a superfície terrestre. Nesse sentido, a temperatura é um fator crucial, pois a maior parte da vida na Terra necessita de temperaturas médias entre os pontos de fusão e de ebulição da água. A órbita terrestre está a uma distância ideal do Sol para proporcionar tais condições. Se o planeta estivesse muito mais perto do Sol, seria quente demais para que o vapor de água se condensasse e formasse chuva. Se estivesse muito mais distante, a superfície terrestre seria tão fria que a água só existiria em forma de gelo. A Terra, além de uma distância adequada em relação ao sol, possui também uma atmosfera que lhe permite produzir um efeito estufa natural, o que possibilita uma temperatura média amena, favorecendo a existência de vida. Nosso planeta também gira, caso contrário, o lado voltado para o Sol seria demasiadamente quente, e o outro lado, frio demais para permitir, por exemplo, a vida aquática. A Terra também tem o tamanho certo. Ela contém massa gravitacional suficiente para manter seu núcleo, de ferro e níquel, liquefeito e impedir que suas moléculas de gases leves como N_2 , O_2 , CO_2 e $H_2O_{(g)}$ presentes na atmosfera escapem para o espaço. (MILLER, 2007).

Para sabermos mais sobre as mudanças climáticas precisamos conhecer três conceitos importantes, mas pouco compreendidos como: gases de efeito estufa, aquecimento global e mudança climática. Gases de efeito estufa são uma classe de gases que podem “aprisionar” o calor próximo da superfície da Terra. À medida que aumenta sua concentração na atmosfera, o calor extra que eles capturam leva ao aquecimento global. Esse aquecimento, por sua vez, exerce uma influência sobre o sistema climático da Terra levando a uma mudança climática. De modo semelhante, é importante saber a diferença entre tempo e clima. Tempo é o que experimentamos todos os dias. O clima é a soma de todos os estados do tempo ao longo de certo período, para uma região ou para o planeta como um todo.

Tantas são as informações: aquecimento global, gases estufa... Parece muito complexo compreender tudo isso. Mas na verdade não é! Precisamos de algumas informações extras para entender o que está acontecendo com nosso planeta.

Mas então, como chegamos até aqui?

1.1 O homem e o Clima

Durante os últimos 10 mil anos, a temperatura média superficial da Terra tem sido de $14^{\circ}C$ (graus Celsius). Para a humanidade isso foi maravilhoso, pudemos plantar, domesticar animais, construir cidades, enfim nos desenvolver. Pois antes éramos, na maioria, caçadores e coletores que se moviam conforme a necessidade de encontrar alimento suficiente para a sobrevivência.

Entretanto, muitas variações naturais no clima como tempestades, secas, invernos rigorosos e, inclusive eras do gelo, aconteceram. Algumas civilizações antigas desapareceram devido a mudanças climáticas como essas. Os Vikings, por exemplo, provavelmente foram expulsos da Groelândia, no período da Pequena Idade do Gelo (1400 a 1850), por condições extremas de frio. Estima-se que, há cerca de 5 mil anos, uma seca transformou uma paisagem verdejante pontilhada de lagos no grande arenoso deserto do Saara. O fim da civilização Maia no México e na América Central é atribuído a dois séculos de seca que esta civilização passou há 1100 anos.

Então nos perguntamos como e por que tais variações climáticas, por vezes tão desastrosas, ocorrem no clima da Terra?

Veremos isso nos capítulos que se seguem. No capítulo 2 entenderemos que os ciclos orbitais e astronômicos implicam numa distribuição de insolação diferente em cada região de nosso planeta. Fazendo com que apareçam, naturalmente, variações no clima que vão desde as conhecidas estações do ano às famosas Eras do Gelo.

Poderíamos concluir então que, haja vista tamanha grandiosidade dos fenômenos naturais, a natureza é a responsável pelo famoso Aquecimento Global?

Bem, nessa perspectiva estaríamos subestimando a importante influência antrópica¹ no clima. Conforme segue nossa história, o professor Ruddiman² sugeriu que algumas práticas humanas poderiam influenciar o clima da Terra.

Isso é possível porque alguns gases, conhecidos como gases de efeito estufa³, permitem que a radiação⁴ solar chegue à superfície e a aqueça, mas impedem que toda radiação que a Terra reemite para o espaço escape. Assim, mais radiação se concentra na atmosfera e na superfície aquecendo-as.



Figura 1.1 O efeito estufa

Fonte: Rezende, 2001

¹ Relativo ao homem.

² Willian F. Ruddiman é geólogo marinho e professor emérito de ciências ambientais da Universidade de Virgínia.

³ Principais gases de Efeito Estufa são o dióxido de carbono (CO_2), o monóxido de carbono (CO), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os hidrofluorcarbonos (HFC), os cloro-flúor-carbonos (CFC), dentre outros. Além desses inclui-se como agente estufa o Vapor d'água. O comportamento dessas moléculas poderá ser visto com mais detalhes no capítulo 3.

⁴ Radiação: Energia luminosa ou luz. A maior parte da energia que chega até nós se encontra na faixa espectral do visível.

Os gases-estufa que compõem a atmosfera desempenham um papel crítico na manutenção do equilíbrio necessário à vida. Sem eles a temperatura média da Terra seria -19°C ! Por outro lado, como no caso de Vênus, onde o CO_2 ocupa maior parte da atmosfera, sua temperatura aproxima-se a 477°C . Logo percebemos que o “termostato” dos planetas está diretamente relacionado à concentração de gases de efeito estufa.

Há aproximadamente 11.000 anos o homem deixou de ser caçador e nômade, decidiu se fixar e construir cidades. Assim, precisou desenvolver a agricultura e passou, a partir de então, a modificar irreversivelmente o ambiente.

De fato, sem a influência humana as concentrações de metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2) na atmosfera oscilavam regularmente conforme certos ciclos conhecidos como ciclos de Milankovich⁵.

Entretanto, há cerca de 8 mil anos quando, conforme esses ciclos, era esperada uma diminuição natural na concentração de CO_2 na atmosfera, aconteceu o contrário. A concentração aumentou! Ou seja, alguma coisa modificou o “sobe-e-desce” natural da concentração desse gás. O professor Ruddiman explica que o desenvolvimento da agricultura provocou a eliminação de florestas para o cultivo de trigo, cevada e outras culturas.

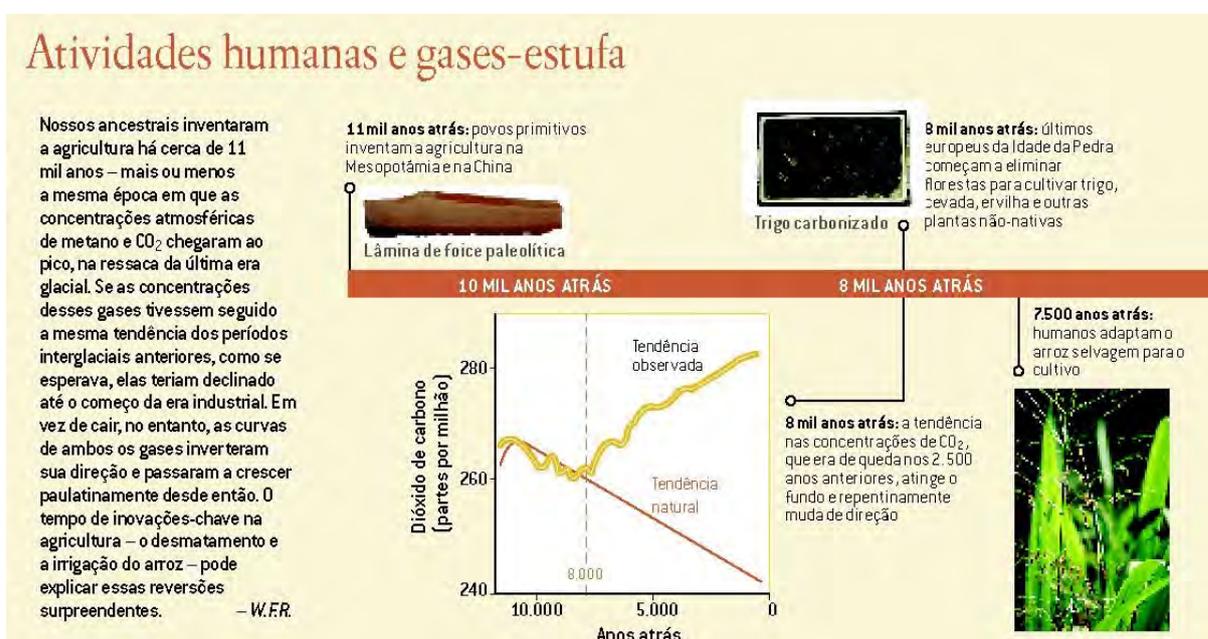


Figura 1.2a Atividades Humanas e Gases-estufa (Dióxido de Carbono CO_2)

Fonte: Ruddiman, 2005.

Da mesma forma aconteceu também com o gás metano. Há 5 mil anos, com o princípio da agricultura úmida⁶ no cultivo extensivo de arroz, a concentração de metano teve sua tendência natural de declínio revertida, como pode ser visto na figura 1.2b.

⁵ Astrônomo iugoslavo Milutin Milankovitch nascido em 1909, no que hoje é a Sérvia (ver ciclo de Milankovitch cap 2)

⁶ Agricultura úmida é praticada com alagamento das regiões de plantio. Nessas regiões de charco, ou seja, de água estagnada, pântano ou brejo, bactérias anaeróbicas se proliferam e ao decompor matéria orgânica produzem metano (CH_4)

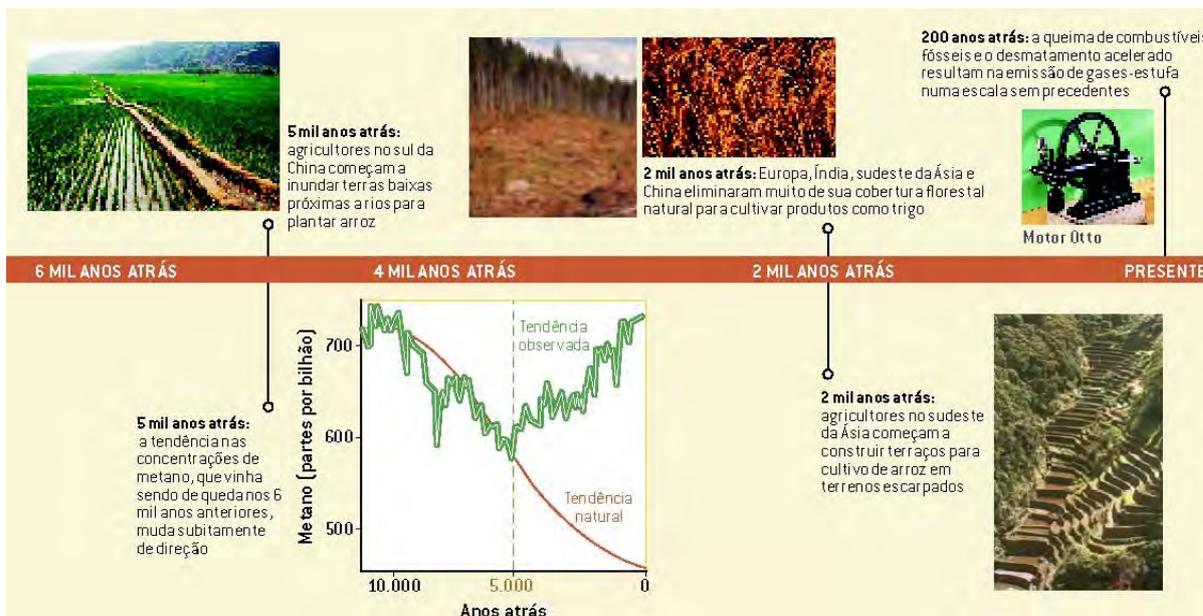


Figura 1.2b Atividades Humanas e Gases-estufa (Metano CH₄)

Fonte: Ruddiman, 2005.

Assim, durante esse longo período de 8 mil anos a concentração de CO₂ atmosférico subiu de cerca de 160 ppm⁷ para 280 ppm até a época Pré-Industrial. De forma semelhante, mas com menor variação, a concentração de CH₄ subiu de algo em torno de 600 ppb para 715 ppb. Daí pensamos: não parece ser grande coisa esse aumento! E, de certa forma não é. Contudo, como veremos, o problema está no aumento da concentração desses gases estufa nos últimos 200 anos.

Chegamos então à época da Revolução Industrial no século XVIII, época em que máquinas a vapor movidas a carvão promoveram o desenvolvimento econômico dos países desenvolvidos, principalmente na Europa. A descoberta e utilização de outros combustíveis fósseis como o petróleo foi uma questão de tempo⁸.

A enorme industrialização movida a combustíveis fósseis nos trouxe muitos benefícios como automóveis, ar condicionado, etc., mas infelizmente, o resultado do prolongado e intenso uso desses combustíveis para geração de energia resultou no aumento da concentração dos gases de efeito estufa, em especial o CO₂ que é produto da queima do carvão, petróleo ou do gás natural. Ou seja, grande parte do CO₂ liberado quando nossas bisavós ou tataravós acendiam seus fogões a carvão, nos anos posteriores a Primeira Guerra Mundial, continua a aquecer nosso planeta hoje em dia. Isso ocorre porque o tempo de residência de alguns gases na atmosfera é longo. Por exemplo, o CO₂ emitido hoje contribuirá para o aumento da temperatura por, aproximadamente, mais 100 anos.

As taxas de concentração dos gases de efeito estufa cresceram muito em um curto intervalo de tempo. Para se ter uma ideia, em relação aos níveis pré-industriais, a concentração de dióxido de carbono (CO₂) subiu cerca de 35%, a de metano (CH₄) 250% , ou seja, em 2005 o nível de CO₂ atingiu 379 ppm e o de CH₄ 1774 ppb. Daí nos perguntamos, o que esse aumento na concentração desses gases pode fazer? Como já dissemos, a temperatura

⁷ A concentração é dada em ppm (partes por milhão) ou ppb (partes por bilhão, 1 bilhão = 1.000 milhões) que é a razão do número de moléculas desses gases em relação ao número total de moléculas de ar seco.

⁸ Atualmente se discute muito problemas envolvendo uma provável crise energética. Isso ocorre devido à grande dependência de energia proveniente de fontes combustíveis não-renováveis como o petróleo, o gás natural, carvão, urânio (no caso de energia nuclear), entre outras. O problema da falta de combustível é simples, acontece quando se utiliza demasiadamente apenas um tipo de fontes como essas, uma hora acaba!

média global nos últimos 10.000 anos se manteve constante até que, subitamente, começou a crescer no século XX conforme o gráfico abaixo.

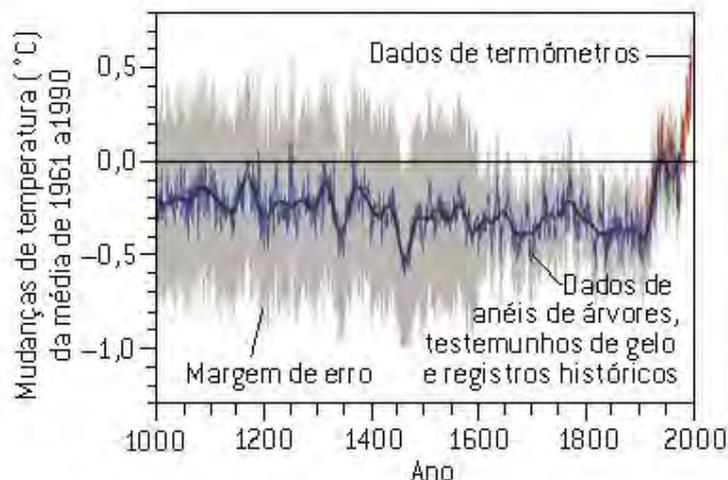


Figura 1.3 Gráfico conhecido como “taco de hóquei” de Michael Mann, mostra as tendências na temperatura superficial média da Terra do ano 1000 a 2000.

Fonte: Scientific American Brasil, 2005

Então, de acordo com o gráfico, a temperatura subiu algo em torno de $0,8^{\circ}\text{C}$? Na verdade estima-se que o aumento atualizado para o período de 1906 a 2005 é de $0,74^{\circ}\text{C} \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ ⁹. Mas isso parece ser tão pouco! Devemos dar especial atenção a esse aumento, podemos perceber que o maior aumento aconteceu nos últimos 20 anos. Registros observacionais indicam que 11 dos 12 últimos anos foram os mais quentes desde que os registros confiáveis começaram, por volta de 1850¹⁰. A chance de que essa sucessão de anos mais quentes tenha sido puramente casual é extremamente pequena.

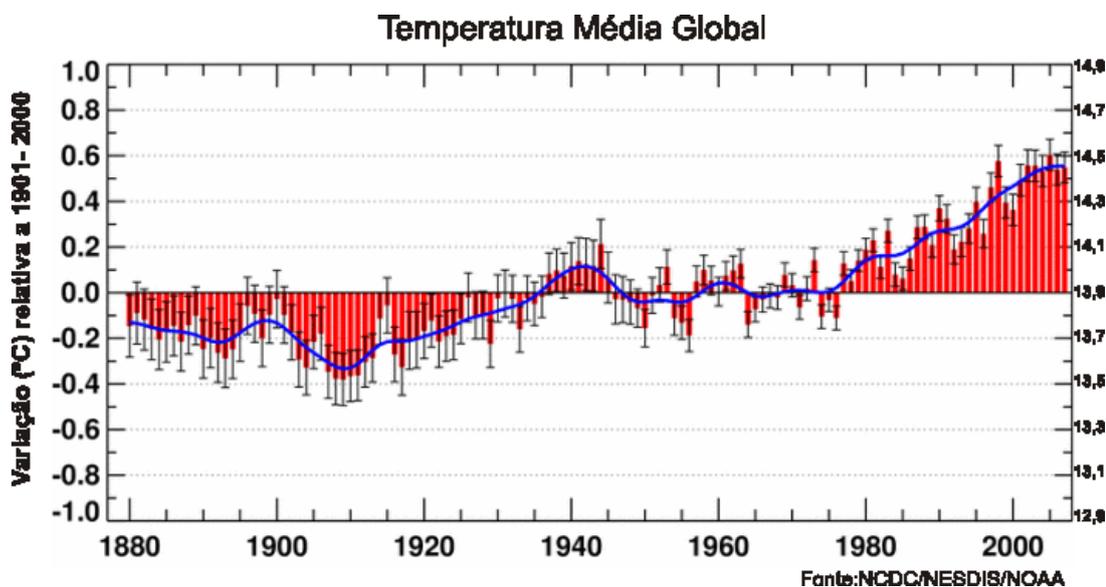


Figura 1.4 Variação de temperatura na Terra

Disponível em <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/anomalies/index.php>

⁹ Margem de erro associada às medidas.

¹⁰ Medidas anteriores são obtidas a partir de registros paleoclimáticos (referente ao clima no passado), como anéis de crescimento de árvores, crescimento corais e testemunhos de gelo (bolhas de ar aprisionadas no gelo à época de sua formação)

Também devemos atentar a tendência de chegarmos a uma concentração ainda maior desses gases na atmosfera, pois muito pouco está sendo feito para reduzir essas emissões.

O século XX começou num mundo que abrigava pouco mais de 1 bilhão de pessoas e terminou contendo 6 bilhões, e cada um desses 6 bilhões está usando, em média, quatro vezes a energia consumida por seus antepassados, cem anos antes. Em 1961, havia apenas 3 bilhões de pessoas e elas usavam apenas metade dos recursos totais que o nosso ecossistema global pode fornecer de modo sustentável. Contudo, apenas 25 anos depois, em 1986, atingimos o limite de produção sustentável da Terra, 5 bilhões de pessoas era o máximo que o planeta podia suportar naquelas condições de consumo. Em 2001 o déficit da humanidade tinha aumentado em 20%. Espera-se que em 2050 a população estabilize em 9 bilhões, isso implica utilização de recursos naturais, se puderem ser encontrados, equivalente a dois planetas Terra (WWF, 2006).

Se parássemos de emitir CO₂, ainda teríamos uma espécie de inércia no clima, isso ocorre, devido à longa vida (de décadas a séculos) dos gases de efeito estufa na atmosfera até serem absorvidos, provocando um aumento de temperatura por mais algum tempo. Graças a seu imenso volume e capacidade térmica os oceanos absorvem calor da atmosfera mantendo a média de temperatura global. Mas se continuarmos com esse nível crescente de emissões, poderemos facilmente atingir, ainda neste século, o dobro do valor da concentração de CO₂ em relação aos níveis pré-industriais, o que refletiria num aumento de temperatura da ordem de 3°C ou 6°C.

Tais previsões para o futuro são fruto de estudos que utilizam modelos climáticos, que servem para mensurar cenários que nossas gerações possivelmente presenciarão. O que inclui perda de biodiversidade, proliferação de doenças, degelo polar, aumento no nível do mar, aumento de frequência e intensidade de tempestades, secas, ondas de calor, etc. Por isso, grupos de cientistas¹¹ em todo mundo têm se empenhado em pesquisas para alertar e orientar os governos a tomarem as atitudes necessárias para revertermos tal processo de aquecimento.

1.2 Atmosfera e Oceano, sua Composição e Importância para o Planeta

Como já dissemos, nosso planeta é único e especial. Nenhum outro apresenta condições tão peculiares para existência de vida. Nesse contexto, apresentamos a atmosfera e o oceano como elementos vitais no processo que mantém o equilíbrio climático e a vida na Terra.

A atmosfera tem quatro camadas distintas, que são definidas com base em sua altitude e na direção do seu gradiente¹² de temperatura. A parte mais baixa da atmosfera é conhecida como troposfera. O nome significa a região onde o ar gira, e é assim chamada devido à mistura vertical de ar que a caracteriza.

¹¹ Um grupo que se destaca nesse sentido é o do conhecido IPCC (sigla em inglês para Painel Internacional de Mudanças Climáticas). Criado em 1988 e formado por cientistas, especialistas e membros de governo de diversos países, já publicaram quatro relatórios (1990, 1995, 2001 e 2007) que avaliam os impactos das mudanças climáticas no mundo.

¹² Gradiente significa uma taxa de variação

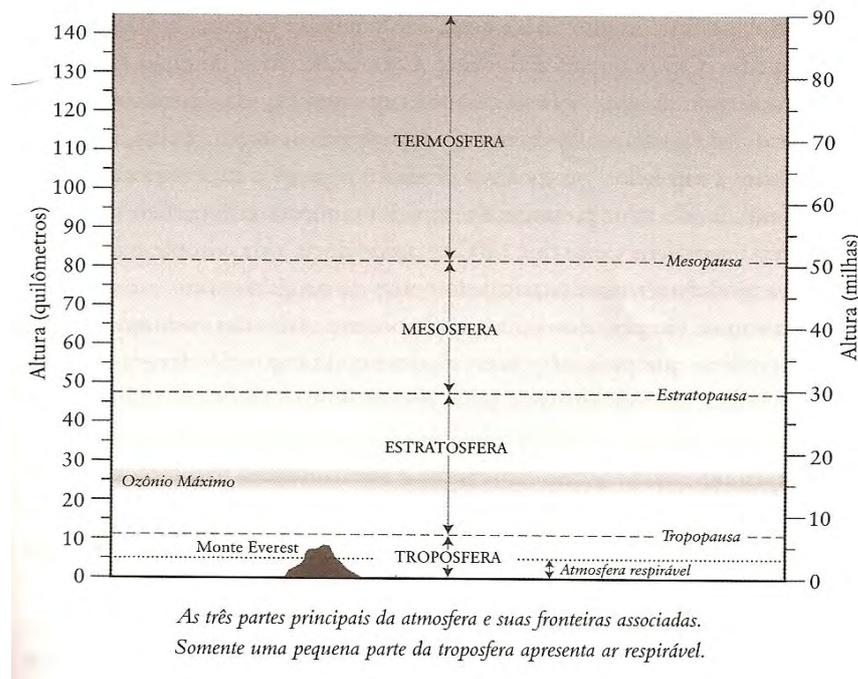


Figura 1.5 Subdivisão de quatro camadas da atmosfera.

Fonte: Flannery, 2007

A troposfera se estende, em média, até 12 quilômetros acima da superfície da Terra e contém 80% (em massa) de todos os gases da atmosfera. Um terço dela, que forma a camada mais baixa (e que contém a metade de todos os gases na atmosfera), é a única parte respirável de toda a atmosfera. O aspecto singular da troposfera é que seu gradiente de temperatura está de "cabeça para baixo" - é mais quente no fundo, e esfria $6,5^{\circ}\text{C}$ por quilômetro vertical que se suba até atingir, aproximadamente, -60°C . À primeira vista isso parece contrário ao bom senso, pois era de se esperar que o ar mais próximo do Sol (a fonte fundamental de calor) fosse mais quente. Mas como veremos em capítulos posteriores, é a interação da radiação com as moléculas presentes no ar que definem a temperatura de cada camada da atmosfera. Lembremos que é na troposfera que ocorre o conhecido efeito estufa.

A camada seguinte da atmosfera, conhecida como estratosfera, encontra a troposfera na tropopausa e se estende de 15 km a 50 km de altitude. Em contraste com a troposfera, a estratosfera fica mais quente à medida que se sobe, nessa região a temperatura aumenta desde -60°C até cerca de 0°C . Isso acontece porque a estratosfera superior é rica em ozônio, que capta a energia dos raios ultravioleta, reirradiando-a como calor.

Cerca de 50 km a 80 km acima da superfície terrestre fica a mesosfera onde a temperatura volta a cair para em torno de -90°C . Isso ocorre porque, nessa região, a absorção de radiação solar é muito fraca tornando-a a parte mais fria de toda a atmosfera.

Acima da mesosfera fica a camada final, a termosfera, que é um tênue resíduo de gás que se estende longe no espaço. Aqui as temperaturas podem chegar a 1000°C devido a absorção de radiação solar, no entanto, como o gás está finamente disperso, não pareceria quente ao toque. (FLANNERY, 2007)

Nossa atmosfera é composta de nitrogênio (78%), oxigênio (20,9%) e argônio (0,9%). Esses três gases formam a maior parte - mais de 99,95% do ar que respiramos. E o interessante é que sua capacidade de reter H_2O depende de sua temperatura: a 25°C o vapor de água forma 3% do ar que inalamos. Mas, são os elementos menores - os restantes 0,05% - que temperam a mistura, e alguns deles são vitais a este planeta. Tome como exemplo o ozônio. Suas moléculas, formadas por três átomos de oxigênio, são escassas mesmo dentro

dessa minúscula minoria de gases de tempero, que os cientistas chamam de gases traço. O ozônio responde, em média, por apenas dez moléculas de cada milhão (10 ppm). E, no entanto, sem o efeito protetor dessas dez em 1 milhão, logo ficaríamos cegos, morreríamos de câncer ou sucumbiríamos a uma variedade de outros problemas. (FLANNERY, 2007)

Igualmente importante para a nossa existência são os gases do efeito estufa, dos quais o CO₂ é o mais abundante. Com aproximadamente 380 ppm o CO₂ dificilmente pode ser considerado comum. E, no entanto desempenha um papel vital, evitando que sejamos congelados, ou em maior concentração, fiquemos superaquecidos. Como já dissemos, sua presença contribui para manutenção de uma temperatura propícia para existência da vida, ou seja, uma média de temperatura na superfície terrestre em torno de 14°C.

Difícil de imaginar que um aumento na concentração desse gás poderia afetar o equilíbrio do sistema climático. A atmosfera é muito sensível, tanto que sua “porção respirável” nem mesmo cobre completamente a superfície do planeta, motivo pelo qual os alpinistas precisam usar máscaras de oxigênio no monte Everest. E os gases que a compõem são tão insubstanciais, que existe mais gases dissolvidos nos oceanos do que flutuando na atmosfera. E há mais energia calórica armazenada perto da superfície do oceano do que em toda atmosfera.

Para compreender a vulnerabilidade da atmosfera, precisamos compreender não apenas seu tamanho e sua composição, mas também seu dinamismo. O ar que você acabou de exalar já se espalhou amplamente. E o CO₂ que saiu da sua respiração na semana passada pode estar agora alimentando uma planta num continente distante, ou o plâncton de um mar congelado. Em questão de meses todo o CO₂ que você acabou de exalar terá se dispersado por todo o planeta.

Quando os cientistas perceberam que os níveis de CO₂ na atmosfera estavam ligados à mudança climática, alguns ficaram intrigados. Aumentar sua concentração em experiências parece não fazer uma diferença real na quantidade de calor aprisionado. Além disso, havia tão pouco gás que parecia inconcebível que o CO₂ pudesse mudar o clima de um planeta inteiro. Descobriu-se que, no lugar de ser o único agente responsável pela mudança climática, o CO₂ age como um gatilho para um potente gás do efeito estufa, o vapor d'água. Ele faz isso ao aquecer a atmosfera apenas um pouco, permitindo que ela capte e retenha mais umidade, que então aquece a atmosfera ainda mais. (WEART, 2003)

Embora seja um gás do efeito estufa, o vapor d'água também é um enigma na arena de mudança climática, pois forma nuvens que podem ao mesmo tempo refletir a energia luminosa e reter calor. Ao reter mais calor do que refletir luz, as nuvens altas e finas tendem a aquecer o planeta, enquanto as nuvens baixas, espessas, exercem um efeito contrário.¹³

Muitos gases do efeito estufa são gerados, de um modo ou de outro, pela atividade humana. Embora escasso e fraco em sua capacidade de captar calor, o CO₂ tem uma vida muito longa na atmosfera: em torno de 56% de todo o CO₂ que os seres humanos liberaram pela queima de combustíveis fósseis ainda permanece no ar, o que é a causa - direta e indireta - de cerca de 80% de todo o aquecimento global. (KUMP, 2002)

Foi nossa industrialização, movida a combustíveis fósseis, tais como carvão, gasolina e combustíveis baseados no petróleo e no gás, que desempenhou o papel principal na produção de CO₂ nos últimos 200 anos.

Existem em torno de trinta gases do efeito estufa na atmosfera, todos presentes em pequenas proporções. A maioria é tão rara que parece desprezível, no entanto, como absorvem calor em diferentes comprimentos de onda¹⁴, qualquer aumento no volume é significativo. Pense neles como clarabóias de vidro em um telhado, cada gás representando

¹³ Todos esses elementos como vapor d'água, CO₂, nuvens, são caracterizados como forçantes (definido no Apêndice III) que servem para mensurar sua influência no balanço energético do planeta.

¹⁴ Veja como esses gases absorvem radiação no Capítulo 3

uma clarabóia diferente. E à medida que essas janelas aumentam, mais energia luminosa é admitida na sala, para ser aprisionada como calor. (WEART, 2003)

Depois do CO_2 , o metano (CH_4) é o gás de efeito estufa mais significativo. Ele chega a ser 21 vezes mais eficiente que o CO_2 no efeito estufa. Embora aparecendo em torno de apenas 1500 ppb (ou 1,5 ppm) na atmosfera, sua concentração dobrou nos últimos séculos (BAIRD, 2002). Mas felizmente o CH_4 dura, em média, 12 anos na atmosfera e uma redução em sua concentração teria um efeito rápido. O metano é criado por micróbios que vivem em ambientes sem oxigênio, como lagoas estagnadas e intestinos, motivo pelo qual é abundante em pântanos, gases intestinais e arrotos. Estima-se que o metano será responsável por entre 15% e 17% de todo o aquecimento global a ser experimentado neste século.

O óxido nitroso N_2O (gás do riso) é 206 vezes mais eficaz que o CO_2 na captura do calor e, embora seja muito mais raro que o metano, possuindo atualmente uma concentração de 319 ppb, permanece 150 anos na atmosfera (BAIRD, 2002). Em torno de um terço de nossas emissões vem da queima de combustíveis fósseis e o resto, da queima de biomassa e do uso de fertilizantes que contêm nitrogênio. Embora existam fontes naturais de óxido nitroso, as emissões de origem humana as superam muito em volume e, como resultado disso, existe 20% mais óxido nitroso na atmosfera do que no começo da Revolução Industrial.

Os mais raros entre todos os gases do efeito estufa são os membros da família dos hidrofluorcarbonos (HFC) e dos cloro-flúor-carbonos (CFC). Esses filhos da engenhosidade humana não existiam antes que os químicos industriais comesçassem a manufaturá-los. Alguns, como o diclorotrifluoretano (CFC), já foram usados em refrigeração e são mil vezes mais potentes para captar a energia calórica do que o CO_2 podendo permanecer séculos na atmosfera.

Para entendermos de forma completa o mecanismo que regula a temperatura global, devemos lembrar que o CO_2 é, atualmente, o grande vilão da intensificação do efeito estufa global. E, como já dissemos, o problema não está na existência desse gás, mas em sua indesejada abundância na atmosfera.

O Carbono, elemento da tabela periódica, de número atômico 12, está presente em toda superfície do planeta Terra. Por exemplo, os diamantes, o grafite, e a fuligem são formas puras de carbono, sendo a única diferença a forma de disposição de seus átomos. O carbono entra e sai constantemente de nossos corpos, assim como das rochas, do mar e do solo, e de lá vai para a atmosfera e volta formando um ciclo. Se este ciclo remove muito CO_2 da atmosfera, ela esfria, se gera um excesso de CO_2 , a atmosfera esquenta. Portanto, mesmo pequenas alterações nesse ciclo podem afetar o clima e, conseqüentemente, as formas de vida que existem na Terra.

Com a interferência humana, os fluxos de carbono entre o ar, as plantas e os oceanos ficaram desequilibrados. A queima de combustíveis fósseis adiciona algo em torno de 6,5 bilhões de toneladas de carbono à atmosfera todos os anos. O ciclo de carbono pode ser dividido em duas partes: o ciclo terrestre e o ciclo marinho.

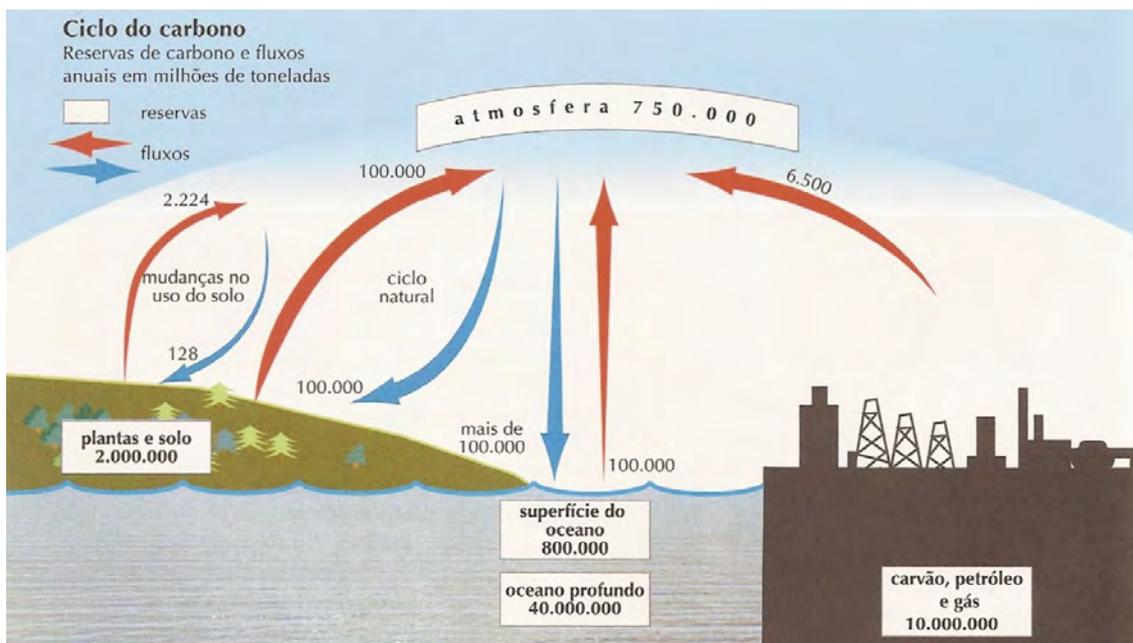


Figura 1.6 Ciclo do Carbono: Reservas de carbono e fluxos anuais em milhões de toneladas.
Fonte: Dow, 2007

No ciclo terrestre as plantas removem gás carbônico da atmosfera através da fotossíntese. Metade desse carbono é utilizada pela planta para a sua manutenção sendo posteriormente liberado de volta para atmosfera. A outra metade restante irá fazer parte do corpo da planta (folhas, galhos, troncos e raízes).

Quando as plantas são comidas por animais herbívoros ou morrem e apodrecem, o carbono passa para os microorganismos ou animais que as ingeriram como fonte de energia para a construção e manutenção dos seus corpos. Estes por sua vez, também liberam gás carbônico para a atmosfera através da respiração.

Parte do carbono que flui através dos ecossistemas terrestres vai parar no solo, na forma de restos de plantas, animais e cinzas de incêndios. Devido à entrada e a saída de carbono no solo ser bastante lenta, o solo se apresenta como o maior reservatório de carbono nos continentes.

O ciclo marinho do carbono se dá basicamente pelas trocas de gás carbônico entre a atmosfera e os oceanos através de um processo físico denominado difusão¹⁵. Através desse processo, quando a temperatura do oceano diminui, ocorre a captura de gás carbônico da atmosfera para o oceano. Quando a temperatura aumenta, ocorre a liberação do gás carbônico do oceano para a atmosfera.

No ciclo terrestre do carbono, as maiores taxas de captura de gás carbônico atmosférico estão nas florestas das regiões tropicais, ao contrário dos oceanos onde as maiores taxas de captura se concentram nos mares frios das regiões temperadas.

Uma vez no oceano, o carbono capturado na superfície pode ser lentamente transportado por gravidade e pelas correntes para as camadas mais profundas. Pode ainda ser absorvido pelo fitoplâncton através da fotossíntese. Posteriormente, o carbono do fitoplâncton se desloca para as profundezas quando o fitoplâncton morre ou é consumido por outro animal que fatalmente também irá morrer. No oceano, o tempo de residência do carbono varia de décadas a milênios, o que faz dele o maior reservatório de carbono do planeta.

¹⁵ A difusão é um exemplo de fenômeno de transporte de matéria ou energia. Do ponto de vista macroscópico, o transporte de matéria ou calor obedece uma direção, ou seja, ocorre do mais concentrado para o menos concentrado e, no segundo caso, da maior temperatura para a menor.

Um estudo Sabine (2004) examinou a produção de carbono no nosso planeta e demonstrou que os oceanos absorveram 48% de todo o carbono emitido pelo homem entre 1800 e 1994. E que, antes do fim deste século, prevê que os oceanos estejam absorvendo 10% menos CO₂ do que atualmente. Os cientistas já descobriram que a fração de CO₂ produzida pelo homem que é absorvida pelos oceanos está diminuindo. Os oceanos também absorvem o calor da atmosfera e lentamente transferem parte desse calor para o oceano profundo, onde é removido do sistema climático por períodos desconhecidos.

A remoção de excesso de dióxido de carbono da atmosfera por processos naturais sobre os oceanos se tornará menos eficiente à medida que o planeta se aquece. Consequentemente, uma porcentagem mais alta de dióxido de carbono emitido permanecerá na atmosfera, o que poderá acelerar o aquecimento global no futuro.

Encontramos o mesmo princípio quando abrimos uma lata de refrigerante que não foi colocada na geladeira. Ouve-se um intenso chiado e em seguida um silêncio. Isso indica que o líquido liberou rapidamente o dióxido de carbono que o faz borbulhar. Se a bebida estiver gelada, o borbulhar dura mais tempo. Isso também ocorre com os oceanos, a água mais fria pode conter mais carbono do que a água mais quente. Assim, à medida que o oceano se aquece, ele se torna menos capaz de absorver o gás.

A química dos oceanos também é afetada com o aumento nas concentrações de dióxido de carbono na atmosfera. Os oceanos se tornam mais ácidos à medida que mais CO₂ é absorvido, e como o moderador do oceano, os carbonatos¹⁶, se encontram em suprimento limitado, devem cair abaixo dos níveis em que podem ser usados para formar conchas de animais. As projeções mais modestas das emissões de CO₂ já indicam que os corais podem se tornar mais raros nas áreas tropicais e subtropicais em 2050. (BUSSLER, 2004)

Diante de tamanha sensibilidade e vital interação entre atmosfera e oceano, podemos concluir que o homem pode perturbar todo o sistema climático terrestre ao intensificar o efeito estufa injetando, principalmente, gás carbônico na atmosfera. Então alguém pode questionar: não haveria nenhum fator natural que poderia ser solidário ao homem quanto à responsabilidade do aquecimento global? Vamos verificar isso no próximo capítulo.

¹⁶ Carbonatos são compostos com CO₃²⁻ em sua estrutura. Veja como isso ocorre no Apêndice I.

2 ASTRONOMIA

Ao contemplarmos a natureza, nos deparamos com o esplendor dos corpos celestes, planetas, satélites, miríades de estrelas e, por fim, nosso majestoso Sol. Estima-se que a luminosidade do sol é da ordem de 10^{26} watts. Essa quantidade de energia é equivalente a mais de 10 milhões de vezes a produção anual de petróleo da Terra. Como nossa fonte primária de energia é o sol, obviamente a temperatura do nosso planeta está associada à intensidade da radiação recebida dele. Cada metro quadrado iluminado na Terra recebe do sol uma potência (energia/segundo) de 1354 watts, ou seja, aproximadamente a potência de 14 lâmpadas de 100 watts por metro quadrado.

Contudo, o comportamento do sol não é estático, essas condições mudam de tempos em tempos, por isso é muito importante entender a história da variação na atividade solar, ou seja, do aumento ou diminuição na quantidade de calor irradiado pelo Sol. Essa variação está associada a ciclos de manchas solares. Entretanto, somente esse fator não explica o aquecimento recente da Terra. Isso porque a variação da temperatura na Terra depende em maior parte da distribuição de energia solar recebida em cada parte do Planeta. De fato, a região do equador é mais quente que os pólos porque recebe mais tempo de insolação.

Estudos sobre astronomia feito por chineses, babilônios, assírios e egípcios remontam tempos pré-históricos, cerca de 3000 a.C. E estavam relacionados à previsão de melhor época para o plantio e colheita. Esses povos também sabiam a duração do ano, pois podemos encontrar, em diversas partes do mundo, evidências deixadas em monumentos e pedras alinhadas com o nascer e pôr do sol, no início do verão e do inverno. Podemos citar os Maias, na América Central, com conhecimentos sobre calendário e fenômenos celestes e os Polinésios que aprenderam a navegar por meio de observações celestes.

Todas as principais civilizações que desenvolveram alguma forma de calendário e a observação sistemática do céu, fizeram-no a partir da observação das variações climáticas durante o ano. Em uma sociedade agrária, onde os períodos de plantio e colheita são determinados pelas estações do ano, os ciclos anuais de insolação determinaram diversos aspectos da vida social, cujos resquícios ainda hoje se verificam em festas religiosas de solstícios como o Natal e São João e de equinócio como a Páscoa.

É interessante como as civilizações procuraram medir o tempo dividindo períodos que se repetiam com regularidade. Assim, puderam dividir o ano em estações, estações em meses, meses em semanas e semanas em dias. Na Europa e Ásia, o ano era dividido em quatro estações, pois há quatro períodos com condições climáticas muito distintas, como o inverno (frio), primavera (flores), verão (calor), outono (queda da folhas). Outros povos dividiam o ano em outras estações. No Egito, por exemplo, as estações eram: cheia, plantio e colheita. Contudo, podemos observar que as variações climáticas dependem da região do planeta em que estamos. Essas variações vão desde frio intenso o ano todo, nas proximidades dos pólos, até calor intenso o ano todo, nas proximidades da linha do equador.

2.1 As Estações do Ano

Ao contrário do que muita gente pensa, as estações do ano não estão ligadas ao fato de a Terra estar mais perto ou mais longe do Sol. Rigorosamente falando, a órbita da Terra em torno do Sol é uma elipse, mas, na prática, essa órbita é quase um círculo. Vê-se, na figura 2.1, que a distância do ponto A ao Sol é maior do que a distância do ponto B ao Sol. O ponto A é chamado de "afélio" (152,2 milhões de quilômetros) e o ponto B, "periélio" (147,7 milhões de quilômetros). Mas a diferença da distância dos pontos A e B, em relação ao Sol é

relativamente pequena se comparada à distância da Terra ao Sol que é, em média, de 149,6 milhões de quilômetros.

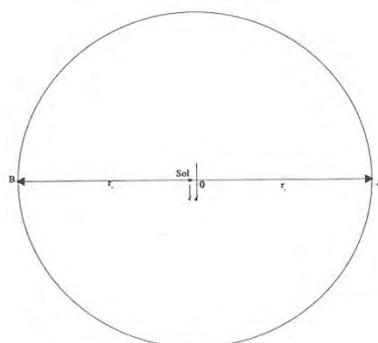


Figura 2.1 Órbita da Terra em torno do Sol

O fato de a Terra passar pelo ponto B, que é só ligeiramente mais próximo do Sol do que o ponto A, não influi apreciavelmente em termos de um aumento significativo de temperatura média de sua superfície. Como a absorção de energia solar é um dos fatores dominantes que determinam a temperatura média da superfície dos planetas, e nos pontos A e B da figura 2.1 a energia absorvida pela Terra é quase a mesma, esta é a razão pela qual não há variação apreciável na temperatura média da superfície do Planeta.

Um estudo de Dias (2007) estima que se a inclinação do eixo imaginário fosse zero, notaríamos entre periélio e afélio uma variação máxima de $5,8^{\circ}\text{C}$ na temperatura média da Terra nesses dois pontos. Entretanto, as diferenças de temperatura que encontramos entre verão e inverno são muito maiores que $5,8^{\circ}\text{C}$. O que nos reforça a tese de que a temperatura de nosso planeta não é resultado exclusivo da proximidade do Sol.

A Terra descreve, em torno do Sol, uma órbita na esfera celeste chamada Eclíptica, que tem, atualmente, um plano inclinado de $23^{\circ} 27'$ em relação ao plano do equador celestial. Esse movimento de translação nesse plano inclinado é que causa as estações. Por isso, devido a essa inclinação, os raios solares incidem mais diretamente em um hemisfério do que em outro, proporcionando, durante uma parte do ano, mais horas com luz e consequente aquecimento.

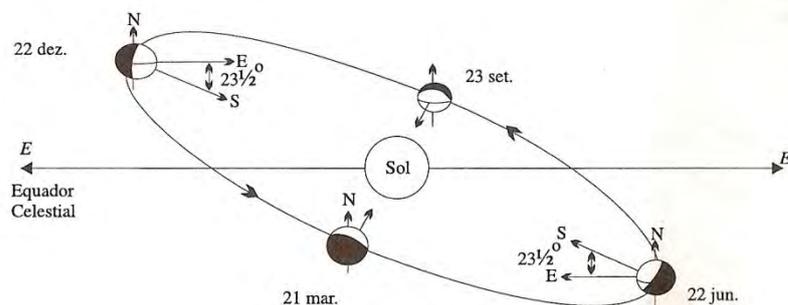


Figura 2.2 As estações do ano são causadas pela inclinação do plano da órbita da Terra em relação ao plano do equador celestial.

Fonte: Abell, 1975

Quando a Terra está acima do plano do equador celestial (22 de dezembro), o Hemisfério Sul está dirigido para o Sol (Verão no Hemisfério Sul/Inverno no Norte). Quando a Terra está abaixo do plano do equador celestial (22 de junho), o Hemisfério Norte está dirigido para o Sol (Verão no Hemisfério Norte/Inverno no Sul). As posições intermediárias

ocorrem em 21 de março (Outono no Hemisfério Sul/Primavera no Norte) e em 23 de setembro (Primavera no Hemisfério Sul/Outono no Norte), quando a Terra passa por pontos em que os dois planos coincidem.

Essas datas tão precisas¹⁷ têm um porquê. Por convenção, os inícios das estações estão associados aos dias de solstícios e de equinócios. O momento de solstício ocorre quando a Terra está na posição de maior inclinação em relação ao equador celestial, ou seja, é quando ocorrem o maior dia do ano (solstício de verão) e a maior noite do ano (solstício de inverno), reveja a figura 2.2. Cabe ressaltar que essas datas são ilustrativas referentes à datas passadas, ou seja, não necessariamente coincidirão no futuro, já que o ano astronômico não tem exatamente 365 dias. Como explicamos, inverno num hemisfério corresponde a verão no outro, o mesmo solstício é chamado de Solstício de Inverno em um hemisfério, enquanto é chamado de Solstício de Verão no outro hemisfério e vice-versa. O momento de um equinócio é aquele em que a Terra passa sobre o equador celeste, o que corresponde ao instante em que os dois hemisférios estão igualmente iluminados, ou seja, é quando o dia tem a mesma duração da noite, 12 horas.

Podemos considerar que o Sol está tão longe da Terra que seus raios chegam aqui praticamente paralelos. Além disso, a absorção de energia solar, que esquentava a superfície terrestre, aumenta à medida que a incidência tende a ser perpendicular à superfície terrestre, ou seja, a absorção máxima ocorre na situação de “sol a pino”.

No verão os raios solares incidem mais verticalmente e por mais tempo sobre uma superfície o que resulta num maior aquecimento desta localidade. Já no inverno acontece a mesma situação para o outro hemisfério, contudo ocorre predominância de falta de insolação, o que leva a um clima mais frio.

A figura 2.3a mostra, com detalhe, o que ocorre na Terra em 22 de junho: o Sol brilha mais diretamente sobre o Hemisfério Norte. Essa situação dura três meses. Observe-se que o Sol está a pino no Trópico de Câncer (Hemisfério Norte). A incidência dos raios solares para uma pessoa no Trópico de Capricórnio é bem mais oblíqua (Hemisfério Sul). Com isso, a absorção de energia solar no Hemisfério Norte é maior do que no Hemisfério Sul. Observe-se, também, que no Círculo Polar Ártico (pólo norte), durante o verão, nesse dia há 24 horas de sol (sol da meia-noite). O dia 22 de junho é o dia mais longo do ano no Hemisfério Norte. Assim, temos verão no Hemisfério Norte e inverno no Hemisfério Sul. (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2004)

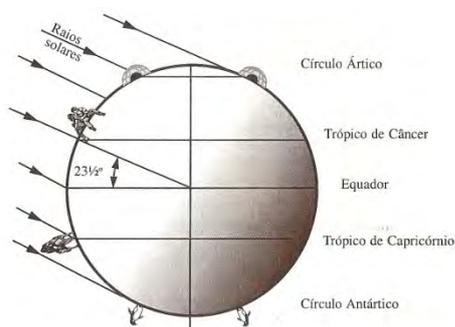


Figura 2.3a Terra em 22 de junho
Fonte: Ostermann, 1992

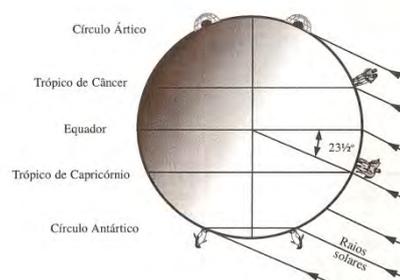


Figura 2.3b Terra em 22 de dezembro

¹⁷ 22 de junho, 22 de dezembro são dias de solstício e 21 de março e 23 de setembro são dias de equinócio. Contudo estas datas podem variar de ano para ano devido as correções como os dias bissextos. Assim, por exemplo, em 2008, o solstício foi 20 de junho, em 2009, foi dia 21 junho, e não 22 de junho. Enquanto o solstício de 2007 foi 22 de dezembro, mas em 2008, 2009, 2010, vai ser no dia 21 de dezembro. Veja tabela no apêndice III.

Essa situação é revertida seis meses mais tarde. Em 22 de dezembro, o Sol brilha mais diretamente sobre o Hemisfério Sul da Terra (figura 2.3b). Essa situação dura também três meses. Observe-se, agora, que o Sol está a pino no Trópico de Capricórnio (Hemisfério Sul). Para uma pessoa no Trópico de Câncer, a incidência dos raios solares é bem mais oblíqua (Hemisfério Norte). Assim, a absorção de energia solar no Hemisfério Sul é maior do que no Hemisfério Norte. Agora, o sol da meia-noite ocorre no pólo sul (Círculo Polar Antártico). O dia mais longo do ano é 22 de dezembro para o Hemisfério Sul. Temos, então, verão no Hemisfério Sul e inverno no Hemisfério Norte.

Para as posições intermediárias da órbita da Terra em torno do Sol, 20 ou 21 de março e 22 ou 23 de setembro, teremos o Sol a pino no Equador (figura 2.4). À medida que nos afastamos do Equador, a incidência dos raios solares é cada vez mais oblíqua. Portanto, quanto mais afastados do Equador, menor é a temperatura na superfície terrestre. (OSTERMANN, 1992)

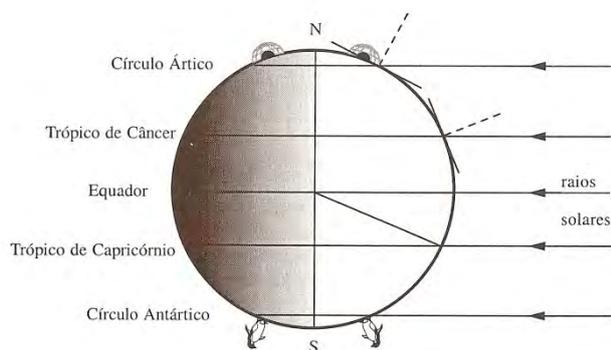


Figura 2.4 A Terra em 21 de março e 22 de setembro
Fonte: Ostermann, 1992

A primavera chega por volta de 21 de março no hemisfério norte e 22 de setembro no hemisfério Sul. Essa periodicidade nas estações é vital para o ecossistema. Flores se desabrocham na primavera, folhas caem no outono, etc. Da mesma forma algumas aves migratórias chegam a certos locais na primavera para se acasalar e porem seus ovos. Um exemplo disso é o caso dos pardais na Holanda que há 25 anos, têm o máximo de chegada em 23 de abril. Os filhotes dos pássaros normalmente eclodem dos ovos quase seis semanas depois, com um máximo de eclosão em 2 de junho, coincidindo exatamente com a estação das lagartas. Entretanto, depois de duas décadas de aquecimento, as aves continuam chegando ao final de abril, mas o auge da estação das lagartas de mariposas ocorre duas semanas antes (veja figura 2.5). Isso deixa as aves sem seu tradicional alimento para dar aos filhotes. Com isso há uma dificuldade que deverá ser adaptada. Infelizmente nem todas as adaptações são possíveis. (GROSSMAN, 2004).

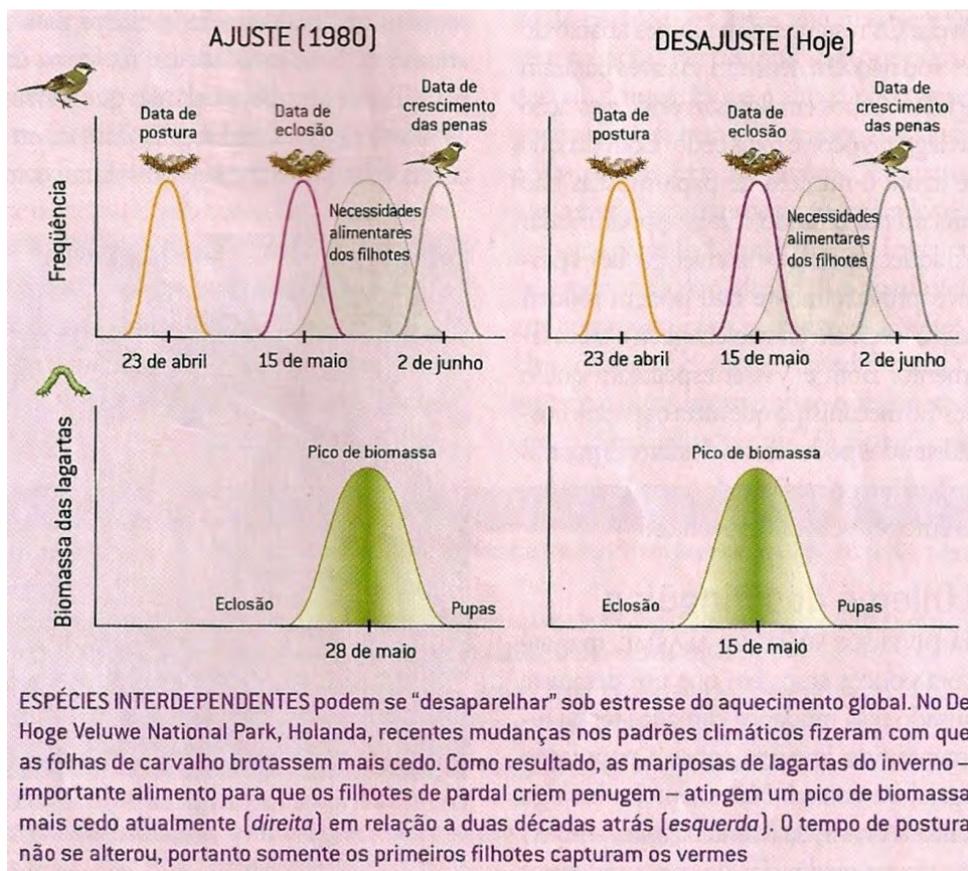


Figura 2.5 Desajuste no período de máxima população de lagartas e eclosão dos ovos dos pássaros.

Fonte: Grossman, 2004.

Tudo bem, agora podemos dizer que entendemos um pouco sobre essas oscilações no clima devido ao ciclo de rotação e o de translação da Terra, ou seja, as estações. Também percebemos que uma pequena alteração nessa periodicidade causa muitos problemas para o ecossistema. Mas você se pergunta: nunca vi uma Era Glacial e apesar de realmente não conhecer nenhum cidadão Maia, não sei como pôde a natureza se revoltar e o clima se esquecer das cotidianas estações do ano e ter sido tão cruel com nossos antepassados?

2.2 O Ciclo de Milankovich

Fomos apresentados às estações do ano. Contudo, diversos estudos como de Hansen (2005) apontam para existência de períodos históricos de grandes alterações no clima como Eras Glaciais.

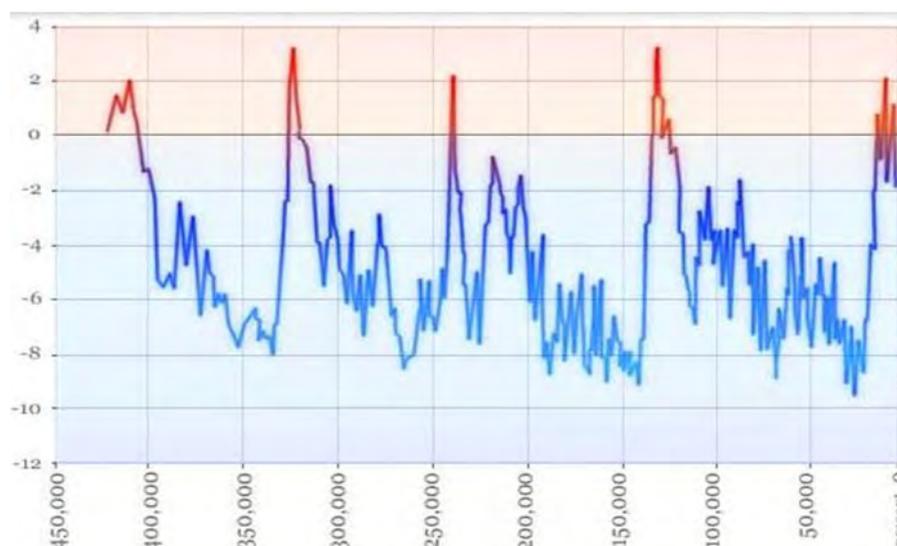


Figura 2.6 Temperatura Global traçada com média em torno de 14°C para um passado de 450.000 anos. Medida a partir do estudo de bolhas de ar aprisionadas nas camadas de gelo da Antártida.

Fonte: Hansen, 2005

Com a necessidade de explicar o porquê desse comportamento do clima, principalmente o enigma que causava as eras do gelo, Milankovich, após ficar retido em Budapeste onde foi permitido trabalhar na biblioteca da Academia Húngara de Ciências devido ao evento das guerras do Balcãs e da Primeira Guerra Mundial, publicou em 1941 seu grande trabalho sobre as Eras do Gelo¹⁸.

Como a quantidade de radiação recebida em uma dada latitude e estação é determinada pelo ângulo de inclinação e pela distância entre a Terra e o Sol, Milankovich calculou que a intensidade dos efeitos da insolação varia com a latitude. Assim ele identificou outros ciclos, além da rotação e translação, que têm uma participação sutil na variação do clima, e quando são combinados, em longo prazo, mostram uma tendência de aquecimento e de resfriamento no planeta. Esses ciclos são: a variação na excentricidade da órbita, a obliquidade da eclíptica e a precessão dos equinócios.

Excentricidade da órbita terrestre:

não bastando a terra descrever uma órbita elíptica em torno do sol, essa elipse varia com um ciclo de 92.000 a 100.000 anos levando o planeta para mais perto e para mais longe do sol, o que significa que a intensidade dos raios solares que chegam a terra variam ao longo do ano.



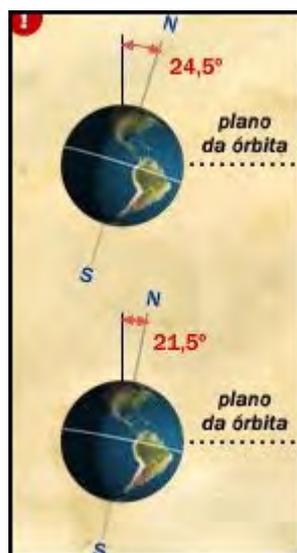
Figura 2.7 Excentricidade da órbita terrestre

Fonte: EAB/INPE

¹⁸ Título em Inglês: *Canon of insolation of the ice-age problem*

Figura 2.8
Obliquidade da eclíptica

Fonte:
EAB/INPE



Obliquidade da eclíptica:

como vimos, o eixo da Terra (ou o plano da eclíptica) está hoje inclinado em relação à esfera celeste em aproximadamente $23,5^\circ$, contudo esse valor oscila entre $21,5^\circ$ e $24,5^\circ$ conforme um ciclo que dura de 40.000 a 41.000 anos. Esse ciclo influencia mais o clima das regiões polares tornando-se mais fraco em direção ao equador, pois determina onde a maior parte da radiação vai cair, ou seja, a diferença entre as estações do ano são mais perceptíveis quanto maior o ângulo.

Precessão dos equinócios:

corresponde à nutação (oscilação do eixo da Terra em torno da posição média de sua órbita, afastando-se ou aproximando-se do plano da eclíptica). Este movimento processa-se com uma periodicidade de 19.000 a 23.000 anos e afeta a intensidade das estações, pois provoca uma leve variação da distância entre a Terra e o Sol. Esse efeito é mais intenso no equador do que nos pólos. Assim, regiões próximas ao equador recebem maior quantidade de insolação implicando variações climáticas relacionadas à intensidade das monções¹⁹ e as razões entre precipitação e evaporação.

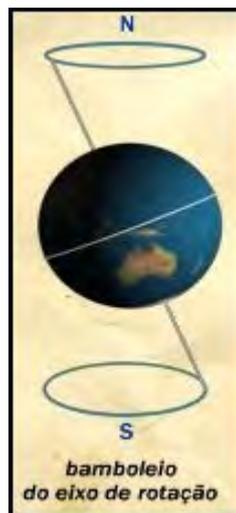


Figura 2.9
Precessão dos equinócios

Fonte:
EAB/INPE

A ação conjunta dos ritmos, ou ciclos, orbitais provoca variações cíclicas na intensidade e distribuição sazonal da radiação solar recebida pela Terra. Veja na figura 2.10 como a insolação varia conforme a soma, ou combinação, dessas oscilações.

¹⁹ Monções são fortes ventos úmidos estacionais que costumam atingir as zonas tropicais e subtropicais do planeta.

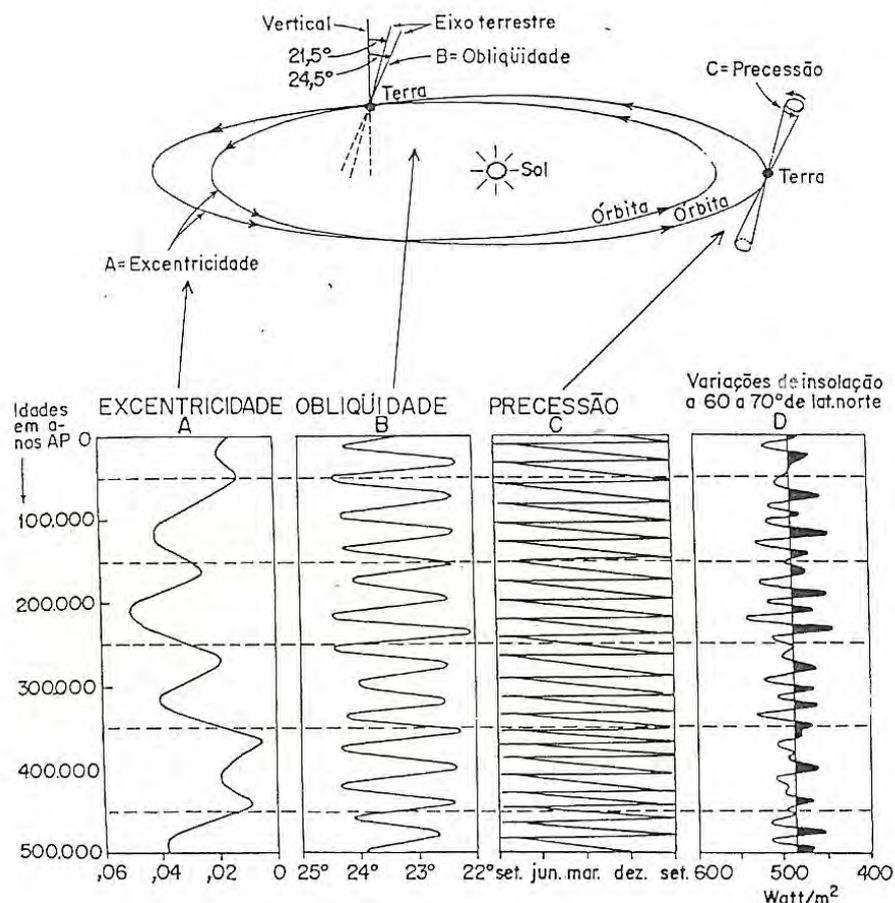


Figura 2.10 Flutuações das variáveis astronômicas calculadas por Milankovich para os últimos 500.000 anos e as oscilações na insolação sobre a Terra em latitude norte 60 a 70°, durante o mês de julho. A = excentricidade da órbita terrestre; B = Obliquidade da eclíptica; C = precessão de equinócios durante o periélio, quando a Terra está mais próxima do Sol. Variações de insolação: branco = períodos quentes; e preto = períodos frios (Modificado de Covey, 1984 por Andersen & Borns Jr., 1994 *apud* SUGUIO, 1999).

Somente uma combinação especial desses ciclos permitiria o acúmulo de grandes massas de gelo. Seria necessário ocorrer um verão ameno, seguido de inverno rigoroso, de modo que a neve depositada no inverno não derretesse completamente levando a um aumento do albedo²⁰ planetário.

Da mesma forma períodos relativamente quentes ocorreram. A esse respeito, um fato intrigante é que deveríamos estar passando por uma era glacial, reveja a figura 2.6, mas estamos prolongando um período interglacial e, ao que tudo indica, as tendências atuais são de que o planeta continuará aquecendo.

Um exemplo dos efeitos dos ciclos orbitais foi uma ligeira mudança na órbita da Terra entre 10.000 e 4.000 a.C. que aumentou entre 7% e 8% a quantidade de luz solar no hemisfério Norte. Isso aumentou a precipitação de chuva na Mesopotâmia de 25% para 30%, alterando de modo marcante a relação entre a chuva e a evaporação, e aumentando em sete vezes a umidade disponível para as plantas. O que outrora fora um deserto, tornou-se uma

²⁰ Albedo é a fração de energia de radiação incidente refletida por um corpo. Por exemplo, a neve reflete mais radiação que a água do mar que é mais escura. Assim, quanto maior a camada superficial de gelo mais favorecido será o resfriamento, pois parte da radiação que seria usada para aquecer a superfície é refletida de volta ao espaço.

planície verdejante que mantinha densas comunidades de fazendeiros. Contudo, depois de 3.800 a.C. a órbita da Terra reverteu ao seu antigo padrão e a chuva diminuiu, forçando muitos fazendeiros a abandonar seus campos e partir em busca de comida. (FLANNERY, 2007)

No entanto, apenas variações astronômicas e orbitais, por si só, são insuficientes para provocar toda a variação climática que nosso planeta já sentiu. Para se ter uma ideia, os ciclos de Milankovich contribuem para uma variação anual de menos de 0,1% na quantidade total de luz solar que chega a Terra. Assim, percebemos que deve existir outros fatores que podem amplificar a variação climática. De fato, efeitos de realimentação positiva, famoso efeito feedback²¹, e mudanças nas concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera se somam à dinâmica orbital e ao complexo sistema climático de nosso Planeta para explicar as antigas e as novas variações no clima.

²¹ Esse Efeito de realimentação que será explicado no tópico 4.1.

3 EQUILÍBRIO ENERGÉTICO E O AQUECIMENTO GLOBAL

O Sol emite a energia necessária para praticamente toda a vida natural e os movimentos atmosféricos de nosso planeta. Essa energia é distribuída por todo o globo conforme citamos no capítulo anterior. Parte dessa energia é refletida de volta para o espaço, parte é espalhada pela atmosfera e outra parte é absorvida pelos continentes, oceanos, nuvens e gases atmosféricos. Para que haja manutenção da temperatura em nosso planeta é necessário que o balanço de energia seja nulo. Ou seja, a entrada de energia seja igual à saída.



Figura 3.1 Fluxo de energia

Fonte: Miller, 2007

Os principais componentes para o balanço de radiação no sistema terrestre são: superfície, atmosfera e nuvens. Os continentes, os oceanos, as nuvens e os gases atmosféricos absorvem radiação proveniente do Sol e, por sua vez, emitem radiação térmica, conforme suas temperaturas e composição física e química. Trocam calor entre si de diversas formas: misturando massas de ar, transportando massas de vapor e calor sensível, evaporando e precipitando água.

3.1 Distribuição da Radiação

Quando a radiação solar atinge a Terra, ela pode ser refletida, espalhada ou absorvida.

ESPALHAMENTO E REFLEXÃO

- 30% da radiação perdem-se por estes processos que constituem o albedo;

ABSORÇÃO ATMOSFÉRICA

- 19% são absorvidas pela atmosfera;

ABSORÇÃO DA SUPERFÍCIE

- 51% da radiação solar restante são absorvidas pela superfície do globo.

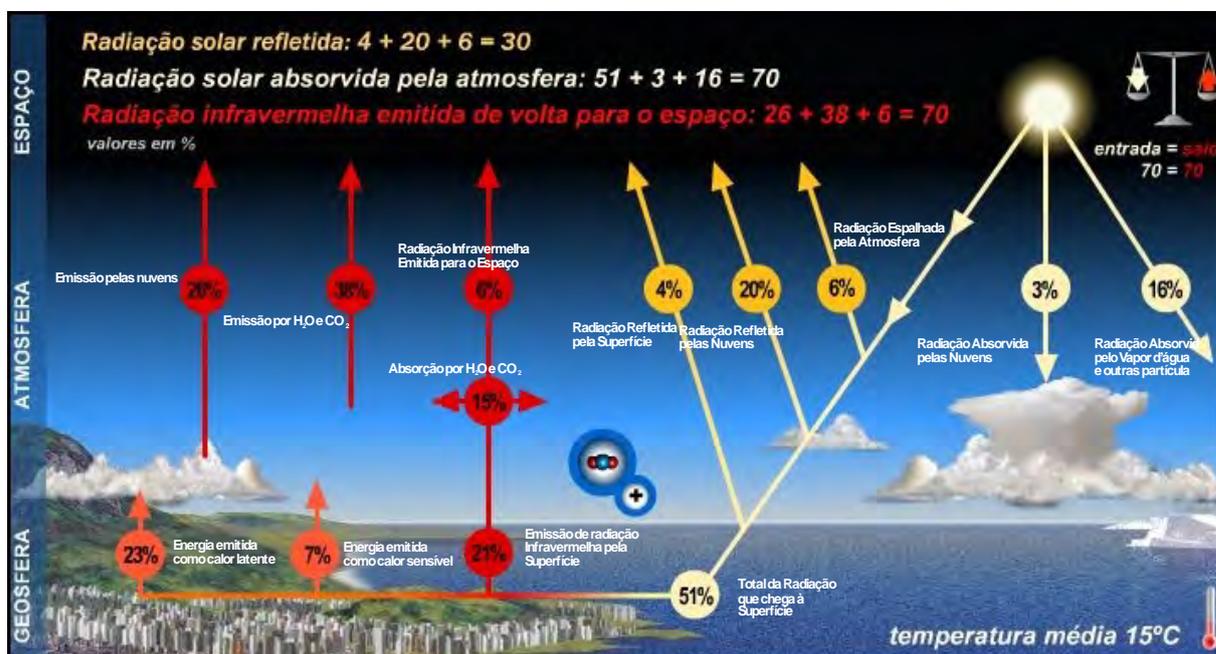


Figura 3.2 Balanço de Radiação

Fonte: EAB/INPE

Espalhamento

- 6% da radiação são espalhadas para o espaço pela própria atmosfera;

Embora a radiação solar incida em linha reta, os gases e aerossóis podem causar o seu espalhamento ou dispersão. Esta insolação difusa é constituída de radiação solar que é espalhada ou refletida de volta para a Terra causando claridade do céu durante o dia e a iluminação de áreas que não recebem iluminação direta do Sol.

As características do espalhamento dependem, em grande parte, do tamanho das moléculas de gás ou aerossóis. O espalhamento por partículas cujo raio é menor que o comprimento de onda da radiação espalhada é dependente do comprimento de onda. No caso da radiação que chega a Terra, o espalhamento proporcionado pela atmosfera terrestre é tanto maior quanto menor o comprimento de onda da radiação. No caso do espectro visível a radiação Violeta é a que sofre maior espalhamento, seguido pelo Azul. Entretanto, o céu é azul, e não violeta, por causa de outra propriedade física da radiação, a transmissividade. Que é a quantidade de radiação que o meio, no caso os gases da atmosfera, permite passar. E, como a transmissividade do azul é maior, nosso querido céu não é violeta. Além disso, o olho humano é mais sensível ao azul.

Quando a radiação é espalhada por partículas cujos raios se aproximam, ou excedem, em até 8 vezes o comprimento de onda da radiação, o espalhamento não depende do comprimento de onda. Neste caso, toda radiação é espalhada igualmente em todos os comprimentos de onda, tornando o céu menos azul e, eventualmente, tornando-se branco quando um número significativo de partículas desse tamanho está presente, como no caso de uma nuvem constituída de gotículas d'água ou partículas de gelo.

Quando o raio das partículas é maior que 8 vezes o comprimento de onda da radiação, a distribuição angular da radiação espalhada pode ser descrita pelos princípios da ótica

geométrica. O espalhamento de luz visível por gotas de chuva ou partículas de gelo produzem uma variedade de fenômenos óticos como os arco-íris.

À medida que vamos subindo na atmosfera vão diminuindo os agentes causadores do espalhamento. Nestes casos, o céu longe do disco solar vai gradualmente escurecendo até tornar-se totalmente escuro. Por sua vez, o Sol aparece cada vez mais branco e brilhante.

Quando o Sol nasce ou se põe, a radiação solar percorre um caminho mais longo através das moléculas de ar, portanto mais luz azul é espalhada. Quando chega ao observador, resta apenas a radiação do extremo vermelho do espectro visível. Este fenômeno se acentua em dias nos quais pequenas partículas de poeira ou fumaça estão presentes.

Reflexão (24%)

- 20% são refletidas pelas nuvens;
- 4% são refletidas pela superfície da Terra;

A reflexão ocorre no limite entre dois meios diferentes, quando parte da radiação que atinge este limite é enviada de volta. A porção da radiação que é refletida por uma superfície é chamada de **albedo**. As superfícies minerais têm refletância alta, aquelas cobertas por neve refletem a maior parte da radiação solar que chega até elas. Já a água, no estado líquido, tem uma refletância pequena. Isso implica diretamente no balanço de radiação, pois no caso de nossas calotas de gelo derreterem, mais radiação será absorvida causando maior aquecimento.

Dentro da atmosfera, os topos das nuvens são os mais importantes refletores. O albedo dos topos de nuvens depende de sua espessura, variando de menos de 40% para nuvens finas, a 80% para nuvens espessas. Considerando a sua distribuição sobre o globo terrestre, elas provocam reflexão de 25-30% (em média) da radiação solar que chega ao planeta. As nuvens podem ser definidas como suspensões de gotículas ou de cristais de gelo. Como tal, podem ser consideradas como um aerossol concentrado no espaço. Suas partículas têm um alto poder refletor, e no infravermelho próximo são bons absorventes de radiação solar. A sua variedade estende-se desde nuvens planas, com pouca espessura e grande extensão horizontal, semitransparentes e situadas em altitudes elevadas (cirrus), até nuvens com grande desenvolvimento vertical e ocupando áreas relativamente restritas, com grande poder refletivo no seu topo e lateralmente (cumulonimbus).

Os Aerossóis

Os aerossóis são partículas em suspensão na atmosfera, tais como poeira ou pólen. A maior parte dos aerossóis tem origem natural, produzidos principalmente pela ação do vento sobre a superfície do mar e de áreas de solo descoberto, por vulcões, e pela queima natural da vegetação. Assim, como os gases de efeito estufa, os aerossóis têm um papel muito importante no balanço de energia do sistema atmosférico de nosso planeta, pois podem absorver, refletir e espalhar radiação influenciando esse balanço.

Por terem uma alta importância na formação de nuvens, os aerossóis também influenciam indiretamente o balanço de energia na atmosfera, isto porque as nuvens são muito eficientes como corpos que refletem a radiação solar. Nuvens formadas em altas concentrações de aerossóis tendem a apresentar gotas menores e mais numerosas e refletem mais radiação solar do que nuvens formadas por gotas maiores e menos numerosas formadas em regiões com concentrações de aerossóis relativamente mais baixas.

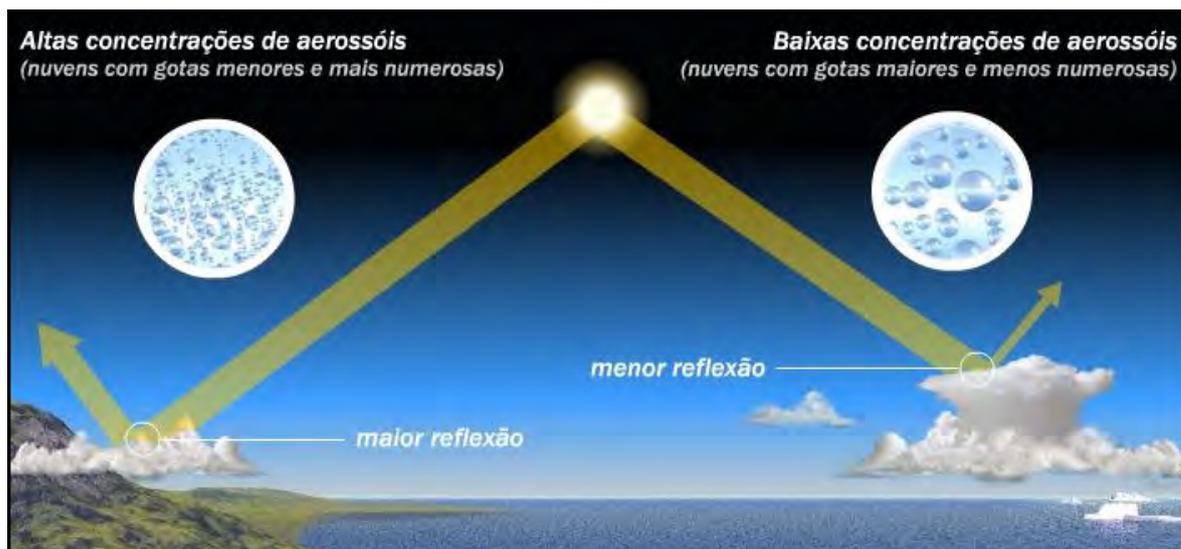


Figura 3.3 Os Aerossóis

Fonte: EAB/INPE

As erupções vulcânicas produzem os maiores impactos relacionados aos aerossóis na atmosfera emitindo globalmente bilhões de toneladas de aerossóis por ano. Em certos casos, estes aerossóis atingem camadas muito altas onde podem sofrer reações formando outros aerossóis, como o ácido sulfúrico (H_2SO_4) que é um dos responsáveis pela reflexão de radiação solar e também causador de chuva ácida. Devido à remoção reduzida em altos níveis da atmosfera, os efeitos dos aerossóis podem persistir por longos períodos. Em 1991, o vulcão Pinatubo nas Filipinas lançou na atmosfera cerca de 20 megatoneladas de ácido sulfúrico, aumentando a dispersão e reflexão da luz na atmosfera. Consequentemente houve, por um período aproximado de 2 anos, uma diminuição de cerca de $0,6^\circ\text{C}$ da temperatura média global.

Absorção na atmosfera (19%)

- 3% da radiação solar restante são absorvidas pelas nuvens;
- 16% são absorvidos pelo vapor de água e outros componentes.

Quando uma molécula absorve energia na forma de radiação, esta energia é transformada em movimento molecular interno causando o aumento da sua temperatura. Por isso, os gases que absorvem melhor a radiação têm papel importante no aquecimento da atmosfera.

O vapor d'água tem um alto índice de absorção da radiação solar. O oxigênio, o ozônio e o vapor d'água representam, em conjunto, a maior parte dos 19% de radiação solar que são absorvidos na atmosfera. O vapor d'água é responsável pela maior parte da absorção da radiação na faixa do infravermelho, isto ocorre na troposfera, pois é onde está praticamente toda concentração do vapor d'água da atmosfera.

Absorção na superfície (51%)

- 25% da radiação penetram diretamente na superfície da Terra sem nenhuma interferência da atmosfera;
- 26% da radiação é difundida através da atmosfera para a superfície.

Aproximadamente 51% da energia solar que chega ao topo da atmosfera atingem a superfície da Terra. Depois, a maior parte desta energia é irradiada de volta para a atmosfera no intervalo de radiação infravermelha.

Neste intervalo, o vapor d'água e o dióxido de carbono são os principais gases absorvedores. O vapor d'água absorve aproximadamente 5 vezes mais radiação terrestre que todos os outros gases combinados.

Em um solo coberto de vegetação as folhas absorvem uma grande quantidade de radiação, impedindo a incidência direta na superfície. Entre a vegetação parte da energia é consumida na evaporação o que afeta significativamente o balanço de energia.

Como a atmosfera é bastante transparente para a radiação solar (ondas curtas) e mais absorvente para radiação terrestre (ondas longas, infravermelho principalmente), a atmosfera é aquecida a partir da radiação emitida pela superfície da própria Terra.

A importância do vapor d'água e dióxido de carbono em manter a atmosfera aquecida é bem conhecida em regiões montanhosas. Topos de montanhas recebem mais radiação que os vales durante o dia, porque há menos atmosfera a atravessar. À noite, porém, a atmosfera menos densa também permite maior perda de calor. Por isso, os vales permanecem mais quentes que as montanhas, mesmo recebendo menos radiação.

As nuvens também são bons absorvedores de radiação infravermelha e tem papel importante em manter a superfície da Terra aquecida, especialmente à noite. Uma grossa camada de nuvens pode absorver a maior parte da radiação terrestre e reirradiá-la de volta. Isto explica porque em noites secas e claras a superfície se resfria bem mais que em noites úmidas ou com nuvens. Mesmo uma cobertura fina, através da qual a Lua é visível, pode-se elevar a temperatura noturna em torno de 5°C.

3.2 Espectro de Radiação do Sol e da Terra

Muitos pensam que a luz do dia é a única energia que recebemos do Sol, mas a luz do Sol, faixa visível, é apenas uma pequena faixa em um vasto espectro de comprimentos de onda que o Sol lança sobre nós. Em cada faixa de frequência identificamos uma cor. A luz branca é composta por várias cores, tanto que quando ela é espalhada, seja por um prisma ou pelas gotículas de água no céu (arco-íris), elas aparecem separadas. Veja a figura 3.4.

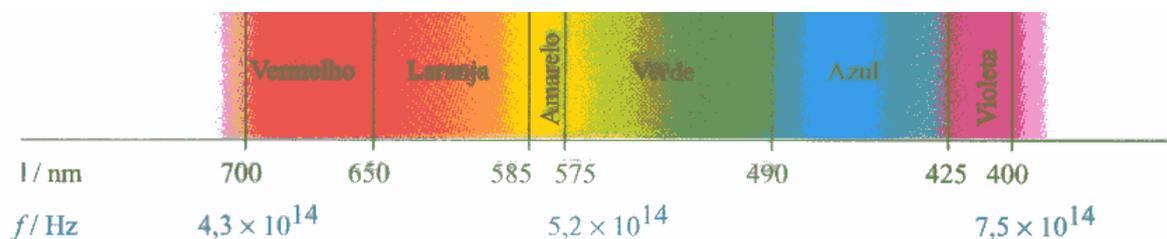


Figura 3.4 Espectro luz visível

A luz é uma onda eletromagnética (a figura 3.5 representa uma parte do espectro eletromagnético), por isso apresenta algumas peculiaridades como velocidade de 3×10^8 m/s no vácuo, transporte de energia associada à sua frequência e, em especial nesse estudo, interação com a matéria.

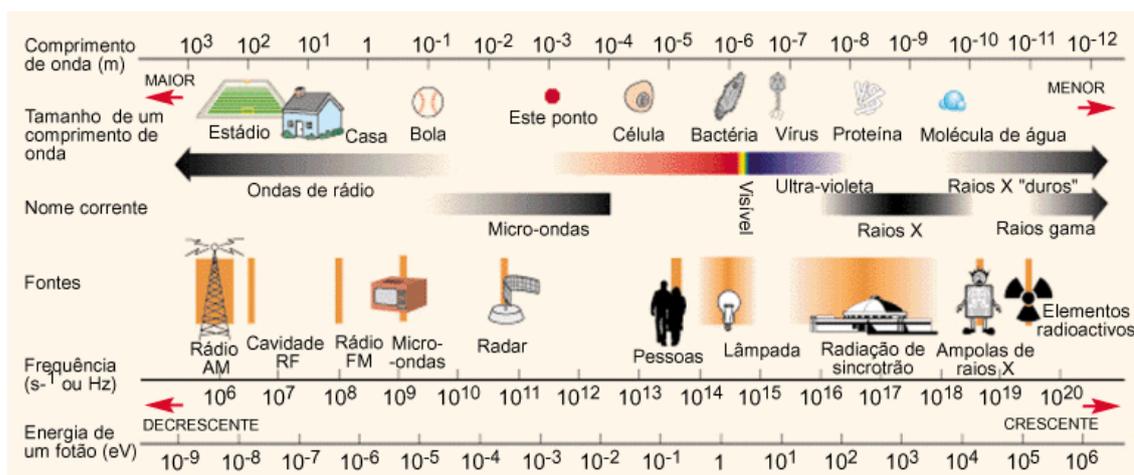


Figura 3.5 Espectro eletromagnético - Faixas de frequência que classificam os diversos tipos de radiações.

Segundo o modelo atual da Física Quântica, ao interagir com a matéria (moléculas em seus diferentes estados físicos: sólido, líquido e gasoso), a luz pode se comportar como uma onda ou como uma partícula. A energia transportada pela onda eletromagnética é dita quantizada, ou seja, ela só pode assumir determinados valores múltiplos inteiros de uma quantidade chamada *quantum de energia*, ou simplesmente *fóton*. Quanto maior for a frequência associada a uma radiação, maior é a energia que ela transporta.

$$E = hv,$$

Onde h é a constante de Planck de valor $6,63 \times 10^{-34}$ J.s e v é a frequência da onda eletromagnética ou radiação. Quando uma onda eletromagnética viaja, dizemos que ela transporta pacotes de energia (fótons) que são múltiplos inteiros de sua frequência de oscilação.

Dependendo do material de que o corpo é feito, da sua espessura, textura da superfície, e da sua opacidade, o corpo pode ser ou não refletor de radiação, ou transmissor da mesma.

Um corpo pode absorver grande quantidade de radiação de uma certa frequência e absorver muito pouco de outras. Por exemplo, o vidro normal é transparente à radiação visível, praticamente não a absorve, mas reflete muito bem a radiação IV (Infravermelha). O ar, como vimos, tem muitos componentes e não estão lá à toa. Por exemplo, o ozônio absorve radiação UV, o CO_2 e a água absorvem radiação IV, enfim, toda atmosfera funciona como um grande filtro que seleciona algumas faixas nocivas do espectro e permite passar outras radiações essenciais à vida na Terra.

Todos os corpos (nuvens, pessoas, objetos, planetas, fornos, estrelas, etc.) emitem, absorvem e/ou refletem energia radiante. Esse tipo de radiação que é emitida por um corpo devido à sua temperatura é chamada radiação térmica²². Quanto mais elevada for a temperatura do corpo, mais o espectro da radiação por ele emitida é rico em radiação de frequências mais elevadas. O corpo humano, cuja temperatura média é de 36°C , tem um espectro de radiação emitida na zona dos IV. Lembre-se dos óculos de visão noturna, eles reconhecem radiação IV e apresenta-nos com uma cor que podemos enxergar.

Se nosso planeta estivesse isolado no espaço, iria emitir radiação, perder energia térmica e arrefecer. Como estamos perto do Sol, o que a Terra perde para o espaço é compensado pela radiação solar que é absorvida da nossa estrela. Se um corpo está inicialmente mais quente do que o meio, ele irá se esfriar, porque a sua taxa de emissão

²² Veja no Apêndice I o cálculo que relaciona a temperatura e a radiação de um corpo

de energia excede à taxa de absorção. Quando o equilíbrio térmico é atingido, as taxas de emissão e absorção são iguais. A quantidade de energia emitida por unidade de tempo (potência emitida) de um corpo depende da temperatura do corpo e da sua superfície.

O Sol é uma esfera de gases incandescentes, composta principalmente por átomos de hidrogênio que se fundem em seu núcleo resultando átomos de hélio e muita energia. Devido a energia cinética desses átomos, o centro da estrela corresponde a milhões de graus e vai diminuindo até uma superfície definida como fotosfera, onde a energia dos átomos equivale, em média, a 5770 graus Kelvin²³. Mas isso é bastante quente! Por que não morremos tostados?

Nossa estrela, o sol, fica a aproximadamente 150 milhões de quilômetros de distância da Terra, a fotosfera emite uma enorme quantidade de radiação: em torno de 63 milhões de watts por metro quadrado, numa esfera com 690.000 km de raio. Essa energia ao deslocar-se no espaço, com a velocidade da luz²⁴, deve repartir-se em esferas concêntricas de raio cada vez maior. Ao chegar à órbita terrestre, ela cai para 1367 w/m² (potência por unidade de área²⁵). Se estivéssemos junto dele, certamente seríamos incinerados!²⁶ O planeta Mercúrio, que se encontra 3 vezes mais perto do Sol do que a Terra, tem temperatura durante o dia de até 427°C. Como sabemos, a temperatura média de nosso planeta é de cerca de 14°C.

Essa radiação eletromagnética chega a Terra em um vasto espectro de comprimentos de onda, quase totalmente entre 200 e 3000 nanômetros²⁷ (ou 0,2-3 microns²⁸), mas a maior concentração desses raios são na região da luz visível 400 a 780 nm. O máximo de emissão verifica-se no comprimento de onda de 0,48 microns.

Com base em um modelo teórico, os físicos chamam de corpo negro um emissor perfeito. Emitindo a qualquer temperatura, a quantidade máxima possível de radiação, em todos os comprimentos de onda e absorvendo toda a radiação que nele incide, não a refletindo, nem transmitindo. Enfim, possui um fator de emissão ou emissividade máximo ($e = 1$). A distribuição a seguir corresponde, aproximadamente, àquela de um corpo negro a 5900K, ou seja, a emissão teórica de radiação do Sol.

²³ $T(K) = T(^{\circ}C) + 273$

²⁴ A radiação é uma onda eletromagnética por isso apresenta propriedades inerentes como velocidade no vácuo de 3×10^8 m/s, transporte de energia, comportamento ondulatório e corpuscular.

²⁵ É a chamada irradiância que os climatologistas definem como forçante. Veja mais detalhes no Apêndice II.

²⁶ Veja o cálculo da radiação que chega até nós no Apêndice I

²⁷ nm = nanômetros = 10^{-9} m

²⁸ μm = microns = 10^{-6} m

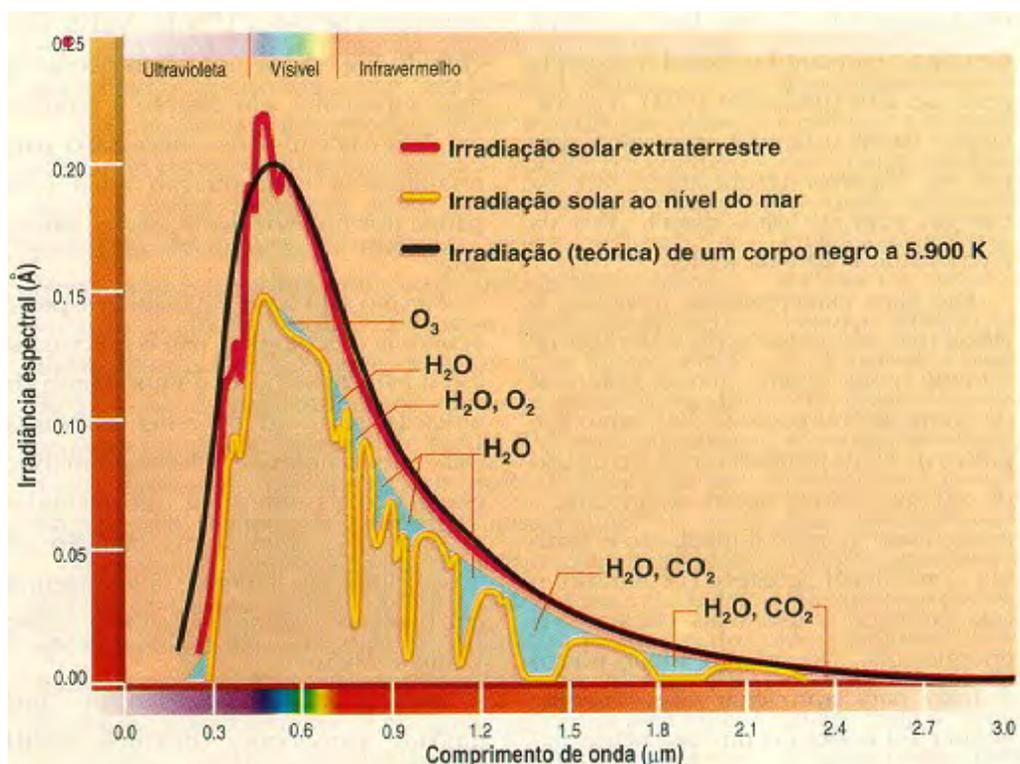


Figura 3.6 Espectro solar - O espectro representa uma irradiância espectral. A curva acima é uma densidade espectral (irradiância por unidade de comprimento de onda: $\text{w/m}^2 \cdot \text{mícron}$).
Fonte: Ciência Hoje.

Contudo, se compararmos a irradiação teórica de um corpo negro à temperatura de 5900K com as medidas de radiação solar acima da atmosfera e a radiação ao nível do mar, notaremos certa divergência em alguns pontos. Ou seja, ao nível do mar alguns comprimentos de onda chegam com menor intensidade e outros quase nem chegam. Por que isso ocorre?

Como já dissemos, isso ocorre devido às interações entre os constituintes da atmosfera e a radiação solar incidente. Essa radiação, como onda eletromagnética, pode sofrer fenômenos físicos como absorção, reflexão ou espalhamento. Estes são os responsáveis pela diferença no fluxo de energia radiante que chega até nós.

Como outro corpo quente qualquer, a Terra também emite energia radiante. Como sua temperatura média é, aproximadamente, 14°C , a energia emitida não é visível nem luz ultravioleta, mas sim infravermelha com comprimento de onda (λ) da ordem de $4 \mu\text{m}$ a $50 \mu\text{m}$, tendo um λ máximo²⁹ em torno de $10 \mu\text{m}$ (10.000 nm). Essa faixa se encontra na região do infravermelho térmico, como a que é emitida por um ferro de passar roupa. Assim, podemos dizer que a Terra recebe radiação do sol em uma faixa do espectro solar de $0,2\text{-}3$ microns e emite radiação de 4 a 50 microns. Veja a figura 3.7.

²⁹ Veja o cálculo para a radiação da Terra no Apêndice I

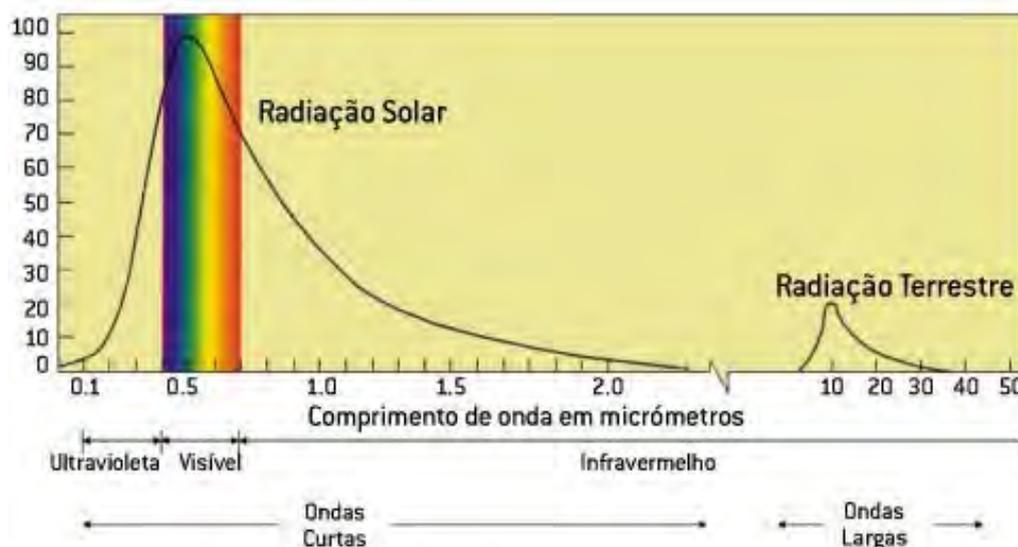


Figura 3.7 Comparação entre as intensidades dos espectros da radiação solar e terrestre. Fonte: Tolentino, 1998.

Pudemos notar que a Terra recebe, principalmente, radiação visível e emite radiação infravermelha. Isso se deve, como dissemos, à propriedade de que todo corpo emite radiação conforme sua temperatura e o comprimento de onda associado é tanto menor quanto maior a temperatura.

Entretanto, olhando somente para o balanço de energia Terra, ou seja, da radiação que recebe e emite, nosso planeta deveria ter uma temperatura de 19°C abaixo de zero!³⁰ Mas felizmente o que ocorre é que parte da radiação infravermelha que a Terra reemite para o espaço é absorvida por alguns gases que compõem nossa atmosfera como o vapor d'água, o ozônio, o gás carbônico, o metano, óxido nítrico, entre outros. Isso mantém parte da radiação “presa” em nossa atmosfera aquecendo nosso planeta para a média de 14°C e é o que chamamos efeito estufa.

Efeito estufa

Os gases-estufa possuem uma estrutura molecular que permite absorver significativamente na faixa do infravermelho (entre $4\ \mu\text{m}$ e $50\ \mu\text{m}$), ou seja, possuem movimentos de vibração na mesma faixa de energia da radiação infravermelha (IV). Essa absorção implica um aumento nos movimentos vibracionais e rotacionais das moléculas (veja tópico 3.3). Esses gases, por sua vez, também passam a irradiar no infravermelho. Essa radiação se espalha em várias direções, inclusive retornando à superfície, que se mantém mais quente do que seria na ausência da atmosfera.

A retenção de energia IV pelos gases-estufa decorre de um mecanismo, físico-químico, bem diferente daquele que ocorre nas estufas agrícolas. A figura 3.8 mostra na linha pontilhada a radiação emitida pela Terra e como os gases estufa absorvem radiação em regiões específicas. Por isso, um aumento na concentração desses gases ocasiona uma maior retenção de radiação, pois eles absorvem a radiação que a Terra emite não permitindo que ela escape para o espaço. Alguns são mais eficientes absorvendo em várias faixas do infravermelho como o vapor d'água, enquanto que outros como o dióxido de carbono e ozônio absorvem radiação exatamente na faixa em que a Terra mais emite (em torno de 9 a 18

³⁰ Veja também esse cálculo no Apêndice I

μm). Contudo, a maior concentração de ozônio (10 ppm) está a 30 km de altitude, na estratosfera, onde reagem com os raios ultravioletas (UV). E a concentração de ozônio na troposfera, onde acontece o efeito estufa, é mais de 10.000 vezes menor que a concentração de dióxido de carbono, por isso, o CO_2 é considerado o maior vilão antropogênico do aquecimento global. Ou seja, apesar de o O_3 também absorver radiação infravermelha, seu efeito estufa é pequeno em comparação ao CO_2 , graças a sua baixa concentração na troposfera. Por isso é importante não confundirmos efeito estufa com o buraco na camada de ozônio.

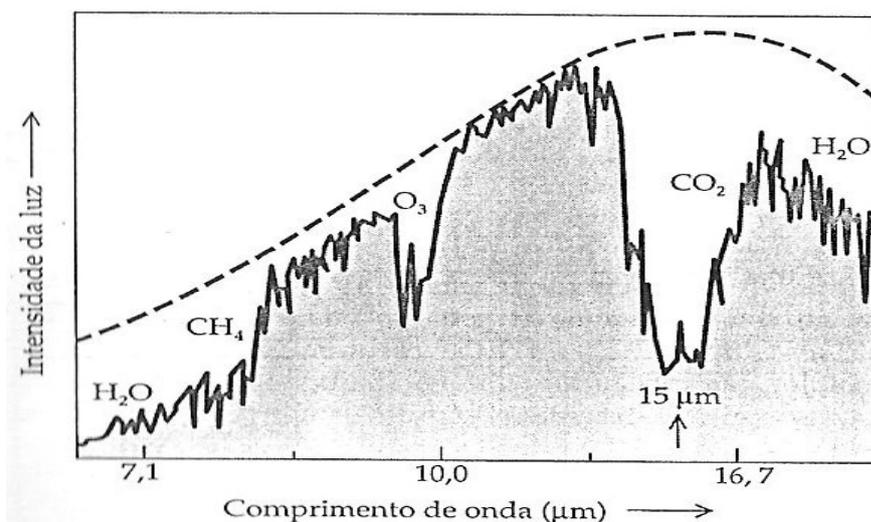


Figura 3.8
Absorção de radiação por algumas moléculas.

Fonte: Baird, 2002

Os principais constituintes da atmosfera, N_2 , O_2 , Ar, são incapazes de absorver radiação infravermelha. Os gases atmosféricos que tem produzido a maior parte do aquecimento são o vapor d'água (responsável por 2/3) e o dióxido de carbono (responsável por 1/4). Isso pode ser notado nas áreas desertas, onde a falta de umidade ocasiona baixas temperaturas noturnas embora, durante o dia, sofrerem elevadas temperaturas devido à absorção direta da energia solar.

O vapor d'água (H_2O), absorve radiação a $6,3\mu\text{m}$ e a $18\mu\text{m}$, o dióxido de carbono (CO_2), a $4,3\mu\text{m}$ e a $15\mu\text{m}$, o metano (CH_4), a $7,7\mu\text{m}$, o ozônio (O_3), entre 9 e $10\mu\text{m}$, o óxido nítrico (N_2O), a $8,6\mu\text{m}$.

O aumento no teor desses gases na atmosfera em decorrência de atividades humanas pode causar uma intensificação do efeito estufa natural e, conseqüentemente, um aquecimento global no planeta.

Camada de Ozônio

O ozônio (O_3) é uma molécula que existe em toda a atmosfera, com maior concentração, em torno de 10 ppm, entre 25 e 30 km de altura na a região da baixa estratosfera por isso chamamos "camada de ozônio".



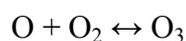
Figura 3.9 A Camada de Ozônio

Fonte: EAB/INPE

O ozônio é formado através de uma reação fotoquímica, onde raios solares ultravioleta são absorvidos por moléculas de oxigênio (O_2), que são dissociadas em átomos de oxigênio conforme a reação:



Como o átomo de oxigênio livre (O) é muito ativo quimicamente, ele termina combinando-se com uma molécula de O_2 para formar mais uma de ozônio:



Apesar de o ozônio ser eficiente em absorver radiação na faixa do ultravioleta, isso ocorre na estratosfera aquecendo-a. Assim, ele não tem grande responsabilidade na questão do aquecimento global, que se deve principalmente ao aumento na concentração dos gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , etc.) que absorvem radiação infravermelha na faixa de reemissão da Terra como visto na Figura 3.8.

Devido a esse mecanismo fotoquímico, cerca de 95% da radiação ultravioleta³¹ nociva (UV-B e UV-C), na faixa de 0,24 a 0,32 μm é impedida de atingir a superfície da Terra. O que provocaria a morte de organismos unicelulares (algas, bactérias, protozoários) e de células superficiais de plantas e animais. Esta radiação pode, também, danificar o material genético (DNA) das células, provocando câncer. Por outro lado, nem todas as reações químicas provocadas pela luz ultravioleta-visível são danosas. Um efeito positivo da luz ultravioleta é a indução da produção de vitamina D na pele. Uma molécula precursora presente na pele é transformada pela luz em vitamina D3 que é posteriormente metabolizada pelo organismo até se transformar em vitamina D.

³¹ Radiação Ultravioleta se classifica em: UV-A (320 a 400 nm) penetra facilmente a camada de ozônio e causa rugas e envelhecimento cutâneo; os raios UV-B (280 a 320 nm) são quase totalmente absorvidos pela camada de ozônio e provocam diferentes tipos de câncer de pele, catarata e queimaduras de pele; os UV-C (200 a 280 nm) são os mais danosos, porém são completamente filtrados pela camada de ozônio. O restante dos raios com comprimento de onda menores que 200 nm são absorvidos pelo O_2 e outros constituintes da atmosfera como o N_2 . Em uma faixa entre o UV-A e UV-B estão os raios que produzem o bronzeamento da pele e contribui para formação da vitamina D em nosso corpo. Além disso, há efeitos bactericidas nessa radiação que com uma exposição controlada, como de 09:00h às 10:00h dia sim dia não, contribuem inclusive para redução de acne.

Também é possível formar ozônio perto da superfície a partir de incêndios de florestas e dos gases dos escapes de automóveis. Esse é o chamado ozônio troposférico, que é formado a partir de reações de poluentes como o NO_x (Óxidos de Nitrogênio NO e NO_2) e compostos orgânicos voláteis que reagem sob influência de radiação UV e calor. Perto da superfície, a concentração é da ordem de 30-50 ppb (*partes por bilhão*). Esses poluentes formam o Smog fotoquímico, que são aquelas neblinas marrons de poluição que pairam sobre as cidades. O ozônio na baixa atmosfera é considerado um poluente e, devido a sua alta reatividade, causa danos a plantas, borracha, tecidos, além de ser responsável por problemas respiratórios, irritação nos olhos e mucosas.

A atividade industrial produz alguns gases como os clorofluorcarbonos (CFCs) que são muito úteis comercialmente pois são inodoros, atóxicos, não reativos, não inflamáveis e não corrosivos. Parecem compostos químicos perfeitos! Os CFCs eram utilizados em larga escala em ar condicionados, refrigeradores, sprays, etc. Mas uma pesquisa conduzida em 1974 por Rowland e Molina demonstrou que os CFCs permanecem muito tempo no ar, pois são insolúveis em água e quimicamente não reativos. Contudo, ao atingirem a estratosfera, as moléculas de CFC rompem-se sob influência da radiação UV de alta energia. O que libera átomos altamente reativos como o cloro (Cl) e flúor (F) que aceleram a quebra do ozônio (O_3) em O_2 e O. Como consequência, o ozônio é destruído mais rapidamente do que se forma, criando assim a redução, ou buracos, na camada de ozônio. O que, inevitavelmente, nos expõe à radiação ultravioleta causadora de câncer de pele.

A região mais afetada pela destruição da camada de ozônio é a Antártica. Nessa região, principalmente no mês de setembro, quase a metade da concentração de ozônio desaparece. Esse fenômeno ocorre como resultado de uma combinação complexa de eventos meteorológicos e uma maior concentração de compostos altamente reativos como o cloro (Cl), deixando à mercê dos raios ultravioletas uma área de 31 milhões de quilômetros quadrados, maior que toda a América do Sul, ou 15% da superfície do planeta.

3.3 Absorção de Radiação pelas Moléculas

Quando átomos ou moléculas absorvem radiação, sua energia total aumenta, o que pode provocar a quebra de ligações químicas, reações de dissociação, passagem dos elétrons para níveis, ou camadas, mais energéticas, aumento de seu movimento vibracional, rotacional ou translacional. Os gases absorvem tanto a radiação solar incidente quanto a radiação emitida pela Terra, desde que haja coincidência entre o comprimento de onda da radiação e o comprimento de onda em que tais moléculas absorvem.

Para entendermos a absorção de radiação pelas moléculas, precisamos entender como ocorre essa absorção no caso de átomos. Para o caso do átomo mais simples, o Hidrogênio, que tem um próton e um elétron, Niels Bohr em 1913 propôs um modelo que explicava o espectro de absorção e emissão deste elemento. Ele postulou a quantização de órbitas circulares para o elétron em torno do núcleo e a quantização dos estados de energia do átomo. Ou seja, o elétron de um átomo de hidrogênio poderia circular em tais órbitas que eram caracterizadas por níveis de energias determinados e quantizados, sem produzir radiação. Esta somente apareceria pela transição de um estado para outro, quando o elétron saltasse de uma órbita para outra de nível de energia mais baixo. Ou inversamente, haveria uma absorção de uma radiação, quando o elétron saltasse de uma órbita correspondente a um estado de energia mais baixo para outro de energia mais alto. Em qualquer das duas situações, o fóton da radiação emitida ou absorvida carregaria uma energia dada pela diferença entre as energias correspondentes aos estados de transição, medida em números inteiros da quantidade $h\nu$.

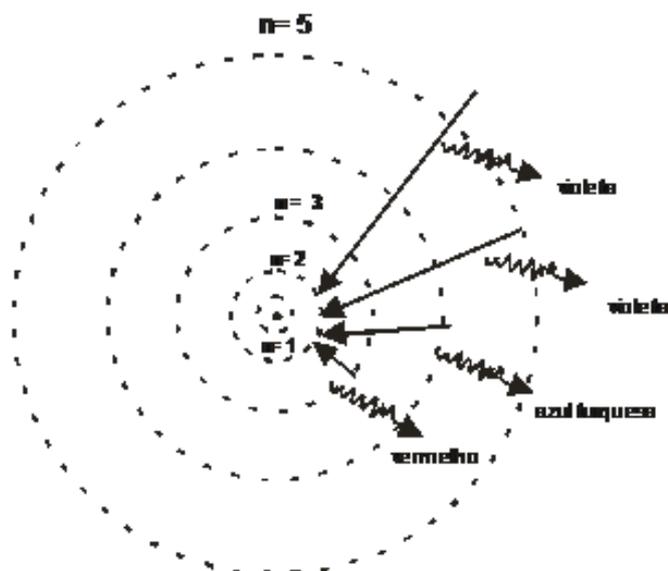


Figura 3.10 O espectro do H, com as emissões que dão origem as suas linhas espectrais na região do visível.

Para cada comprimento de onda de radiação só pode existir um único valor do quantum de energia para os fótons desta radiação. Por outro lado, os estados de energia de átomos e moléculas só podem ter valores quantizados e a transição entre estes estados só pode ocorrer por processos de absorção ou emissão de fótons cujos *quanta* de energia coincidam exatamente com a diferença de energias que separam tais estados³², como ilustrado a seguir:

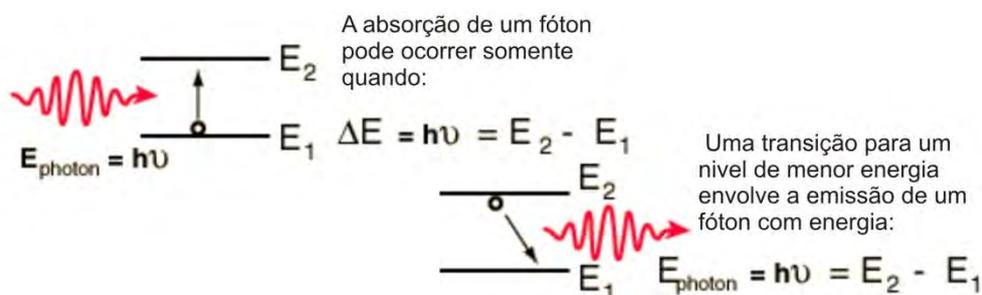


Figura 3.11 Os processos quânticos de emissão e absorção

Um material cujos átomos ou moléculas não apresentam estados com níveis de energia coincidentes com a energia do fóton de uma dada radiação incidente é dito transparente a tal radiação. O ar e o vidro, por exemplo, são transparentes às radiações na faixa de frequências da luz visível. Mas o ar não o é para as radiações ultravioleta, nem o vidro é transparente para as radiações infravermelhas. Na próxima figura (3.12), podemos ver um esquema ilustrando os estados de energia para os átomos de um material, comparativamente ao nível de energia da radiação à qual ele é transparente.

³² Veja no Apêndice I um exemplo do cálculo dos valores de transições para o átomo de Hidrogênio.

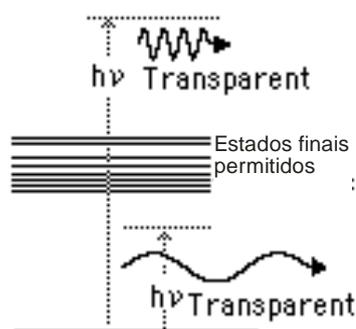


Figura 3.12 Transparência a uma radiação

Como vimos, para interagir de forma específica, a energia do fóton deve ser exata para efetivar essa interação. Na natureza encontramos diversos tipos de resultados para cada tipo de interação. Por exemplo, as microondas (fótons com comprimento de onda entre 3 cm a 300 microm) interagem com as moléculas especificamente nos estados quânticos de rotação e de torção molecular, o que intensifica esses movimentos produzindo calor como resultado. Outro tipo de radiação seria a ultravioleta, que tem comprimento de onda muito pequeno (comprimento de onda é inferior a 400 nm) o que permite uma penetração mais profunda na pele chegando a, por exemplo, interagir com as moléculas de DNA, causando mutações que podem desenvolver câncer.

Entretanto, em nosso estudo sobre as mudanças climáticas a faixa de radiação que ganha destaque é a Infravermelha, conhecida também, como já citado, radiação térmica. As ondas infravermelhas possuem comprimentos de onda entre 1 milímetro e 750 nanômetros e são geradas pela vibração ou rotação dos átomos e moléculas.

Diferentemente das radiações nas regiões do ultravioleta e do visível, que ao incidirem sobre uma molécula causam transições eletrônicas, a radiação infravermelha causa alteração nos modos rotacionais e vibracionais das moléculas.

Assim, a radiação infravermelha com comprimento de onda entre $1\mu\text{m}$ e $100\mu\text{m}$, ao ser absorvida é transformada em energia vibracional e aquelas com comprimento de onda maior que $100\mu\text{m}$ (portando menor energia) é convertida em energia de rotação molecular. Quando olharmos um espectro de emissão de radiação que contém transição eletrônica como na figura 3.10, perceberemos linhas indicando as faixas de radiação emitidas nessas transições.

Da mesma forma podemos ter um espectro de absorção do hidrogênio ao introduzirmos radiação onde ele absorverá exatamente a radiação que anteriormente ele emitiu, ou seja, no lugar das linhas de emissão estarão linhas escuras indicando que esses comprimentos de onda de radiação foram absorvidos. Da mesma forma acontece quando incidimos radiação sobre as moléculas, ao olharmos seu espectro, notaremos que cada tipo de molécula e átomo absorve, ou não, cada faixa de comprimento de onda. Essa técnica é chamada espectroscopia e é largamente utilizada para identificar compostos químicos.

A espectroscopia infravermelha nos ajuda imensamente no caso do aquecimento global, pois detecta os gases que absorvem radiação nessa faixa. Então, precisamos entender como as moléculas absorvem essa radiação.

As ligações químicas das substâncias possuem frequências³³ de vibração e rotação específicas, as quais correspondem a níveis de energia da molécula (chamados nesse caso de níveis vibracionais ou rotacionais). Tais frequências dependem da energia potencial de

³³ Quando falamos em frequência, falamos também de comprimento de onda. Essas duas grandezas estão relacionadas entre si ($c = \lambda\nu$), assim podemos dizer que a radiação possui uma frequência de vibração ou oscila conforme um comprimento de onda.

ligação da molécula, da geometria molecular e das massas dos átomos. Se a molécula receber luz com exatamente a mesma energia (fóton com mesma energia) de uma dessas vibrações, então a luz será absorvida. Para que uma vibração seja absorvida no IV, a molécula precisa sofrer uma variação no seu momento dipolar³⁴ durante essa vibração. A radiação infravermelha interage com essas moléculas, mudando sua configuração, especialmente por meio de **vibrações dos átomos** em ligações intramoleculares, tais como:

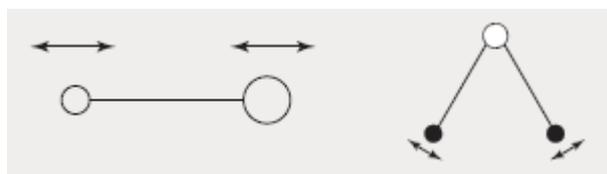


Figura 3.13 Modos de vibração moleculares

O comprimento de onda em que uma absorção/emissão ocorre, depende das massas relativas dos átomos, bem como das constantes de força das ligações.

Os átomos de uma molécula não permanecem fixos uns em relação aos outros; na realidade, eles vibram em torno de uma posição média. Se essas vibrações causarem mudança no momento dipolar da molécula, ela será ativa no infravermelho, isto é, absorverá e emitirá radiação infravermelha. A molécula do CO_2 é linear e tem, no estado fundamental, um momento dipolar igual a zero (os dois dipolos se anulam):

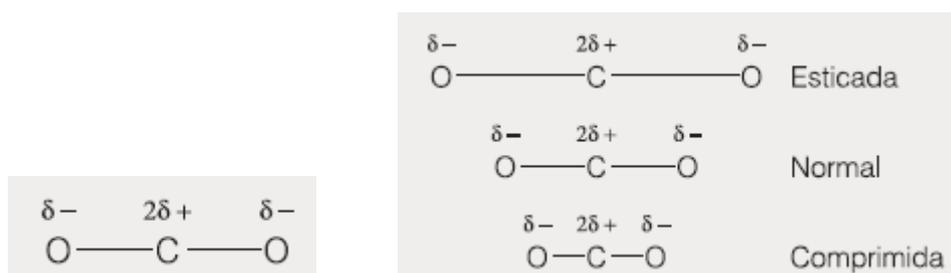


Figura 3.14 Variação do dipolo da molécula de CO_2 – Deformação Simétrica

Se a molécula vibrar no modo conhecido como deformação axial simétrica, ela é alternadamente esticada e comprimida, com o comprimento de ambas as ligações C—O mudando simultaneamente³⁵. O momento dipolar claramente permanece zero ao longo de todo o movimento, fazendo com que esse modo vibracional seja ‘inativo no infravermelho’. Já se a molécula vibrar no modo chamado de ‘deformação axial assimétrica’, a vibração é “ativa no infravermelho” pois ocorre uma alteração periódica do momento dipolar da molécula.

A deformação axial assimétrica, associada às rotações dos átomos, é responsável pela absorvidade do CO_2 na faixa em torno de $4,25\mu\text{m}$. Outro modo vibracional dessa molécula, ativo no infravermelho é a “deformação angular simétrica”. Esse modo é responsável pela absorvidade do CO_2 na faixa em torno de $15\mu\text{m}$.

³⁴ Uma molécula apresenta um dipolo elétrico se nela existirem duas cargas q e $-q$ separadas por uma distância l . Ou seja, as moléculas que possuem ligações com átomos diferentes, moléculas polares.

³⁵ Essa representação de ligação química do CO_2 , O—C—O, é para simplificar a ilustração do dipolo, pois sabemos que as ligações nessa molécula são duplas, ou seja, O=C=O.

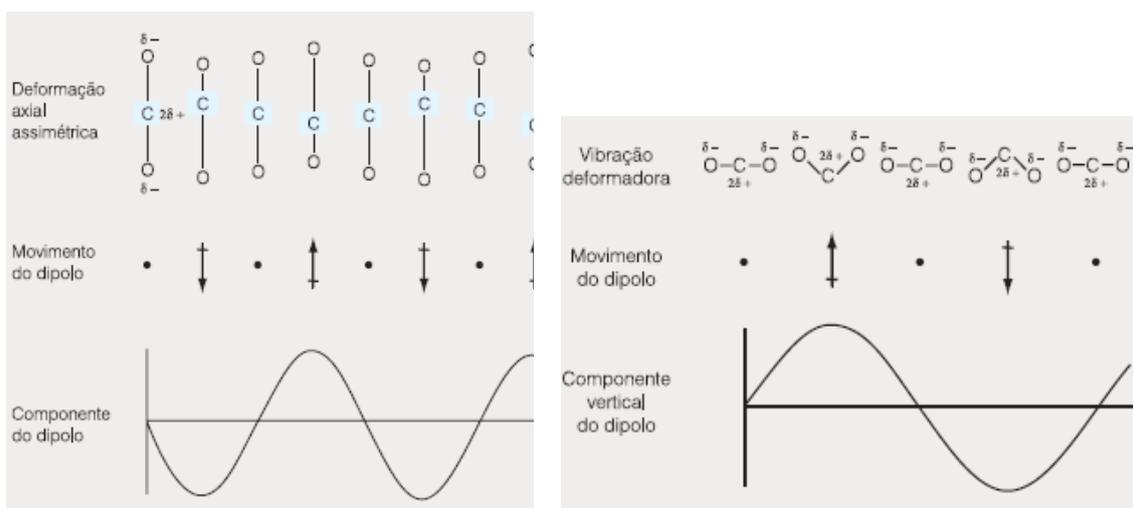


Figura 3.15 CO₂ – Deformação Axial Assimétrica e Deformação Angular Simétrica

Os modos vibracionais possíveis e as variações periódicas no momento dipolar da molécula de água H₂O são mostrados a seguir.

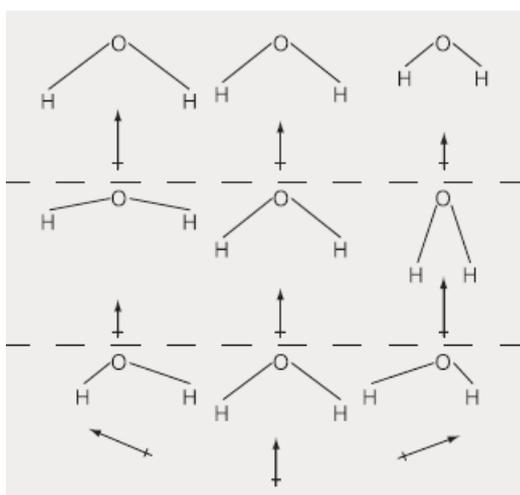


Figura 3.16 H₂O – Modos Vibracionais e Variações Periódicas no Momento Dipolar

As deformações axiais simétrica e assimétrica são responsáveis pela absorvidade da molécula de água na região em torno de 2,7 μ m, enquanto a deformação angular é responsável pela deformação em torno de 6 μ m. As deformações acima mostradas levam ao que se chama de vibrações fundamentais. Todavia, podem ocorrer interações e acoplamentos entre os osciladores, o que faz com que surjam vibrações secundárias que absorvem em outras regiões diferentes das fundamentais (TOLENTINO e ROCHA FILHO, 1998).

O papel destes gases na manutenção da temperatura terrestre é fundamental, pois a energia absorvida da radiação infravermelha é transformada em energia de vibração e rotação das moléculas, ou seja, em energia de agitação térmica.

É importante lembrarmos que o sistema que regula o clima na Terra é bastante complexo, ou seja, depende de muitos fatores que se influenciam mutuamente. A concentração dos gases, o efeito de absorção por essas moléculas e a faixa de comprimento que tais absorvem são o que explica o efeito estufa. Mas devemos lembrar que outros fenômenos como a reflexão e absorção da radiação pela superfície, bem como a exposição que cada região do planeta tem da radiação solar são fatores de enorme influência sobre o balanço energético do planeta e consequentemente define o comportamento do clima em cada região.

4 CALOR

O calor sempre foi percebido como algo que produz em nós uma sensação de aquecimento. Calor é definido como a forma de energia transferida entre dois corpos devido à diferença de temperaturas, independentemente de transporte de massa e de execução de trabalho.

Trocas de Calor

Todo corpo tem certa quantidade de energia interna que está relacionada ao movimento contínuo de seus átomos, ou moléculas, e às forças interativas entre essas partículas. Tanto em sólidos, líquidos ou gases, suas partículas apresentam constante movimento (vibração, rotação ou translação). A soma dessas energias associadas ao movimento de tais partículas, que compõem o corpo, chamamos energia térmica. Esta energia térmica é diretamente proporcional à temperatura do objeto. Enquanto houver diferença de temperatura entre os corpos eles podem trocar calor até que suas temperaturas sejam as mesmas, ou seja, entrem em equilíbrio térmico. Mas de acordo com a Lei Zero da Termodinâmica, podemos aferir que dois corpos estão em equilíbrio térmico, mesmo sem colocá-los em contato, bastando estarem em equilíbrio térmico com outro corpo, um termômetro.

As trocas de calor podem ocorrer por condução, convecção e irradiação térmica.

Condução

Ocorre quando uma troca de calor se dá devido ao contato físico entre corpos. Ou seja, essa transferência de energia (calor) acontece através de uma interação partícula a partícula, veja figura a seguir.

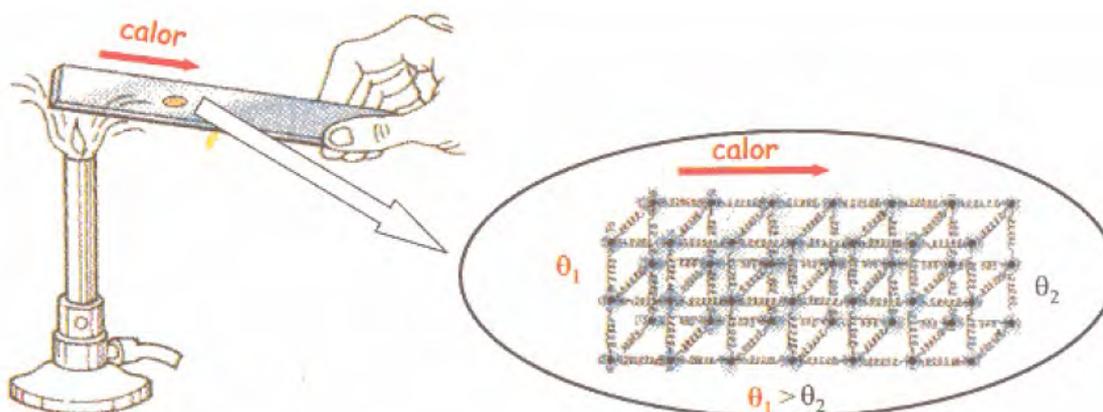


Figura 4.1 Condução – A transmissão de calor ocorre por contato da região de maior temperatura para a de menor.

Por exemplo, quando entramos em contato com uma superfície de madeira ou metálica, percebemos uma sensação de frio, que é resultado da troca de calor entre nosso corpo e a superfície. Obviamente, essa sensação é mais acentuada quando o contato é com o metal, isso ocorre porque este é um bom condutor térmico, o que não ocorre com a madeira que não conduz muito bem o calor, por isso pode ser classificada como um isolante térmico.

Isso se deve a uma propriedade de cada material chamada condutividade térmica, que podemos entender como a eficiência com que se dá a transferência de calor. Um exemplo interessante dessa eficiência de condução são os iglus. Os esquimós constroem suas casas com gelo e conseguem se proteger do intenso frio das regiões polares. Eles conseguem essa “façanha” porque o gelo tem um coeficiente de condutividade semelhante ao do concreto ($0,22 \times 10^{-2}$ cal/s.m.°C) e pode ser considerado um isolante térmico. Desse modo, o calor produzido no interior dos iglus, liberado na queima de combustíveis ou nos processos de respiração e transpiração de seus habitantes, fica ali retido, elevando a temperatura do seu interior, enquanto a temperatura externa pode chegar a -50°C .

O processo de troca de calor por condução está vinculado à interação entre as moléculas. Quanto maior esta interação, mais eficiente será a troca. Assim, podemos entender porque uma substância no estado sólido é, em geral, melhor condutora de calor que quando se encontra no estado líquido ou gasoso. No metal a transferência de energia térmica é facilitada pelos elétrons livres³⁶ que o compõem.

Convecção

Em líquidos e gases a condução térmica é muito lenta. Nestes casos a convecção assume um papel muito importante como processo de transferência de energia sob a forma de calor envolvendo deslocamento de matéria.

Essa troca de calor ocorre através de correntes de fluidos ascendentes e descendentes chamadas correntes de convecção³⁷. Por exemplo, numa geladeira o ar que entra em contato com o congelador se torna mais frio e se contrai, ficando mais denso, o que, pela ação gravitacional, o faz descer. Nesta descida, esse ar troca calor com o resto do ambiente da geladeira, deslocando a parcela de ar mais quente para cima. O mesmo tipo de circulação acontece no interior da água que é aquecida numa panela. A água em contato com o fundo aquecido recebe calor e dilata. Como a densidade diminui, a água mais aquecida sobe até atingir a superfície, originando correntes de convecção no interior do líquido.

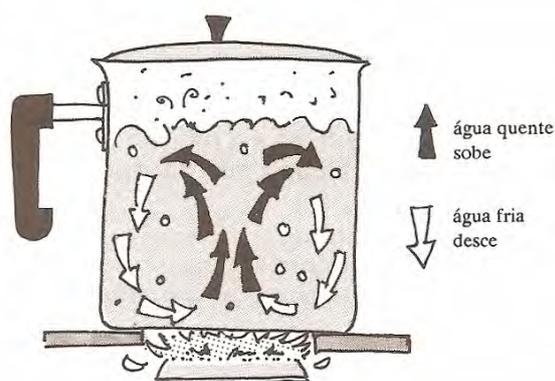


Figura 4.2 – Representação da propagação de calor por convecção
Fonte: GREF

De forma semelhante ocorrem as correntes atmosféricas e oceânicas. Um exemplo típico é a brisa marítima e o vento continental. Como a terra fica mais aquecida durante o dia, o ar, nas suas proximidades, também se aquece e se torna menos denso, formando correntes

³⁶ Partículas também responsáveis pela transmissão de corrente elétrica.

³⁷ Tais correntes de convecção têm origem no comportamento de agitação térmica microscópico da matéria que, numa atividade de correlação de pares de moléculas com energia mais altas, exibem um movimento macroscópico ordenado.

de ar ascendentes. Do mar vem o ar mais frio, portanto mais denso, para ocupar o seu lugar. Esse processo de convecção do ar faz com que a brisa sopra do mar para a terra.

À noite os mesmos fatores fazem com que a água tenha uma menor redução de temperatura do que a terra, invertendo todo o processo. Ou seja, o mar se mantém mais aquecido que a praia, fazendo com que o ar sobre ele suba e a brisa sopra, agora, da terra para o mar.

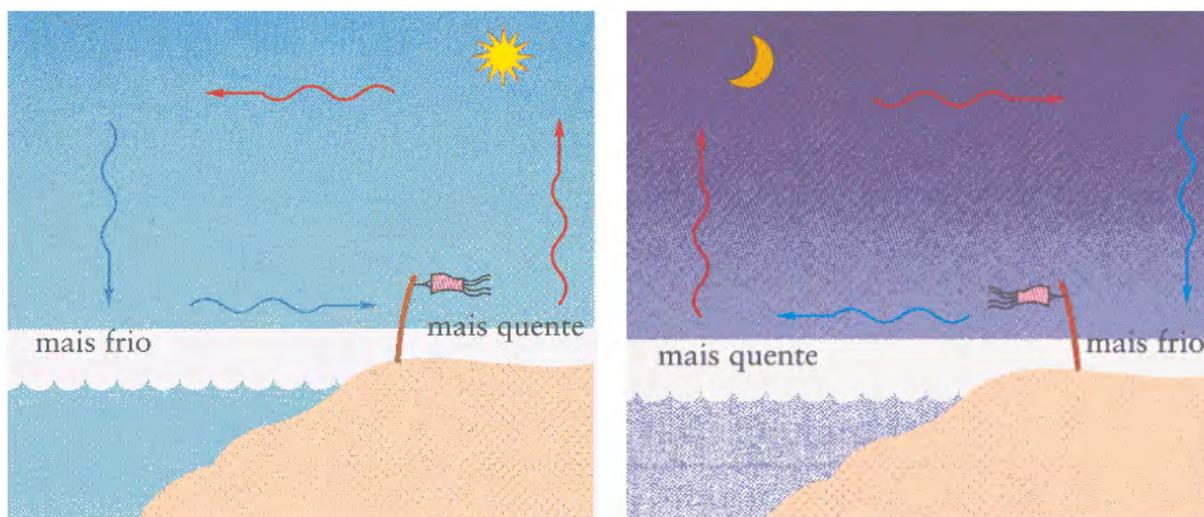


Figura 4.3 Brisa marítima (esquerda) e brisa continental (direita)

Durante o dia, a terra tem uma temperatura maior do que a água. Vários fatores colaboram para que isso aconteça. Um deles é que o calor específico da água ($1\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$), que é bem maior que o da terra ($0,2\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$). Isso significa que, se uma mesma massa de água e terra recebem a mesma quantidade de calor, a temperatura da terra se eleva mais do que a da água.

Quando a radiação solar incide sobre a terra, ela é quase totalmente absorvida e convertida em calor. Além disso, esse aquecimento fica restrito a uma fina camada de terra, uma vez que esta é má condutora de calor. Por outro lado, sendo a água quase transparente, a radiação, ao incidir sobre o mar, chega a aquecer a água em maior profundidade. Assim, a massa de terra que troca calor é muito menor que a da água, e acaba também sendo responsável pela maior elevação de temperatura da terra.

Outro fator que contribui para essa diferença de aquecimento é o fato de que parte da radiação recebida pela água é utilizada para vaporizá-la, e não para aumentar sua temperatura.

Irradiação Térmica

A irradiação térmica está associada à emissão de luz pelos corpos aquecidos. Por exemplo, um pedaço de ferro, quando aquecido, a partir de certa temperatura começa a emitir luz, a princípio vermelha (ferro em brasa), depois laranja, amarela e finalmente branca. Quando nos expomos à luz do Sol, sentimos nossa pele aquecer, entretanto não estamos em contato com o Sol, ou seja, essa transferência de calor não se dá por condução. Também não seria possível essa transmissão de calor por convecção, pois seria necessário um meio, ou melhor, um fluido, para que esse calor chegasse até nós. O espaço não é composto por fluidos, mas por vácuo.

O aquecimento da Terra pelo Sol, o cozimento do alimento no forno do fogão e o aquecimento da água através de um coletor solar são exemplos onde a troca de calor é realizada através da irradiação. Sua interpretação está associada à interação da radiação com a

matéria. A radiação interage transferindo energia para os átomos, ou moléculas. Essa energia, se absorvida, se soma à energia térmica do material aquecendo-o. As estufas são um bom exemplo do aproveitamento da irradiação para o cultivo de algumas variedades de plantas que necessitam de um ambiente mais aquecido para se desenvolverem. Em geral, são construídas em alvenaria com cobertura de vidro.

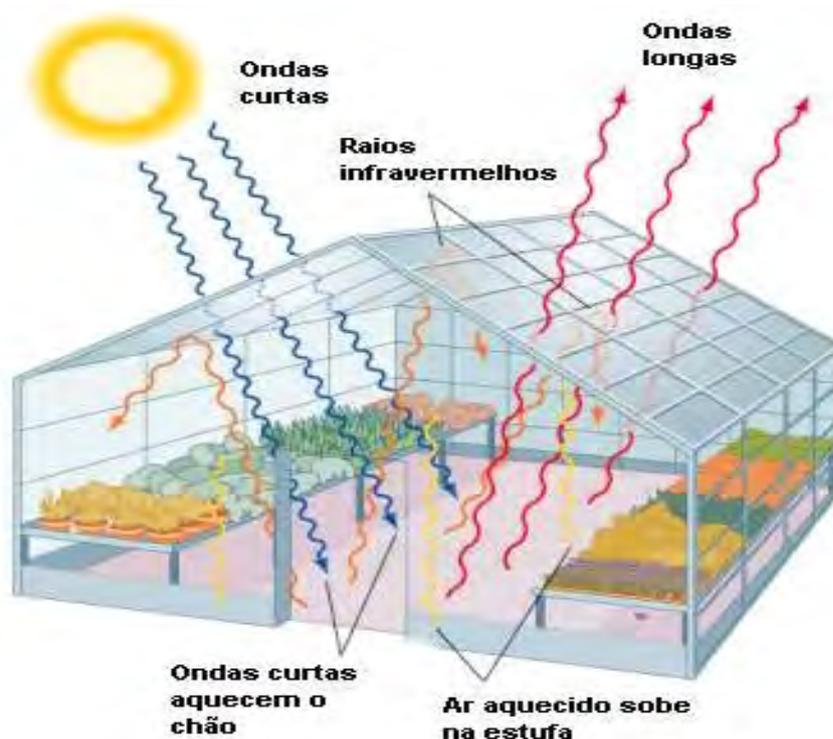


Figura 4.4 Estufa de Vidro

Na estufa, o vidro tem um papel fundamental, pois é um material transparente à luz visível e opaco à radiação infravermelha. Desse modo, a radiação visível, que vem do Sol, atravessa a cobertura de vidro e é quase totalmente absorvida pelos objetos no interior da estufa. Tal absorção eleva a temperatura dos objetos e do ar interior. Os corpos aquecidos emitem radiação infravermelha, que fica “presa” dentro da estufa, já que o vidro não é transparente³⁸ a ela. Além disso, tanto o vidro como a alvenaria são maus condutores, o que diminui as trocas de calor com o exterior. Assim, a temperatura no interior da estufa torna-se mais elevada, comparativamente com a do exterior.

No caso do forno de microondas, uma radiação com uma frequência bem definida, interage especificamente com as moléculas de água transferindo energia para elas provocando o aquecimento, por condução, do restante dos alimentos. Assim, um copo vazio não se aquece num forno de microondas.

Calor Específico

Calor Específico, também chamado de calor sensível, é uma propriedade que nos permite classificar as diferentes substâncias de acordo com a quantidade de calor necessária para alterar de um grau a temperatura de uma unidade de massa. Enquanto que a capacidade

³⁸ Neste caso, a transparência se explica devido à composição do vidro que permite que a radiação de comprimento menor (visível) seja transmitida, enquanto que a radiação de comprimento maior (infravermelha) seja refletida de volta para o interior da estufa.

térmica é a quantidade de calor necessária para elevar de um grau a temperatura de um corpo. Podemos relacioná-los por:

$$\Delta Q = C.\Delta T = m.c.\Delta T$$

Onde C é a capacidade térmica, ΔQ é a variação da quantidade de calor recebida ou cedida pelo corpo e Δt é a variação de temperatura sofrida pelo corpo, c é o calor específico da substância que compõe o corpo e m é a massa. Ou seja, o calor específico de uma substância é a capacidade térmica de uma unidade de massa dessa substância.

$$c = \frac{C}{m}$$

Calor Latente

Calor latente é uma propriedade que está relacionada com a quantidade de calor necessária para modificar o estado físico de uma substância, alterando a organização de suas moléculas, aumentando ou diminuindo a energia potencial entre elas. Portanto, é a energia calórica envolvida no processo de evaporação, condensação, solidificação e liquefação. Quanto maior for a massa de uma substância, maior quantidade de calor que devemos fornecer para se realizar a mudança de estado, pois também o número de moléculas que interagem é maior. Matematicamente expressamos o calor latente por:

$$L = \frac{Q}{m}$$

Onde L é o calor latente da substância, Q a quantidade de calor fornecida ou cedida e m a massa da substância.

Em nosso planeta, o vapor d'água serve como veículo para o transporte de calor na atmosfera, conduzindo-o sob a forma latente e liberando-o como calor sensível. Além disso, atua como agente termorregulador, absorvendo radiação infravermelha causando o efeito estufa natural. Esse magistral mecanismo funciona da seguinte forma: cada região de nosso planeta recebe, por um período denominado dia, energia do sol através de irradiação. Então, como vimos no capítulo anterior (reveja a figura 3.2), 19% da radiação é absorvida diretamente pela atmosfera. Outros 51% da radiação solar chega a superfície onde é absorvida. Na superfície terrestre, 23% da radiação é transformada em calor latente e 7% é transformada em calor sensível. Assim, com o raiar do dia, percebemos a elevação da temperatura da superfície e do ar, bem como a troca de calor através do processo sempre contínuo de evaporação da água. Note que não é necessário a água atingir 100°C para que se evapore, assim como ocorre com aquela poça d'água que secou ou pela roupa do varal que estava encharcada e agora está seca. Por exemplo, no mar as moléculas da superfície estão em contato com a atmosfera e não estando fortemente ligadas como aquelas de regiões mais profundas. Como as moléculas superficiais possuem menor energia potencial são facilmente evaporadas. Dessa forma, a atmosfera acumula energia na forma de calor latente e calor sensível durante o dia. À noite, a atmosfera continua perdendo energia para o espaço através de irradiação, resfriando-se. Então, a enorme quantidade de calor, sob forma de vapor, começa a diminuir, ocorrendo a condensação. Da mesma forma que a água precisou ganhar calor para evaporar, ela precisa perder calor para se transformar em líquido. Assim, o vapor libera calor latente de condensação sob forma de calor sensível para a atmosfera noturna aquecendo-a, ou melhor, evitando um resfriamento em demasia. No deserto, esse efeito é dificultado pela baixa umidade do ar, o que leva a um dia escaldante e uma noite muito fria,

pois toda energia é utilizada sob forma de calor sensível. Por outro lado, devemos lembrar-nos do calor latente de fusão, que é responsável pela passagem da água do estado sólido para o líquido e, no processo inverso, líquido para sólido, chamamos de calor latente de solidificação. Estes são fenômenos associados à fusão e formação de cristais de gelo, neve e granizo.

4.1 Primeira Lei da Termodinâmica

Uma das leis mais fundamentais da natureza é o princípio de conservação da energia. Ele diz que durante uma interação, a energia pode mudar de uma forma para outra, mas que a quantidade total permanece constante. Ou seja, a energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada em outras formas de energia (elétrica, calor, luz, mecânica, química, etc.). A primeira lei da termodinâmica é apenas uma expressão do princípio de conservação da energia aplicado a um sistema termodinâmico.

Quando utilizamos um compressor para encher um pneu, realizamos trabalho mecânico, através da compressão do ar, sobre o sistema. A realização de **trabalho (W)**, nesta situação, leva a um aumento da energia interna do sistema, e conseqüentemente um aumento de temperatura, o que é constatado através do aquecimento da válvula do pneu.

Quando colocamos uma panela com água no fogo, podemos dizer que há transferência de **calor (Q)** da panela, em contato com o fogo, para a água. Assim, o sistema tem sua energia interna aumentada por simples transferência de calor.

Já em um forno de microondas, as moléculas de água recebem energia sob a forma de **radiação (R)**, o que implica um aumento da energia interna da água, ocasionando um aumento de temperatura.

Em suma, a variação da energia interna de um sistema termodinâmico é igual à soma das quantidades de energia transferidas das, ou para as, vizinhanças, sob a forma de trabalho (W), calor (Q) ou radiação (R), tal que:

$$\Delta E_i = Q + W + R$$

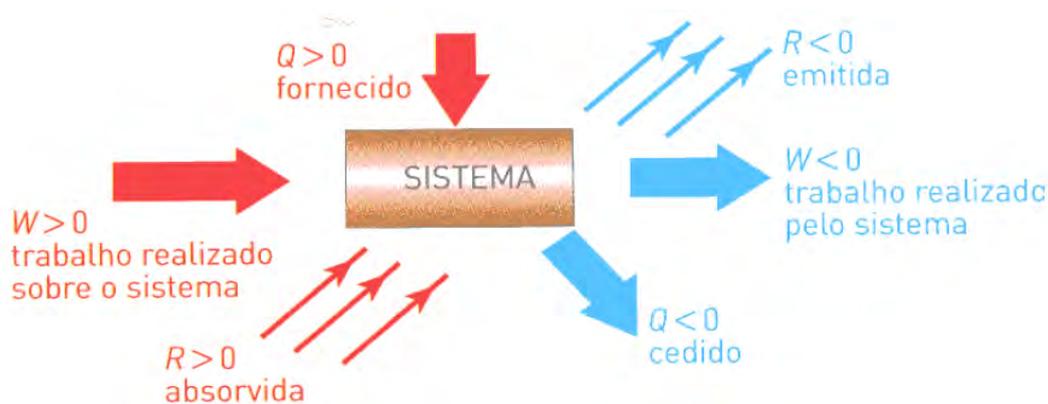


Figura 4.5 Representação do Fluxo de energia em um sistema: 1ª Lei da Termodinâmica. Os valores destas frações de energia são algébricos, positivos para energia absorvida e negativos para energia cedida.

Diversos processos de transformação podem ocorrer em um sistema termodinâmico.

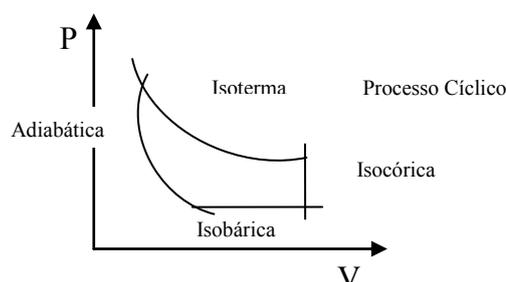


Figura 4.6 Representação de um processo cíclico por meio do processo isotérmico, isocórico, isobárico e adiabático.

Um processo isotérmico ocorre quando há troca de calor sem variação de temperatura. Um processo adiabático acontece quando não há troca de calor. Em um processo isocórico não acontece variação de volume. Num processo isobárico não há variação de pressão. E quando o sistema volta a seu estado inicial temos um processo cíclico.

4.2 Efeitos da Troca de Calor

Todo o mecanismo de troca de calor que ocorre no sistema Terra funciona de forma poderosa, mas é altamente sensível. Tanto o é, que as mudanças climáticas são fruto de um aumento na concentração de gases que intensificam o chamado efeito estufa.

O efeito estufa é um fenômeno natural que é regido pelo vapor d'água e outros gases que podem absorver radiação infravermelha. Esse processo natural funciona em sintonia com maravilhosas transformações energéticas regulando a temperatura ideal para vida. Quando há uma interferência em um processo natural, muitas consequências são patentes.

Em média, a energia (calor) disponível é utilizada em parte para evaporação (calor latente) e o restante para o aquecimento do ar (calor sensível). Sobre superfícies vegetadas, a maior parte da energia disponível é usada na forma de calor latente através da evaporação da água contida nas plantas, o que resfria a superfície. Com a mudança da cobertura superficial, de campos com vegetação para asfalto e concreto, a relação se inverte, e todo calor é utilizado para aquecimento da superfície e do ar próximo. Esse é o chamado *efeito ilha de calor*.

Mudanças na distribuição global de nuvens podem alterar a temperatura da troposfera. Temperaturas mais quentes aumentam a evaporação da água e criam mais nuvens. Essas nuvens adicionais podem ter um efeito de aquecimento ao absorver e liberar calor na troposfera, ou um efeito de resfriamento, ao refletir mais efetivamente a luz solar de volta para o espaço.

Quando temos uma superfície de gelo, temos um alto albedo, conseqüentemente uma alta refletividade. Contudo, quando essa camada de gelo derrete e passa à água líquida, que tem um albedo menor (menor refletividade), temos, nessa região, uma área que era altamente refletora e agora reflete muito pouco. Isso implica um efeito de maior aquecimento, já que essa energia fica retida na forma de calor latente e posterior calor sensível. Um efeito como esse pode ser perigoso, pois quanto mais gelo derrete, mais quente fica a região, assim mais radiação é absorvida pela água derretida, alimentando um ciclo de aquecimento que, após iniciado, aumenta rapidamente. Chamamos isso de efeito feedback, ou efeito de realimentação, que significa, por exemplo, aquecimento gerando mais aquecimento.

Os oceanos se comportam como um grande reservatório térmico e um grande sumidouro de CO_2 . Entretanto, com o aquecimento da atmosfera causado pela intensificação do efeito estufa, os oceanos também ficarão mais quentes, implicando uma diminuição na sua capacidade de absorver CO_2 . Dessa forma, se os oceanos ficarem saturados desse gás, uma maior parte sobrar para a atmosfera, causando uma realimentação no efeito estufa e, conseqüentemente, reforçando o aquecimento global. Por isso é tão importante compreendermos o funcionamento dessa grande máquina térmica que é o nosso planeta.

4.3 Temperatura e sua variação

Os sinais de que coisas estranhas estão ocorrendo no clima podem ser percebidos quando investigamos as variações de temperatura ao longo dos anos. Seja no mar, na terra ou no ar. O conceito de temperatura é simples, mas muitos fazem confusão quando relacionam com a sensação de quente ou frio. Por exemplo, quando uma pessoa sai de uma piscina, principalmente num dia com muito vento, em geral sente frio. Isso acontece porque as gotículas que se encontram sobre seu corpo retiram calor dele quando passam do estado líquido para o de vapor. O vento acelera a evaporação, aumentando a quantidade de calor cedida pela pessoa, o que produz a sensação de frio. Obviamente a temperatura do ar é a mesma para a pessoa que saiu da piscina e para outra que está seca no mesmo lugar. Entretanto, a primeira tem a sensação de que a temperatura do ar está mais baixa.

Por isso, não podemos confiar em nossa sensação de quente e frio para dizermos qual a temperatura do ar, precisamos de meios mais confiáveis para medir a temperatura. Para isso, felizmente, temos os termômetros que são baseados em propriedades de materiais que mudam com a temperatura de maneira repetida e previsível, criando uma base para a medição da temperatura com exatidão. Um exemplo comum de termômetro é o modelo com um bulbo de mercúrio que expande com aumento da temperatura.

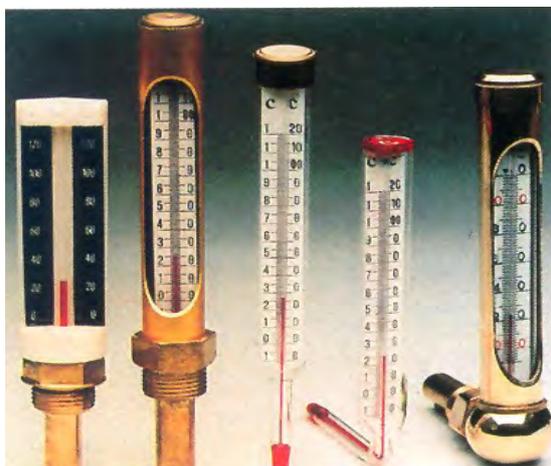


Figura 4.7 Termômetros

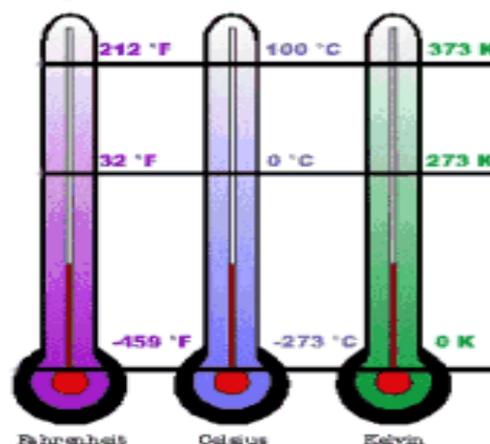


Figura 4.8 As Escalas Fahrenheit, Celsius e Kelvin, com seus respectivos pontos mínimos, de fusão do gelo e de ebulição da água.

Essas bases de temperatura precisam ser definidas em escalas para que possamos associar com os eventos do nosso cotidiano. Por exemplo, a escala Celsius tem por base de referência o ponto de congelamento (0°C) e o de ebulição da água (100°C). Temos também a escala Fahrenheit, cujos pontos respectivos ao congelamento e ebulição da água são 32°F e 212°F . Mas o mais importante fisicamente é termos uma escala independente das propriedades de qualquer substância. Assim, a escala Kelvin é a escala absoluta que tem seu

ponto zero (0 K) quando a substância não apresenta qualquer vibração mesmo a nível atômico, o que, diga-se de passagem, é fisicamente impossível.

Mudanças de temperatura

Para os cientistas registrarem a temperatura em todo globo, eles lançam mão de diversas técnicas e aparelhos. Indo da simples medição com um termômetro convencional, passando por medidas por infravermelho de satélites, até estimativas de temperaturas do passado baseadas em crescimento de anéis de árvores, relações dos isótopos O^{16} e O^{18} em fósseis e em bolhas de ar presas em grandes camadas de gelo na Antártida e Groelândia.

Mas o que se descobriu com toda pesquisa em torno das variações no clima, é que sempre houve na Terra uma variação natural de temperatura com longos períodos mais quentes e outros de frio mais rigoroso. Entretanto, o homem tem modificado os constituintes da atmosfera, os gases estufa, que atuam diretamente na temperatura de nosso planeta. Isso é preocupante porque a maior contribuição para o aumento na concentração desses gases, e consequente contribuição para o aquecimento global, foi resultado de 200 anos de atividade industrial dos países desenvolvidos.

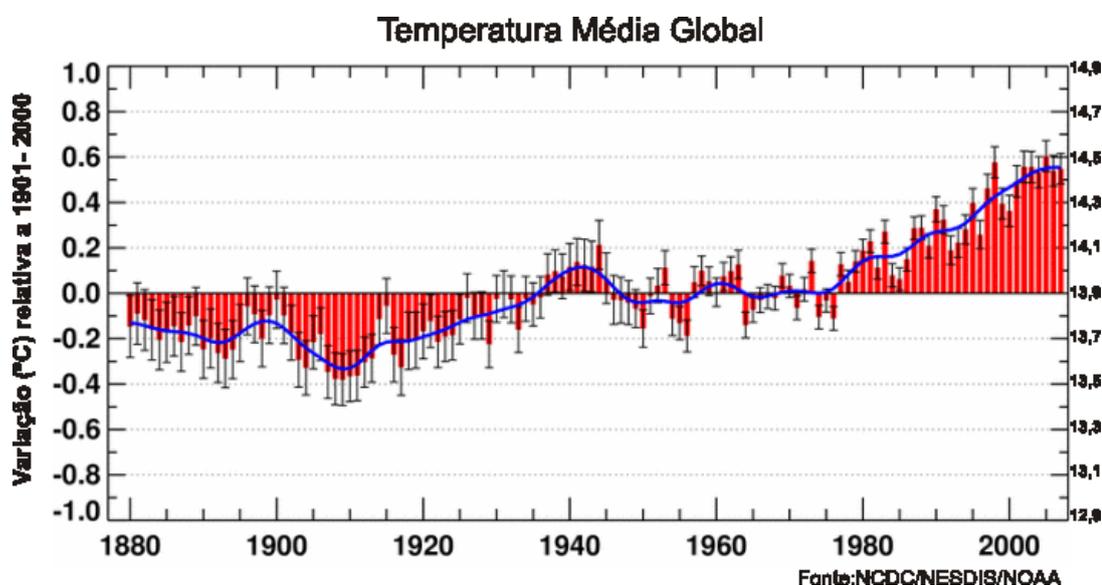


Figura 4.9 Variação de temperatura na Terra

Disponível em <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/anomalies/index.php>

Segundo o relatório do IPCC (Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas) publicado em 2007, o século XX foi o mais quente dos últimos mil anos. Desde 1850 a temperatura média global da troposfera próxima a superfície terrestre se elevou $0,74 [0,56 \text{ a } 0,92]^{\circ}\text{C}$ em todo o globo.

Onze, dos últimos doze anos (1995 a 2006) estão entre os 12 anos mais quentes do registro instrumental da temperatura da superfície global (desde 1850).

Observações desde 1961 mostram que a temperatura média do oceano global aumentou em profundidades de até pelo menos 3000 m e que o oceano tem absorvido mais de 80% do calor acrescentado ao sistema climático. Esse aquecimento faz com que a água do mar se expanda, elevando seu nível.

O IPCC estima que até o fim deste século a temperatura da Terra deve subir entre $1,8^{\circ}\text{C}$ e 4°C , o que aumentaria a intensidade de tempestades e secas. Nesse cenário, um terço das espécies do planeta estaria ameaçada. Populações estariam mais vulneráveis a doenças e desnutrição.

5 PLANETA ÁGUA

Até agora já comentamos o histórico de aquecimento da Terra com as mudanças no cultivo e na indústria. Também analisamos o balanço de radiação Terra-Sol inclusive o porquê do efeito estufa. O aquecimento global desencadeia diversos problemas como: aumento na evaporação e, conseqüentemente, mudança na distribuição das chuvas pelo globo, causando enchentes e secas; elevação do nível dos oceanos que é motivada pela expansão térmica e pelo derretimento de calotas polares, etc.

É notável que todos os exemplos citados tenham como agente a água. Ela cobre 71% da superfície terrestre. Todos os organismos terrestres são compostos por uma grande parte de água. Olhe-se no espelho, somos feitos de 70% de água.



Figura 5.1 Somos feitos basicamente de Água
Fonte: Yamasaki, 2007

Mesmo com tanta água, somente uma pequena fração está disponível para nós como água doce, veja a figura 5.2 na sequência. Se a reserva de água doce do mundo tivesse apenas cem litros, nossa reserva utilizável de água doce seria de apenas 0,014 litros ou 2,5 colheres de chá!



Figura 5.2 Orçamento de água do planeta.
Fonte: Miller, 2007

Essa quantidade parece pouca não é? Agora imagine que essa água não é distribuída igualmente por todo planeta. Em algumas regiões, isso é motivo de conflito e pode ser agravado com o aquecimento global, que pode intensificar a escassez em diversas regiões. Veja a figura 5.3 que ilustra a disponibilidade de água no Planeta.

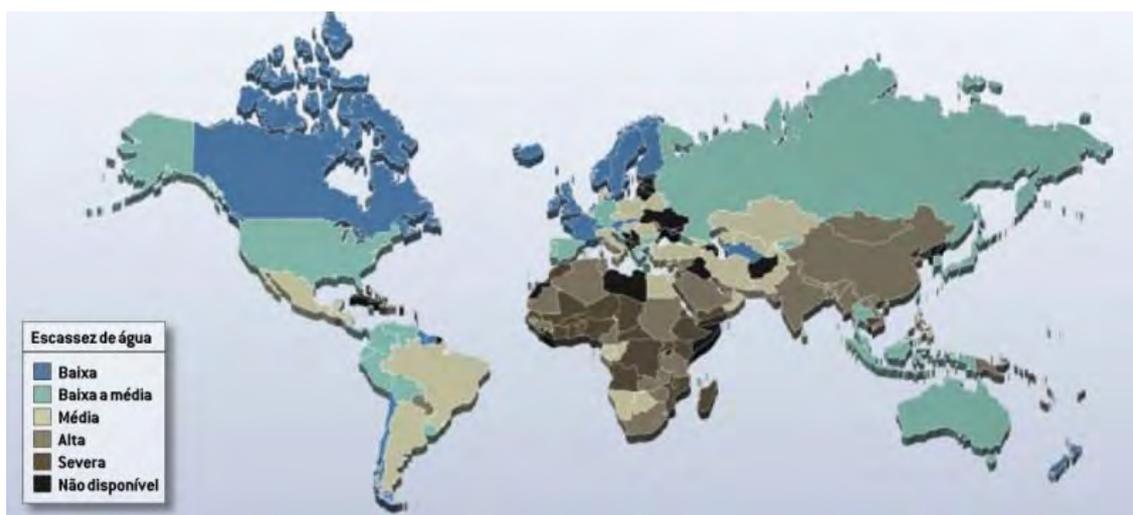


Figura 5.3 Escassez de Água no Planeta

Fonte: Scientific American Brasil

A água é tão especial quanto essencial. Ela é responsável pelas trocas energéticas entre atmosfera e a superfície terrestre. Também desempenha esse papel de forma única, ela tem a propriedade de absorver radiação infravermelha, apresenta uma refletividade diferenciada quando gelo ou quando líquida, é encontrada naturalmente em três fases (sólida, líquida e vapor) o que lhe permite transportar energia sob forma de calor por todo o planeta, bem como mostra um comportamento anômalo quando sua temperatura está entre 0 e 4 °C, permitindo a sobrevivência de espécies em lagos congelados, isso sem falar da biodiversidade de fauna e flora em regiões onde essa molécula é mais abundante.

Mudanças de fase

Quando a energia é absorvida, na forma de calor, por um sólido ou por um líquido, a temperatura da amostra não se eleva necessariamente. Em vez disso, a amostra pode utilizar essa energia para mudar de fase, ou estado. A matéria pode existir em três estados comuns:

Estado sólido, as moléculas estão presas em uma estrutura razoavelmente rígida pela sua atração mútua.

Estado líquido, as moléculas possuem mais energia e se movimentam mais de um lado para o outro. Formando pequenos agrupamentos por alguns instantes, contudo não possui uma estrutura rígida podendo, por exemplo, se ajustar à forma de um recipiente.

Estado gasoso, as moléculas possuem ainda mais energia, estão parcialmente livres umas das outras e podem encher todo o volume de um recipiente.

Fundir um sólido significa mudá-lo do estado sólido para o estado líquido. O processo exige energia porque as moléculas do sólido precisam ser libertadas da sua estrutura rígida.

Congelar um líquido para formar um sólido é o inverso da fusão e exige que se remova energia do líquido, de modo que as moléculas possam se acomodar em uma estrutura rígida.

Vaporizar um líquido significa mudá-lo do estado líquido para o estado gasoso ou de vapor. Este processo, como a fusão, exige energia, pois as moléculas do líquido devem ser libertadas de seus agrupamentos.

Condensar um gás para formar um líquido é o inverso da vaporização, o que exige a remoção de energia do gás, de modo que as moléculas possam se unir em vez de se afastarem umas das outras.

Quando uma amostra sofre completamente uma mudança de fase, a quantidade de energia por unidade de massa que deve ser transferida sob a forma de calor é chamada de **calor latente de transformação**.

$$Q = L m$$

Onde, Q é quantidade de calor recebida ou cedida na transformação, L é o calor latente de transformação da substância (veja tabela 5.1) e m é a massa da substância. (HALLIDAY, 2002)

Tabela 5-1 Alguns Calores de Transformação

Substância	Liquefação		Ebulição	
	Ponto de Liquefação (K*)	Calor de Fusão L, (kJ/kg)**	Ponto de Ebulição (K)	Calor de Vaporização L (kJ/kg)
Hidrogênio	14,0	58,0	20,3	455
Oxigênio	54,8	13,9	90,2	213
Mercúrio	234	11,4	630	296
Água	273	333	373	2256
Chumbo	601	23,2	2017	858
Prata	1235	105	2323	2336
Cobre	1356	207	2868	4730

* valor de temperatura em Kelvin, para transformar para Celsius basta diminuir 273.

** kJ significa quilo joule valor corresponde a 10^3 J.

Obs.: Para transformar joule em calorias temos a relação: $1 \text{ J} = 0,239 \text{ cal}$

Fonte: Halliday, 2002

Vapor d'água na Atmosfera

Com uma concentração praticamente nula nas regiões desérticas e nos extremos polares, até 4% em volume, nas regiões tropicais quentes e úmidas, o vapor d'água é um dos mais importantes constituintes atmosféricos. Exerce um papel de destaque no balanço de energia próximo à superfície do solo. Além disso, sua presença é absolutamente indispensável para toda espécie de vida na Terra. Os seres vivos regulam sua temperatura através da transpiração, com o aumento da temperatura interna, as glândulas sudoríparas produzem suor que, ao evaporar, rouba calor, refrigerando-o.

O vapor d'água é elemento decisivo no ciclo hidrológico, quer transferindo água da superfície para a atmosfera, quer retornando, sob a forma líquida, como chuva. Atua como absorvedor de radiação infravermelha. Com isso, desempenha o papel de um agente termorregulador, impedindo que a camada de ar junto ao solo se esfrie em demasia durante a noite. Ademais, ao passar da fase líquida para a gasosa, absorve calor do ar circunvizinho, resfriando-o, e, ao retornar da fase gasosa para a líquida, libera o calor latente acumulado, aquecendo a atmosfera.

Em nosso planeta, as maiores concentrações de vapor d'água estão nas regiões tropicais e equatoriais úmidas, o que provoca um fluxo de vapor d'água das baixas para as altas latitudes, que são aquecidas ao condensar e precipitar a umidade proveniente dos trópicos. Com isso, o vapor d'água passa a desempenhar um papel relevante no transporte do

excesso de calor tropical em direção aos pólos. Quando o ar é forçado a subir para as camadas superiores da atmosfera, o que é mais intenso nas regiões tropicais e equatoriais, o vapor d'água, ao condensar, desempenha duplo papel: forma pesadas nuvens e transfere calor para a atmosfera superior, alimentando, assim, não apenas chuvaradas intensas, mas também alguns dos mais temíveis fenômenos atmosféricos — os tufões e os furacões. O vapor d'água é a maior fonte de energia latente da atmosfera tropical. (VIANELLO, 2000)

O Ciclo da Água

A energia solar faz que a água presente na superfície terrestre evapore para a atmosfera. Cerca de 84% do vapor na atmosfera provém dos oceanos, o restante vem da terra. Nesse ciclo, uma parte da água doce que retorna para a superfície, em forma de precipitação, fica retida nas geleiras. Outra parte infiltra e percorre o solo e as formações de rochas permeáveis em direção às áreas de armazenamento de águas subterrâneas, denominadas aquíferos. No entanto, a maior parte das precipitações que caem sobre os ecossistemas terrestres transforma-se em escoamentos superficiais. Essa água flui para lagos e córregos, os quais a levam novamente para os oceanos, de onde ela pode evaporar e reiniciar o ciclo. Temos também causado grandes impactos ambientais interferindo no ciclo da água removendo a vegetação para dar lugar à agricultura, à mineração, à construção, além de outras atividades. Por vezes, cobrimos a terra com prédios, concreto ou asfalto. Isso aumenta o escoamento, diminui a infiltração que reabastece as águas subterrâneas, eleva o risco de enchentes, acelera a erosão e provoca deslizamentos de terra. (MILLER, 2007)

5.1 Evaporação Modifica a Precipitação Mundial

Dentre as principais variáveis para nossa sensação de conforto no ambiente, estão a temperatura e a umidade relativa do ar. A umidade do ar resulta da evaporação da água contida nos mares, rios, lagos e na terra, bem como pela evapotranspiração dos vegetais e dos animais. Ela atua diretamente na capacidade de a pele evaporar o suor, podendo aumentar a sensação de desconforto térmico. Por exemplo, em ambientes quentes e com alta umidade relativa do ar, temos um desconforto térmico maior do que em um ambiente com a mesma temperatura e com baixa umidade relativa, pois essa capacidade de perder calor por evaporação fica limitada. Da mesma forma ocorre o processo inverso, a condensação, onde as superfícies dos corpos estão mais frias que o ambiente, como numa garrafa de água gelada que aparece “suada”, ou no espelho do banheiro após o banho quente que aparece embaçado.

Os processos de evaporação e de condensação estão relacionados com um aumento ou diminuição da energia interna de uma substância. Assim, para a água evaporar ou o vapor se condensar não necessariamente precisa-se estar à temperatura de ebulição (100 °C). Na superfície de um líquido existem moléculas que possuem energia cinética suficientemente elevada para conseguirem escapar da camada superficial. Essas moléculas, após abandonarem o líquido, formam sobre sua superfície, uma camada de vapor. Uma vez que do líquido escapam aquelas moléculas cuja energia cinética é maior, suficiente para romper a interação, o líquido sofre um resfriamento durante esse processo de evaporação. Por outro lado, algumas moléculas do vapor acabam por se chocar com a superfície do líquido e retornam a ele. Isso significa que, juntamente com o processo de evaporação do líquido, está ocorrendo o processo inverso, o de condensação. Quando a densidade das moléculas de vapor aumenta sobre a superfície líquida da substância, a condensação aumenta enquanto a evaporação diminui. Assim, quanto menor a densidade do vapor da substância sobre sua superfície líquida, maior será a evaporação. Isso significa que ao soprarmos sobre a superfície de um líquido estaremos

retirando o vapor ali formado, privilegiando a evaporação (ou evitando a condensação) e, portanto provocando o resfriamento, ou seja, uma diminuição da energia interna da substância. Vale lembrar que, com a elevação da temperatura, a energia cinética média das moléculas aumenta fazendo com que a velocidade de evaporação do líquido aumente. (GREF, 2005)

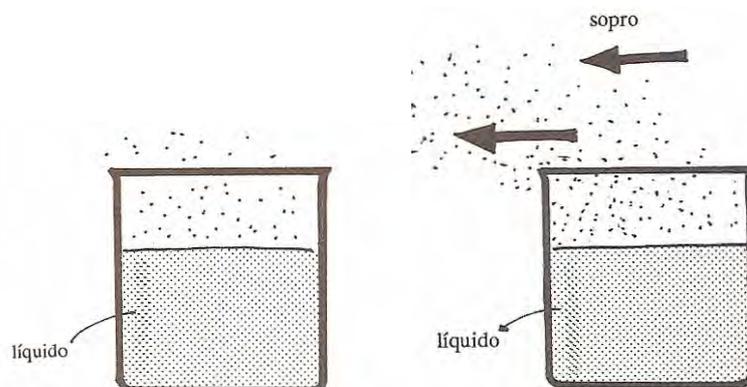


Figura 5.4 Representação do equilíbrio entre a evaporação e condensação com posterior privilégio para a evaporação forçando o deslocamento do ar com um sopro.
Fonte: GREF, 2005

Além disso, não podemos esquecer que nas mudanças de fase, o fator “pressão atmosférica” é muito importante. A pressão atmosférica ao nível do mar é convencionalmente considerada como sendo 1 atm, o que significa a pressão de 1 atmosfera acima deste ponto, óbvio! Mas quando subimos, por exemplo, ao Everest (altitude de 8.882 m), a quantidade de ar acima deste ponto é menor, ou seja, a pressão sobre nossas cabeças lá no pico é menor. Inclusive, fica difícil a respiração, pois é baixa a concentração de Ar e conseqüentemente a de Oxigênio (O₂). Entretanto, se quiséssemos ferver água lá, seria mais fácil, pois o ar exerce uma menor pressão sobre a superfície do líquido, o que facilita que as moléculas escapem, permitindo que a água entre em ebulição antes dos 100°C, em torno de 71°C. Por outro lado, o mesmo efeito acontece na panela de pressão, onde os alimentos ficam sujeitos a uma pressão interna maior que a atmosférica, assim a água ferve por volta de 120°C.

Umidade relativa do ar

Podemos verificar a umidade do ar também pela absorção de vapor d’água por substâncias higroscópicas³⁹, como o sal de cozinha e a cal viva.

Umidade Relativa U_R é a razão da quantidade pressão de vapor d’água contida numa região do ar (ρ) e da quantidade de pressão de vapor (P) que essa mesma região conteria se estivesse saturada⁴⁰ à mesma temperatura.

$$U_R = \frac{\rho}{P}$$

³⁹ Higroscópico significa ter tendência para absorver a umidade do ar ou que favoreça sua condensação.

⁴⁰ O ar saturado de vapor d’água significa que a esta temperatura ele não suporta mais adição de vapor o que promove a condensação do vapor excedente.

Por exemplo, num ar saturado de umidade, a Umidade Relativa é 100% ($p/P = 1$). Num ambiente totalmente seco a umidade relativa é 0% ($p/P = 0$). Normalmente, a umidade relativa é uma fração compreendida entre 0 e 1, ou entre 0% e 100%. Existem vários aparelhos para medir a umidade relativa do ar, usando vários princípios físicos, como a absorção da umidade por substâncias higroscópicas, pela condensação da umidade do ar, pelas variações no comprimento de alguma substância, ou pela evaporação. Um desses é o Psicrômetro⁴¹ ou Higrômetro de evaporação. (FURUKAWA, 1999)

Chuvas

Segundo previsões do IPCC, em algumas regiões poderá chover muito menos anualmente, em outras será menos previsível, com chuvas sazonais que não virão ou chegarão com tanta força que provocarão terríveis enchentes. O aumento de temperatura fará com que a água da superfície evapore mais rapidamente, aumentando a demanda e esvaziando os reservatórios, principalmente para irrigação. Os verões mais quentes e mais longos provocarão o degelo da neve condensada e das geleiras. O descongelamento elevará o nível dos rios na primavera, mas poderá reduzi-lo no verão. A longo prazo, a menor quantidade de neve e gelo comprometerá as bacias hidrográficas. Por exemplo, no norte da Índia 500 milhões de pessoas sobrevivem dos rios Indo e Ganges, que em grande parte são alimentados pelo degelo dos glaciares⁴².

Aumento das enchentes

A evaporação mais rápida proporciona aumento da umidade no ar. O calor extra e a umidade podem gerar tempestades tropicais mais intensas. Estima-se que haverá mais chuva nas regiões costeiras, particularmente, e ao longo das rotas das tempestades. A média anual de chuvas aumentou em 10% durante o século 20. Alguns modelos climáticos presumem que tempestades inesperadas na várzea do Mississipi, por exemplo, tendem a deixar esse rio ainda mais propenso a enchentes. O Caribe, o sudeste da Ásia e outras regiões já suscetíveis a furacões e ciclones passam a ter maior chance de ventos ainda mais fortes, chuvas mais pesadas e enchentes. Partes do sistema de monções da Ásia podem ser ainda mais intensas. Mas a monção também será menos previsível e até mais frequente. Com maior quantidade de calor na atmosfera tropical e no oceano, o El Niño terá condições de se tornar um evento quase permanente.

As mudanças hidrológicas são bastante consistentes com o aquecimento. A precipitação varia muito localmente, mas tem aumentado em várias regiões do mundo, incluindo o leste das Américas do Norte e do Sul, o norte da Europa e o norte e o centro da Ásia. Por outro lado, secas têm sido observadas no Sahel, Mediterrâneo, sul da África e partes do sul da Ásia. A salinidade oceânica pode agir como um grande calibrador de chuva. Águas próximas da superfície dos oceanos têm estado em geral, menos salgadas em latitudes médias e altas, enquanto em latitudes mais baixas têm apresentado maior salinidade, em conformidade com as mudanças nos padrões de precipitação em larga escala.

⁴¹ Veja explicação do funcionamento do Psicrômetro no Apêndice II

⁴² Glaciar: grande massa de gelo que se forma nas montanhas, proveniente da transformação da neve ou da água em gelo.

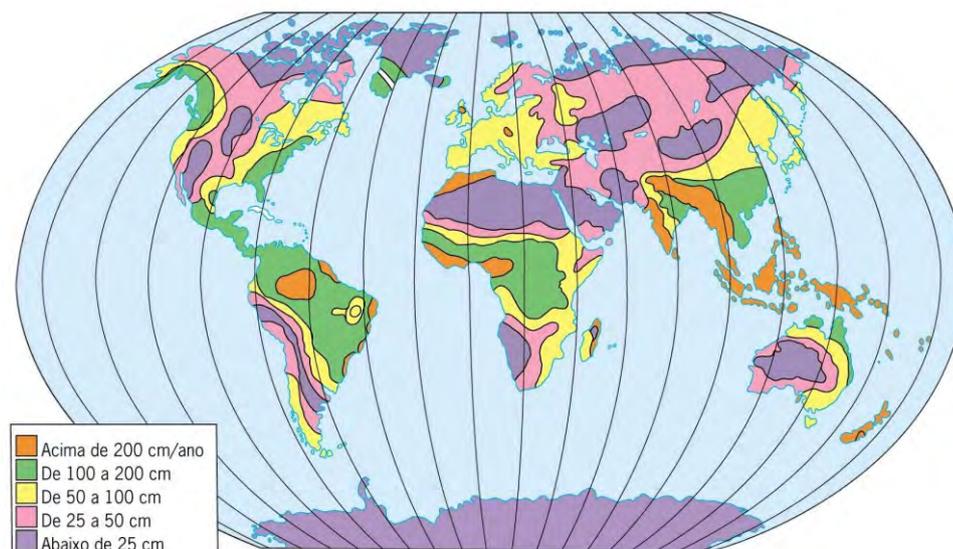


Figura 5.5 Média de precipitação no Globo Terrestre

Fonte: César & Sezar

Precipitação e migração das espécies

As mudanças climáticas surgem como um estresse inevitável à medida que as espécies começam a mudar seus habitats, e os padrões alterados de temperatura e precipitação começam a influenciar as dinâmicas dos sistemas locais. Ainda não se sabe até que ponto os ecossistemas podem mudar, não só porque o fazem muito mais rápido que o ritmo ecológico normal, mas porque têm pouco espaço para mudar. As regiões vizinhas das áreas protegidas e costeiras já estão ocupadas, e no extremo norte e no alto das montanhas não há mais para onde ir.

5.2 Desertificação

Deserto é uma área onde a evaporação excede a precipitação. Durante o dia, o sol escaldante aquece o chão. À noite, grande parte do calor armazenado no solo irradia-se para a atmosfera. A presença de umidade no ar diminui o aquecimento durante o dia, uma vez que parte da energia é gasta na evaporação das gotículas de água. De forma semelhante, durante a noite o resfriamento é diminuído pela liberação do calor de condensação do vapor d'água, que poderá se precipitar na forma de "sereno" e orvalho. O que não acontece no deserto, onde os solos têm pouca vegetação e o ar é muito seco, ou seja, possui baixa umidade o que não ajuda a manter o calor. Isso explica porque nesses lugares podemos "tostar" durante o dia e tremer de frio à noite.

Mais seca

Com aumento das temperaturas, um desequilíbrio entre evaporação e precipitação pode causar grandes secas durante o próximo século. Assim, desertos poderão aumentar, oásis poderão morrer e fluxo de rios, diminuir, algumas vezes com resultados catastróficos. Ninguém pode prever com precisão o futuro dos rios, mas estima-se um declínio de 40% no fluxo do rio Indo, a única fonte de água do Paquistão e um dos maiores sistemas de irrigação do mundo. Há chances de uma perda de 30% no fluxo do rio Niger, que banha cinco países

áridos no oeste da África, assim como uma queda de 10% no Nilo, a água vital do Egito e do Sudão.

A Ásia Central pode esperar um declínio ainda mais drástico nos rios que escoam no mar de Aral, que já está virtualmente secando por causa da irrigação, daí sua salinidade ter triplicado ocasionando o fim da pesca. O mar de Aral já foi o quarto maior mar interno do mundo. E o aquecimento global pode fazer esse cenário ficar ainda pior.

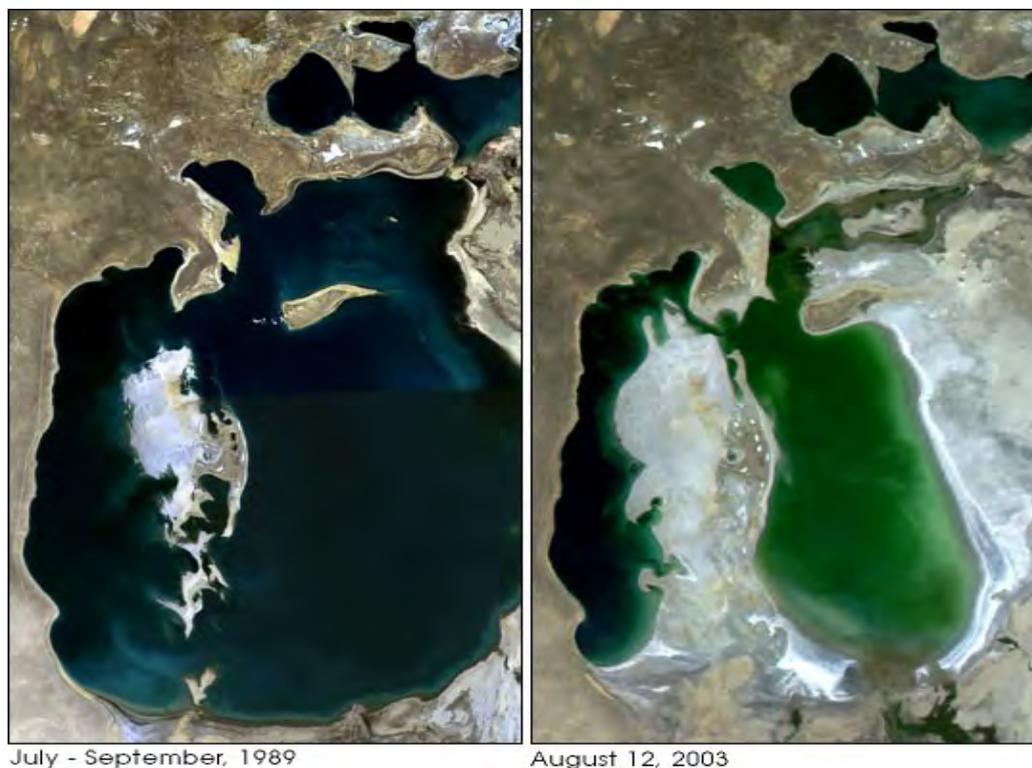


Figura 5.6 Comparação do Mar de Aral em 1989 e em 12 de agosto de 2003
Fonte: Wikipédia

Outros mares em risco incluem o Cáspio, o Grande Lago Salgado, nos Estados Unidos, e os lagos Chade, Tanganica e Malauí, na África. Modelos climáticos indicam também a probabilidade de ocorrer mais secas na Europa, na América do Norte, no centro e no oeste da Austrália. Alguns rios australianos poderiam perder metade de seu fluxo, enquanto o Outback (Sertão Australiano) se tornaria ainda mais seco.

Atualmente, 1,7 bilhões de pessoas vivem em países que os hidrólogos descrevem como sob estresse hídrico, porque usam mais de 1/5 de toda a água teoricamente disponível. Estima-se que esse número irá subir para 5 bilhões em 2025. Esse cenário aumenta o espectro de guerra, levando países a lutarem pelo controle do mais precioso de todos os recursos, a água.

O deserto que era verde

Com a diminuição da chuva na maior parte do oeste da África, o deserto do Saara está se expandindo. Entretanto pinturas em rochas mostram que, no passado, o Saara foi uma região de criação de gado. Pólen fossilizado também revela que lá existiam florestas, rios e lagos. O Saara se transformou em deserto em poucas décadas, há cerca de 5.500 anos.

Savanização da Amazônia

Quando somamos ao aquecimento global as alterações na vegetação como desmatamentos das florestas tropicais e dos cerrados do país, é certo que os ecossistemas sofrerão. De acordo com modelos computacionais, se prevê um aumento na área de savanas na América do Sul e uma diminuição da área de caatinga no semi-árido do nordeste do Brasil. Em termos simples, o aquecimento induz uma maior evapotranspiração, reduzindo a água no solo, mesmo que as chuvas não diminuam tanto. Esse fator pode desencadear a substituição dos biomas existentes hoje, por outros mais adaptados a climas de menor disponibilidade hídrica: savanas substituindo florestas, caatinga substituindo savanas e semideserto substituindo caatinga. (NOBRE, 2005)

5.3 Dilatação volumétrica do mar

Quando há uma variação de temperatura em uma substância, sólida ou líquida, suas dimensões também sofrem variações. A propriedade que caracteriza essa variação é denominada coeficiente de dilatação volumétrica. Que pode ser entendido como a variação de volume que um objeto de volume unitário sofre quando sua temperatura varia de 1°C. Quando nos interessa saber a dilatação linear, seu comprimento, utilizamos o coeficiente de dilatação volumétrico dividido por três (1/3). Se estivermos interessados em saber a dilatação de sua superfície utilizamos 2/3 do coeficiente de dilatação volumétrica. A variação de volume de um sólido ou líquido de acordo com a variação de temperatura é dada por:

$$\Delta V = V\beta \Delta T,$$

onde β é o coeficiente de dilatação volumétrica. E, como já dissemos, esse coeficiente de dilatação volumétrica (β) está relacionado com o coeficiente de dilatação linear (α), ou de comprimento, por:

$$\beta = 3\alpha$$

Em geral, a redução da temperatura de um objeto provoca a diminuição do seu volume, exceção feita aos compostos de algumas substâncias, entre elas a água, que no intervalo de 4°C a 0°C aumenta o volume, ao invés de diminuir.

Após passar pelo processo de fusão, a água entre 0°C e 4°C apresenta um aumento de densidade. Isso ocorre porque as moléculas da rede cristalina do gelo têm uma estrutura que possui grandes cavidades vazias, como ilustra a figura a seguir.

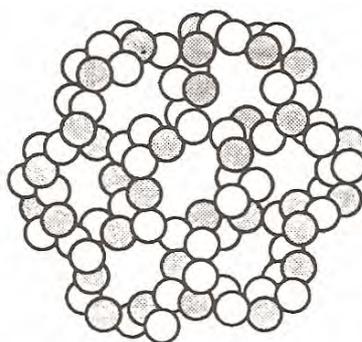


Figura 5.7 Representação plana da rede cristalina do gelo
Fonte: GREF, 2005

Durante a fusão, a velocidade de vibração das moléculas e a distância intermolecular aumentam. Assim que a estrutura do cristal se rompe, as moléculas preenchem as cavidades vazias e, já no estado líquido, o volume total diminui, o que explica por que a água líquida é mais densa que o gelo.

Este comportamento da água é a razão pela qual os lagos se congelam de cima para baixo, em vez de se congelarem de baixo para cima. Quando a água na superfície é resfriada de, digamos, 10°C em direção ao ponto de congelamento, ela se torna mais densa (“mais pesada”) do que a água que está abaixo e vai para o fundo. Abaixo de 4°C, no entanto, o resfriamento adicional faz com que a água que se encontra sobre a superfície fique menos densa (“mais leve”) do que a água que se encontra abaixo, portanto ela permanece na superfície até se congelar. Assim, a superfície se congela, enquanto a água abaixo dela ainda está líquida. Se os lagos congelassem do fundo para cima, o gelo formado desta forma tenderia a não se derreter completamente durante o verão, pois ele estaria isolado pela água acima dele. Após alguns anos, muitos corpos d’água abertos nas zonas temperadas da Terra seriam sólidos congelados o ano inteiro e a vida aquática como a conhecemos não poderia existir. (HALLIDAY, 2002)

Elevação Nível dos oceanos

Estima-se que o oceano já absorveu mais de 80% do calor adicionado ao sistema climático pelo aquecimento global, esse calor é um dos principais responsáveis pela elevação do nível do mar. Essa elevação ocorre devido à expansão, ou dilatação, térmica da água dos oceanos. Desde 1993, as observações por satélite permitiram cálculos mais precisos da elevação global do nível dos oceanos, agora estimada em $3,1 \text{ mm} \pm 0,7 \text{ mm}$ por ano no período de 1993 a 2003. As estimativas de elevação do nível do mar devido à expansão térmica durante o século 21 variam entre 30 cm e 40 cm, o que depende das emissões de gases estufa. Cerca de 60% do aumento é causado pela expansão térmica da água do oceano, o restante fica por conta do derretimento das massas de gelo superficiais. Embora a compreensão científica desses efeitos seja muito limitada, eles poderiam representar de 10 cm a 20 cm a mais no aumento do nível do mar, e a possibilidade de que ocorram elevações significativamente maiores não está descartada. (COLLINS, 2007)

A elevação do nível médio do mar em 1 m, o limite máximo estimado para os próximos 100 anos, implica consequências terríveis em muitas comunidades litorâneas. As ilhas Maldivas, no oceano Índico, seriam completamente inundadas, assim como alguns arquipélagos do Caribe e do Pacífico. Em todo o mundo, valiosas terras produtivas desapareceriam e cidades estariam ameaçadas. Comunidades litorâneas ficariam expostas a fortes ressacas, que podem elevar em mais de 5 m o nível médio do mar. A água salgada que invade o leito dos rios e penetra nos aquíferos de água doce, contamina as reservas de água potável em todo o mundo ameaçando a sobrevivência de muitas comunidades. A elevação do nível do mar pode ser ainda mais grave. Se a camada de neve da Groenlândia derreter, estima-se que o mar subirá em média 7 m. Se os mantos de gelo que revestem o oeste da Antártida, que estão assentados sobre as rochas submarinas, derreterem o mar poderá subir até 5 m. Hoje, a probabilidade de que esses mantos de gelo desapareçam nos próximos séculos é baixa. Mas se o aquecimento global ultrapassar 3°C, esses cenários se tomarão cada vez mais prováveis e as consequências serão catastróficas para todos. (DOW, 2007)

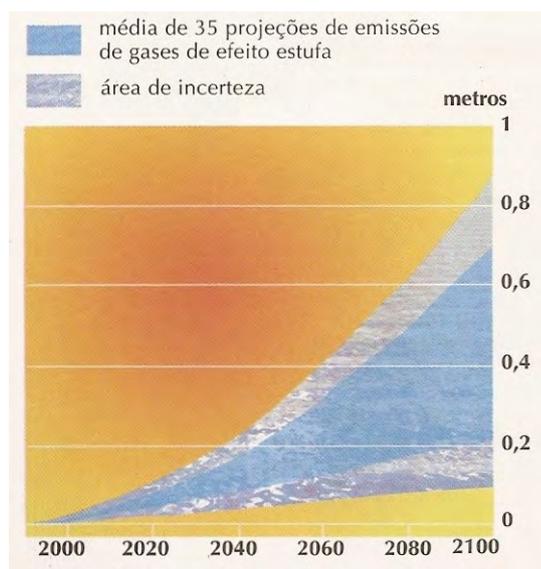


Figura 5.8 Projeção de elevação do nível do mar 1990-2100. As estimativas de elevação do nível do mar variam devido a projeções divergentes nas emissões dos gases de efeito estufa, nos modelos de oceanos e climas e nas hipóteses sobre o degelo.

Fonte: Dow, 2007

Por outro lado, o aquecimento global poderia tanto frear como acelerar a elevação do nível oceânico. O ar mais quente, que contém mais umidade que o ar frio, aumenta a evaporação dos oceanos. À medida que o aquecimento global aumenta, mais água do mar, evaporada das zonas temperadas, poderia ser levada às zonas polares, onde cairia como neve. Este processo seria reforçado se o aquecimento global pudesse derreter quantidades significativas de gelo marinho e expor uma maior superfície oceânica à atmosfera. Teoricamente, a água do mar poderia ser preservada como neve mais depressa que seu retorno ao mar como escoamento de água doce ou como icebergs, minimizando parte da elevação do nível oceânico. O problema é que o aquecimento global pode causar a fusão ou ruptura mais rápida do gelo terrestre. O efeito último desse aquecimento sobre as capas de gelo depende de qual processo predominará.

5.4 Degelo nos Pólos

O IPCC calcula que o derretimento das camadas polares pode fazer com que os oceanos se elevem entre 18 cm e 58 cm até 2100, fazendo desaparecer pequenas ilhas e obrigando centenas de milhares de pessoas a engrossar o fluxo dos chamados “refugiados ambientais” – pessoas que são obrigadas a deixar o local onde vivem em consequência de impactos ambientais.

Não é preciso que o gelo derreta para fazer o nível dos oceanos subir. Caso o gelo que fica sobre as plataformas continentais, ou seja, sobre a terra derreter ou simplesmente se deslocar para o mar, toda a parte submersa deslocará um volume de água correspondente acarretando aumento no nível dos oceanos. Por outro lado, muitos pensam que se as camadas de gelo flutuante, como icebergs, derreterem haverá aumento do nível oceânico, entretanto o volume deslocado por esses icebergs já estão contabilizados no nível oceânico atual. Tudo isso pode ser explicado facilmente pelo princípio de Arquimedes⁴³.

⁴³ Veja o cálculo, no Apêndice I, do volume do gelo deslocado por um iceberg conforme o Princípio de Arquimedes.



Figura 5.9 ICEBERG FLUTUANTE esconde seu verdadeiro tamanho quando visto de cima; 90% de sua massa está submersa.

Fonte: Bindschadler, 2003

Estima-se que 2% de toda a água da terra é congelada. Esta água representa cerca de 80% de toda a água doce disponível na Terra. Por causa da sua baixa condutividade térmica, o gelo e a neve constituem excelentes isolantes, reduzindo assim a quantidade de calor trocada entre terra e oceanos e a atmosfera subjacente. Por isso, a redução do gelo marinho aumenta a absorção de calor pelo oceano e o fluxo de calor entre o oceano e a atmosfera, o que também pode afetar a camada de nuvens e as precipitações. Além disso, precisamos somar a contribuição das alterações do albedo conforme a proporção de área coberta por gelo⁴⁴.

O congelamento da água tende a aumentar a salinidade das camadas superficiais do oceano pela remoção de água doce das camadas de superfície. Já o efeito contrário, o derretimento da neve e do gelo, faz diminuir a salinidade das camadas superficiais. Isto nos apresenta um fenômeno físico-químico que influencia diretamente o mecanismo de circulação oceânica, a mistura de sal no gelo.

Ao colocarmos sal no gelo, estamos abaixando sua temperatura de fusão, ou seja, possibilitando que ele derreta mesmo estando abaixo de 0°C, abaixo do ponto normal de congelamento da água. Isso ocorre porque a dissolução do sal na água é um processo que absorve energia, provocando uma queda significativa da temperatura da solução. Com isso, a temperatura de solidificação da solução também diminui, podendo permanecer no estado líquido até a temperatura de -21°C. Uma solução com 10% de sal congela a -6°C, e uma solução com 20% de sal congela a -16°C. Por isso, nos países frios, costuma-se jogar sal pelas ruas e calçadas para derreter a neve. O caminho inverso, ou seja, congelar água sem precisar de freezer também é simples. Acontece quando colocamos um recipiente com água em um meio com temperatura abaixo de zero, por exemplo, em nossa mistura de gelo e sal que está líquida, mas abaixo de 0° C.

Essas mudanças na salinidade e na temperatura afetam a estabilidade do oceano e pode conduzir a mudanças na sua circulação geral.

⁴⁴ Conforme foi citado no cap 2 (ver nota de rodapé 20).

Também foram observadas em décadas recentes reduções substanciais na extensão do gelo marinho do Ártico desde 1978 ($2,7\% \pm 0,6\%$ por década, no verão), um aumento nas temperaturas do permafrost (solo congelado) e redução da extensão do gelo global, assim como das camadas de gelo da Groenlândia e da Antártida.

Ártico

A extensão do gelo marítimo no Ártico diminuiu por volta de 14% desde 1970. Em agosto de 2005 a crosta de gelo alcançou a sua menor espessura. Por volta de 2030 o gelo marítimo pode desaparecer nos meses de verão. A imensa área da Groenlândia é coberta por um manto de gelo de 3,2 km de profundidade em alguns pontos.



Figura 5.10 Área do manto de gelo no Ártico no verão de 1979 e 2005

Fonte: Colins, 2007

A estimativa do IPCC é de que mais de 1 bilhão de pessoas possam ficar sem água potável por conta do derretimento do gelo no topo de cordilheiras importantes como o Himalaia e os Andes. Essas cordilheiras geladas servem como “depósitos naturais” que armazenam a água da chuva e a libera gradualmente, garantindo um abastecimento constante dos rios que sustentam populações ribeirinhas.

Antártida

A Antártida está mudando, mas não de maneira uniforme. A Península antártica teve um aquecimento significativo, com mudanças visíveis ocorrendo enquanto os cientistas estudavam a fauna e a flora. O aquecimento dos oceanos está tornando as plataformas de gelo mais finas e mais fracas. E os verões mais quentes aquecem a água que escorre pelas fendas das geleiras e abre fissuras em sua base.

No leste da Antártida (parte ocidental), embora os movimentos glaciais pareçam acelerados, as mudanças são menos dramáticas do que na península. Mesmo assim, no oeste boa parte da plataforma de gelo da costa está se afinando com espantosa rapidez.



Figura 5.11 Antártida
 Fonte: Bindschadler, 2003

O derretimento do gelo marítimo flutuante, como já dito, não eleva o nível das águas do mar, deslocando praticamente o mesmo volume de água ao derreter. Por outro lado, a redução e o recuo das geleiras em terra acrescentam água aos Oceanos. Essa parte oeste, ou oriental, da Antártida aprisiona o equivalente a 3 milhões de km^3 de água doce, essa capa sozinha poderia elevar o nível dos oceanos em 5m caso se desintegrasse totalmente.

Contudo, não é nada trivial o funcionamento termodinâmico do sistema climático terrestre já que é governado por um emaranhado de processos interdependentes que resultam numa complexidade enorme. Ou seja, são tantas as variáveis e comportamentos possíveis que não podemos prever com exatidão o que de fato acontecerá, por exemplo, um aumento de pressão aqui, resulta em deslocamento de ar acolá, o vento úmido que traz chuva ou o movimento das massas de ar que podem ou não causar tempestades. Mesmo assim vejamos como a compreensão da termodinâmica nos permite enxergar com outros olhos os fenômenos naturais.

6 PROCESSOS TÉRMICOS NOS FENÔMENOS NATURAIS

A energia proveniente do sol é o que impulsiona nosso clima e as variações meteorológicas. Como vimos no capítulo anterior, a água é a única substância que pode existir nos 3 estados (sólido, líquido e gasoso) nas temperaturas e pressões existentes normalmente sobre a Terra. E ainda, suas mudanças de estado absorvem e liberam calor latente transportando energia por todo globo. Assim, calor absorvido em uma região é transportado por ventos para outros locais e liberado. Esse calor latente transportado, por sua vez, fornece a energia que alimenta tempestades ou modificações na circulação atmosférica.

Se a temperatura do ar aumenta, suas moléculas apresentam maior energia e, conseqüentemente, maior movimento. Se o ar for aquecido num recipiente fechado, sua pressão sobre as paredes internas aumentará à medida que moléculas com mais energia colidirem as paredes com mais força⁴⁵, mas a densidade do ar não se alterará. A atmosfera, contudo, não é confinada, de modo que o ar é livre para expandir-se ou contrair-se. Sua densidade, portanto, é variável. Quando o ar é aquecido, o espaçamento entre moléculas aumenta e a densidade diminui, acarretando queda de pressão no local. Esta é a origem dos ventos, pois a diferença espacial de pressão sobre a superfície do planeta origina uma força que acelera as parcelas de ar, que se movimentam dos locais de alta pressão para os de baixa.

As nuvens formam-se a partir da condensação do vapor de água existente no ar úmido na atmosfera. A condensação inicia-se quando mais moléculas de vapor de água são adicionadas ao ar já saturado, ou quando a sua temperatura diminui. As nuvens são constituídas por gotículas ou cristais de gelo que se formam em torno de núcleos de condensação microscópicos na atmosfera como partículas de poeira, sais, etc.

À noite, a superfície da Terra continua emitindo radiação e, portanto se resfria. Conseqüentemente o ar próximo a superfície também se resfria podendo ficar saturado. Um ar saturado de vapor d'água significa que a concentração de vapor d'água no ar alcançou seu limite máximo, o que permite, a partir desse ponto, a condensação da água. Se o ar está acima do ponto de congelamento, o vapor d'água pode condensar-se sobre o objeto como orvalho. Se a temperatura do ar está abaixo da temperatura de congelamento, o vapor d'água pode depositar-se como geada. Note que o orvalho e a geada não são formas de precipitação, porque eles não "caem" das nuvens, mas se desenvolvem no lugar, sobre superfícies expostas. Um fenômeno similar ocorre quando gotículas de água aparecem no lado externo de um copo com água gelada.

6.1 Correntes Atmosféricas

Devido à intensificação do efeito estufa, mais energia será disponibilizada na atmosfera e na superfície da Terra, alterando o sistema climático. Este gigantesco "motor de distribuição de calor" utiliza principalmente a circulação atmosférica e oceânica para movimentar a energia térmica e distribuí-la mais uniformemente ao redor do mundo. Quanto mais energia térmica houver, mais intensamente esse "motor" funcionará.

A maior parte da radiação solar e do aquecimento ocorre no equador, onde os raios solares incidem quase perpendiculares à superfície durante todo o ano. Os pólos recebem

⁴⁵ A pressão de um gás pode ser entendida como a força que suas partículas colidem contra uma superfície. $P = F/A$, onde p é a pressão e F é força e A é a área.

muito menos radiação devido à órbita da Terra e à sua inclinação em relação ao Sol, enquanto que as regiões temperadas apresentam temperaturas médias intermediárias.

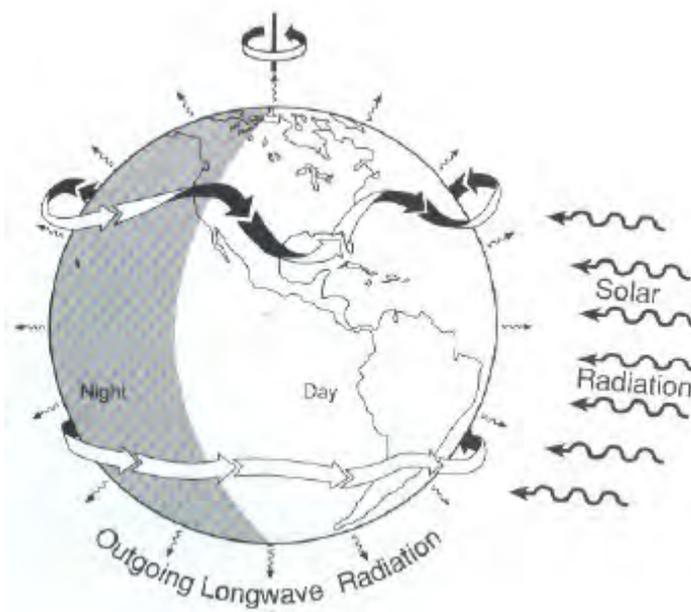


Figura 6.1 A radiação solar chega à Terra incidindo de forma mais intensa no equador. Por causa da rotação da Terra há uma melhor distribuição de calor na superfície. A figura também mostra que a Terra emite radiação de baixa frequência (infravermelho)

É importante considerarmos a rotação da Terra em torno de seu próprio eixo. Pois a velocidade relativa no equador é maior que nas regiões em direção aos pólos⁴⁶. Dessa forma, devido à força de Coriolis, as massas de ar que se movem no sentido norte-sul (ou sul-norte) são desviadas para a direita no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul. Essa força tem particular influência no movimento de objetos de grandes dimensões, como massas de ar, movendo-se durante longas distâncias. Entretanto, pequenos objetos, como os navios no mar, não têm tamanho significativo para experimentar desvios significativos na direção de seu movimento.

Outra força que influencia o movimento do ar é o atrito, ou fricção. Como o ar é um fluido, ele está submetido a essas forças que têm um efeito muito pequeno nas camadas superiores da Atmosfera, mas é relativamente importante na camada junto ao solo o que varia de acordo com a topografia e cobertura da região.

Em resumo, são três as forças que determinam a velocidade e a direção do vento horizontal: a força do gradiente⁴⁷ de pressão, a força de Coriolis e a força de atrito. O vento surge basicamente pela ação da força do gradiente de pressão. Apenas após iniciado o movimento, as forças de atrito e de Coriolis passam a atuar, mas somente para modificar o movimento, e não para produzi-lo, sendo o vento controlado pela combinação dessas forças.

Outro fator que afeta a circulação global de ar são as propriedades do ar, da água e da terra. O calor do Sol evapora a água do oceano e transfere calor do oceano para a atmosfera, em especial perto do quente equador. Além disso, as massas de ar sobre os continentes perdem calor com mais rapidez do que as sobre os oceanos. Essa propriedade cria células gigantes de convecção que circulam ar, calor e umidade, tanto verticalmente como de um lugar para outro na troposfera. Os padrões de circulação do ar terrestre, os ventos predominantes e a mistura de continentes e oceanos resultam em seis células de convecção

⁴⁶ Veja explicação detalhada no Apêndice I.

⁴⁷ Gradiente significa diferença ou taxa de variação

gigantes — três ao norte e três ao sul do equador — nas quais o ar quente e úmido sobe e o ar frio e seco desce. Isso leva a uma distribuição irregular dos climas e padrões de vegetação, como mostrado na Figura 6.2b (MILLER, 2007).

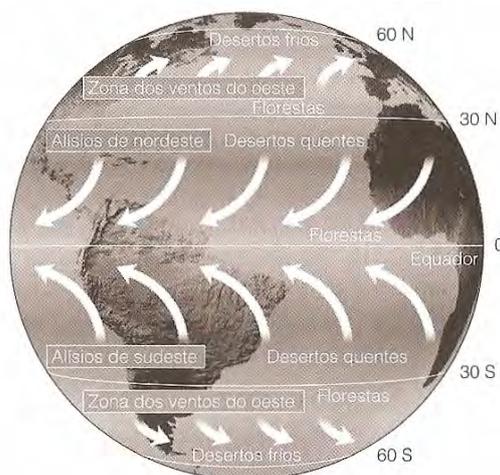


Figura 6.2a A rotação da Terra desvia o movimento do ar para diferentes partes, criando padrões globais de ventos predominantes.



Figura 6.2b O calor e a umidade são distribuídos sobre a superfície terrestre por correntes verticais, que formam seis células de convecção

Fonte: Miller, 2007

6.2 Correntes Oceânicas

As correntes oceânicas distribuem a energia do aquecimento solar. Algumas correntes são formadas, sobretudo por ventos. Outras, pelas diferenças de temperatura e pela concentração de sal nos oceanos. Essas correntes tendem a fluir, em sentido horário, entre os continentes no hemisfério norte e, em sentido anti-horário, no hemisfério sul (Figura 6.3). Conduzidas pelos ventos e pela rotação da Terra, elas redistribuem o calor recebido do Sol de um lugar para outro, influenciando, assim, o clima e a vegetação, principalmente nas áreas próximas à região costeira.

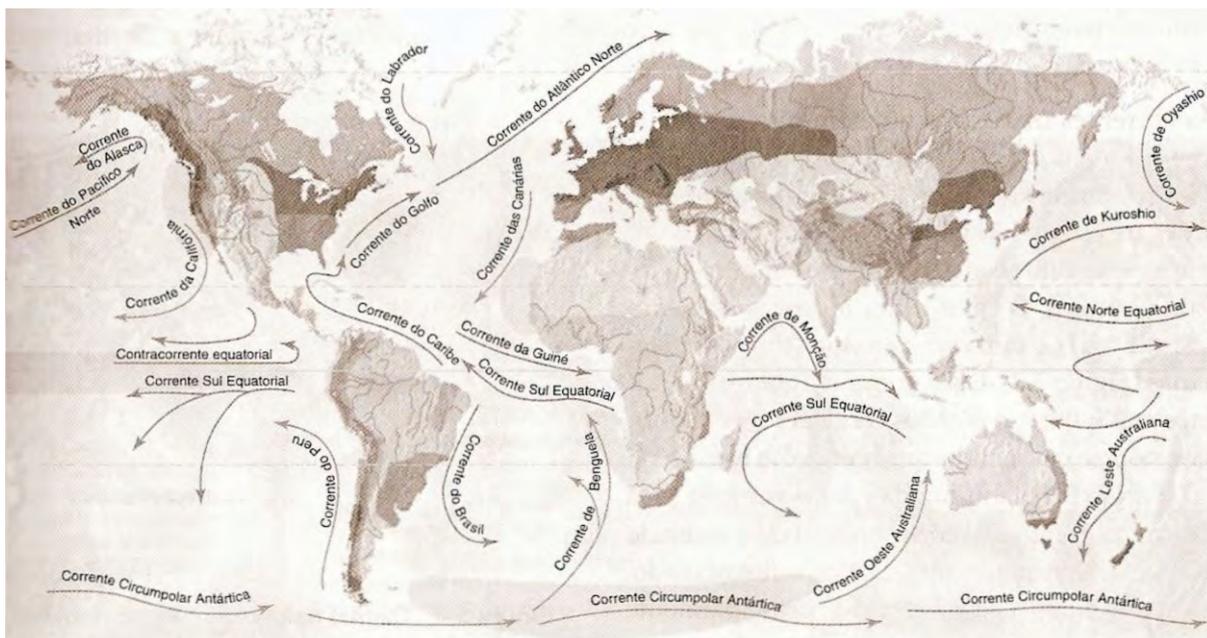


Figura 6.3 Mapa das principais correntes marítimas

Fonte: Miller, 2007

A água se mistura naturalmente para distribuir sal e calor de modo uniforme. A circulação ocorre quando a água mais densa, mais fria e mais salgada, desce e a água menos densa, portanto mais quente e menos salgada, sobe para a superfície. Esta é a “circulação termo-halina”. Se as mudanças climáticas resultarem num aquecimento das águas polares e/ou diminuírem a salinidade pelo aumento de água doce do descongelamento das geleiras, a diferença na densidade da água diminuirá e o padrão de circulação poderá se tornar mais lento e até parar.

A corrente quente do Golfo, por exemplo, transporta 25 vezes mais água do que todos os rios do mundo juntos. Sem essa circulação, que leva calor do equador em direção ao norte, o clima do noroeste europeu seria subártico ou até ártico. Assim, a Europa desfruta de uma temperatura média anual de 5 a 7°C mais alta que outras regiões de mesma latitude como, por exemplo, o Canadá. Se houvesse um colapso, ou um retardamento na circulação da corrente do Golfo, o volume de água quente tropical diminuiria acarretando um resfriamento nessa região. Mesmo que esse resfriamento seja compensado pelo aquecimento atmosférico, as consequências seriam muito graves.

Outro aspecto a se ressaltar é que a biodiversidade marinha é influenciada pelas circulações que ocorrem no oceano. O fenômeno da ressurgência consiste na subida de águas profundas, muitas vezes ricas em nutrientes, para regiões menos profundas do oceano, fornecendo alimento a peixes e outros organismos marinhos. O que ajuda a sustentar comunidades pesqueiras das regiões onde ocorre tal fenômeno.

6.3 Fenômenos Naturais

A hidrosfera e a atmosfera interagem entre si e estabelecem um equilíbrio térmico dinâmico entre água e ar. Quando o equilíbrio é alterado aumenta a probabilidade de ocorrerem fenômenos climáticos de grande alcance e impactos imprevisíveis, como o El Niño e La Niña no Oceano Pacífico, e os temíveis Tornados e Furacões.

El Niño e La Niña

O El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico de ocorrência irregular, mas que geralmente ocorre com frequência de 3 a 5 anos. Ficam evidentes durante a estação de Natal (El Niño faz alusão ao menino Jesus). É caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento em escala mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao El Niño, e se caracteriza por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical. Alguns dos impactos de La Niña tendem a ser opostos aos de El Niño, ou seja, alguns lugares apresentam secas quando na presença de EL Niño e aumento na quantidade de chuvas quando da presença de La Niña. Veja a figura abaixo.

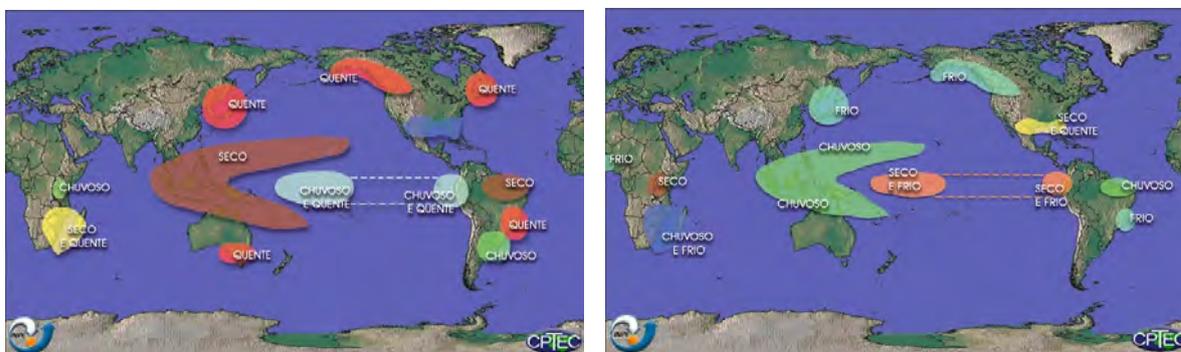


Figura 6.4 Impactos do El Niño de dezembro a fevereiro (esquerda) e Impactos da La Niña de dezembro a fevereiro (direita)

Fonte: INPE

Com as alterações climáticas provocadas pelo aquecimento global, fenômenos como o El Niño e La Niña podem se tornar mais intensos e frequentes, provocando secas severas no norte e nordeste, e chuvas torrenciais no sudeste do Brasil. Eles são responsáveis por secas e inundações atípicas que atingem periodicamente dezenas de países.

Tornados

Se você já viu um redemoinho na sua banheira, pia ou vaso sanitário quando a água está descendo pelo ralo, então já viu os princípios básicos de um tornado em ação. O redemoinho do ralo, também conhecido como turbilhão, se forma por causa da corrente descendente que o ralo cria na massa de água. O fluxo descendente da água no ralo começa a girar e, à medida que a rotação acelera, o turbilhão se forma.



Figura 6.5 Turbilhão
Fonte: HowStuffWorks.



Figura 6.6 Tornado
Fonte: NOAA

Esse turbilhão de ar embaixo de uma nuvem de tempestade constitui um tornado. São comuns tornados com ventos com velocidade de 320 a 480 km/h. Eles são classificados em uma escala conforme os danos provocados e podem atingir 10 km de altura e 200 m de diâmetro.

Em um tornado não há escoamento. Em lugar disso, há uma nuvem de tempestade capaz de acumular uma quantidade enorme de energia. Dependendo das condições atmosféricas, essa energia cria um imenso movimento de ar ascendente dentro da nuvem.

As nuvens são formadas quando o vapor d'água se condensa no ar. Esta alteração no estado físico da água libera calor. Uma boa parte da energia de uma tempestade é resultado da condensação que forma a nuvem. Para cada grama de água condensada, cerca de 600 calorias de calor se tornam disponíveis. Quando a água se congela na parte superior da nuvem, outras 80 calorias por grama de água são liberadas. Esta energia aumenta a temperatura do ar ascendente e parte é convertida em energia cinética de movimento de ar ascendente e descendente. Daí estão formadas as condições propícias para a formação de um tornado.

A maioria dos tornados ocorre em áreas descampadas. Esse fenômeno está associado à umidade, ao aquecimento característico da primavera e do verão, e à variação de temperatura associada a essas estações do ano. Por isso, os tornados originam-se em zonas agrícolas, conforme o mapa.



Figura 6.7 Mapa Global da ocorrência de tornados
Fonte: Yamasaki, 2007

Furacões

Todos os anos, entre 1º de junho e 30 de novembro (período chamado de temporada de furacões), os furacões ameaçam as costas leste e do golfo dos Estados Unidos, México, América Central e Caribe. Em outras partes do mundo, os mesmos tipos de tempestades são chamados de tufões, quando tem sua origem no oceano pacífico, ou ciclones quando se formam no oceano Índico. Os furacões espalham destruição quando atingem a terra e podem matar milhares de pessoas, além de causar grandes prejuízos quando atingem áreas populosas.



Figura 6.8 Composição de três vistas do furacão Andrew nos dias 23, 24 e 25 de agosto de 1992, à medida que atravessava o sul da Flórida de leste para oeste
Fonte NASA

Os furacões se formam em regiões tropicais onde há água aquecida (no mínimo 27°C), ventos convergentes, ou seja, ventos em direções opostas, somando condições de altas temperaturas e umidade atmosférica.

Para que furacões se formem é necessário que ocorram três eventos:

1. Um ciclo de evaporação-condensação prolongado, de ar oceânico quente e úmido;
2. Padrões de ventos caracterizados por ventos convergentes na superfície, ventos fortes e de velocidade uniforme em maiores altitudes;
3. Uma diferença de pressão do ar (gradiente de pressão) entre a superfície e a grande altitude.

O ar quente e úmido proveniente da superfície do oceano começa a se elevar rapidamente. À medida que esse ar quente se eleva, seu vapor d'água se condensa para formar nuvens de tempestade e gotas de chuva. A condensação libera calor latente de condensação. Esse calor latente aquece o ar frio nas alturas, fazendo com que ele suba. Esse ar que se eleva é substituído por mais ar quente e úmido proveniente do oceano abaixo. Esse ciclo continua, arrastando mais ar quente e úmido para a tempestade que se desenvolve movendo continuamente calor da superfície para a atmosfera. Essa troca térmica proveniente da

superfície cria um padrão de vento que circula ao redor de um centro. Essa circulação é similar àquela da água que escoar por um ralo.

Ventos convergentes na superfície colidem e empurram o ar quente e úmido para cima. Esse ar ascendente se soma ao ar que já está subindo da superfície, de modo que a circulação e as velocidades dos ventos da tempestade aumentam. Nesse meio tempo, os fortes ventos que sopram em velocidades uniformes nas altitudes mais elevadas (até 9 mil metros) ajudam a remover o ar quente ascendente do centro da tempestade, o que sustenta o movimento contínuo do ar quente proveniente da superfície e mantém a tempestade estruturada. Se os ventos de grande altitude não soprarem na mesma velocidade em todos os níveis, a tempestade perderá a estrutura e se enfraquecerá.

Os furacões no Hemisfério Norte giram no sentido anti-horário (de oeste para leste) e se movem no oceano no sentido de leste para oeste. No Hemisfério Sul, os furacões giram no sentido horário (de leste para oeste) e se movem no sentido de oeste para leste. Estes movimentos são influenciados pela força de Coriolis⁴⁸, sendo causados pela rotação da Terra.

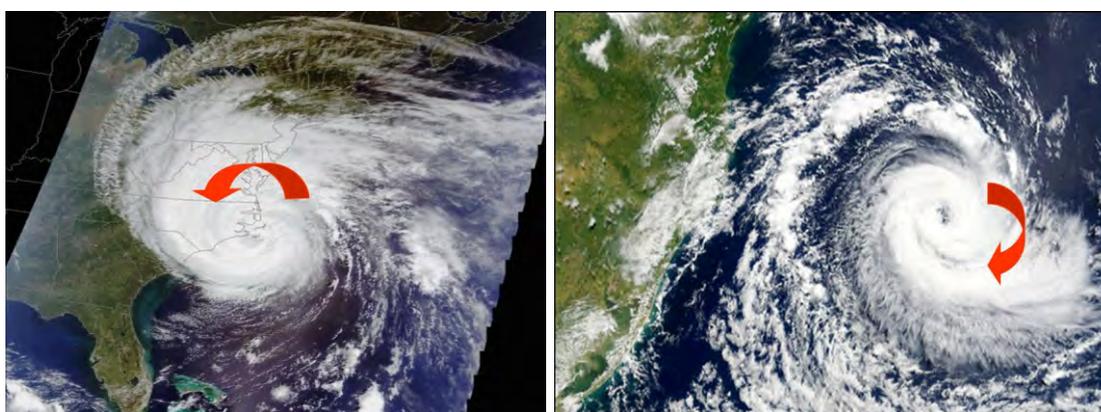


Figura 6.9 Furacão Isabel (Atlântico Norte) – observe o seu sentido anti-horário. Ciclone Catarina (Atlântico Sul) – observe o seu sentido horário.

Fonte: NASA

Ao atingir a zona continental, o furacão se move mais lentamente. Mas produz grande destruição ao passar por zonas habitadas. Eles desaparecem de forma gradual sobre terra firme por falta de vapor d'água para alimentar o fluxo de energia da tempestade que o originou. Antes disso, porém, deixam um rastro de mortes e destruição.

Os furacões recebem uma classificação em uma escala denominada Saffir-Simpson conforme os danos que causam.

Tabela 6-1 Classificação dos Furacões

CLASSIFICAÇÃO CONFORME OS DANOS			
Categoria Saffir-Simpson			
	Dano	Velocidade (Km/h)	Maré (m)
CLASSE 1	Mínimo	119 a 153	1,2 a 1,5
CLASSE 2	Moderado	154 a 177	1,8 a 2,4
CLASSE 3	Extenso	178 a 209	2,7 a 3,6
CLASSE 4	Extremo	210 a 250	3,9 a 5,4
CLASSE 5	Catastrófico	Mais de 250	Mais de 5,4

⁴⁸ Uma explicação mais detalhada sobre a força de Coriolis pode ser encontrada no Apêndice I.

Temperaturas mais altas e vapor d'água na atmosfera dos oceanos tropicais são condições propícias para ciclones, furacões e tufões. Segundo o último relatório do IPCC publicado em 2007, é provável que, com os aumentos atuais de temperatura da superfície dos mares tropicais, os futuros ciclones tropicais (tufões e furacões) fiquem mais intensos, com maiores picos de velocidade de ventos e precipitação mais forte. Nos últimos 30 anos, foi constatado um aumento do número de ciclones de categorias 4 e 5, acompanhados de ventos de mais de 200 km/h. Assim, podemos concluir que o aquecimento global contribui significativamente para gerar condições propícias para um aumento da frequência e intensidade de diversos fenômenos naturais.

6.4 A Segunda Lei da Termodinâmica

Quem nunca ouviu a expressão, inspirada nas idéias de Lavoisier, “na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”? Essa expressão resume o princípio da 1ª lei da termodinâmica, porém, tais transformações têm sentidos para ocorrer. As transformações ditas reversíveis são aquelas que se pode efetuar em ambos sentidos, ou seja, o sistema pode retornar ao estado inicial, passando pelos mesmos estados intermediários, sem que ocorram variações definitivas nos corpos que o rodeia. Exemplos de transformações reversíveis são ideais, como as puramente mecânicas, que se realizam sem atritos e sem se produzir choques inelásticos. Uma mola pode se deformar e transferir sua energia elástica para um corpo em movimento, da mesma forma pode ocorrer o movimento contrário, ou seja, um corpo com energia cinética transferir energia para a mola, lembremos que é ideal, pois consideramos que não há atrito. Por outro lado, se houver perdas de energia pelo atrito, o estado inicial não poderá ser atingido a menos que se acrescente energia externa para completar o que foi perdido pelo atrito.

Uma transformação é dita irreversível quando sua inversa só puder se efetuar como parte de um processo que envolve modificações nos corpos circundantes, ou seja, que necessite de energia externa para voltar ao estado inicial.

Enfim, na natureza as transformações são todas irreversíveis. Por exemplo, o fluxo de calor de um corpo quente para outro frio, ocorre espontaneamente, mas o sentido contrário, mais calor ser retirado de um corpo para outro ambiente mais quente, como numa geladeira, necessita de energia externa (energia elétrica) para que isso aconteça.

Máquinas Térmicas

Qualquer dispositivo que transforma calor parcialmente em trabalho ou em energia mecânica denomina-se máquina térmica. Nossa sociedade tecnológica utiliza dessas máquinas há algum tempo, como as máquinas a vapor do século XVIII, os motores de automóveis, etc. Apesar dos diferentes tipos de máquinas térmicas, elas têm características comuns como: uma fonte quente, de onde recebem calor, que pode ter origens de reatores nucleares, da queima de combustíveis fósseis, etc.; convertem parte desse calor recebido em trabalho; outra parte do calor é desperdiçada e lançada no que chamamos de fonte fria; elas têm uma substância de trabalho, água no caso da máquina a vapor; e por último, funcionam em um processo cíclico, ou seja, sofre uma sequência de processos que fazem a substância retornar ao seu estado inicial.

Quando a energia muda de uma forma para outra através de transformações realizadas por “máquinas térmicas” (locomotiva a vapor, veículos automotores, etc.), decisivas na industrialização moderna, ocorre uma diminuição na capacidade da energia realizar trabalho

útil, ou seja, há uma limitação natural insuperável na conversão de energia em trabalho. Parte daquela energia disponível não é convertida em trabalho, mas sim perdida ou dissipada no ambiente na forma de calor.

A Segunda Lei da Termodinâmica enuncia que: “É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclos periódicos, transforme todo calor recebido em trabalho”.

Estudando essas máquinas, Carnot⁴⁹, evidenciou que uma diferença de temperatura era tão importante para uma máquina térmica quanto uma diferença de nível d’água para uma máquina hidráulica. Então, estabeleceu que para que uma máquina térmica consiga converter calor em trabalho, de modo contínuo, deve operar em ciclo entre duas fontes térmicas, uma quente (T_1) e outra fria (T_2): retira calor da fonte quente (Q_1), converte-o parcialmente em trabalho (W) e o restante (Q_2) se perde para a fonte fria.

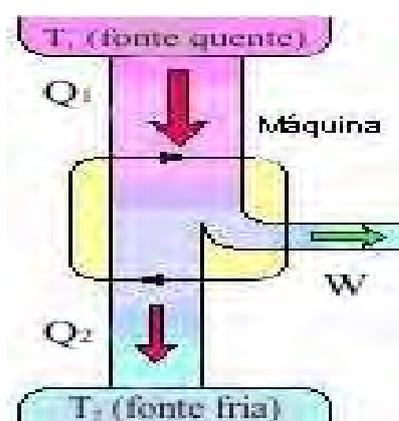


Figura 6.10 Esquema de uma máquina Térmica

Rendimento ou eficiência de tais máquinas térmicas é definido pela razão entre o trabalho produzido e o calor fornecido ao sistema. E pela Primeira Lei (conservação da energia):

$$\eta = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia Total}} = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Ciclo de Carnot

A descoberta da segunda lei surgiu do esforço de melhorar as máquinas térmicas, que teve origem no trabalho de Carnot, que para se alcançar a eficiência máxima de uma máquina térmica deveria se evitar as transformações irreversíveis, devido a suas inerentes perdas, e optar por um ciclo com transformações exclusivamente reversíveis. Por isso o ciclo de Carnot consta de duas transformações adiabáticas alternadas com duas transformações isotérmicas, todas reversíveis, fornecendo um ciclo também reversível. Que no sentido horário produz trabalho positivo e no anti-horário produz trabalho negativo.

⁴⁹ O engenheiro francês **Nicolas Léonard Sadi Carnot** propôs um conceito de motor térmico ideal, que utiliza energia na forma de calor para realizar trabalho, que para ter seu máximo rendimento deve operar em ciclos reversíveis.

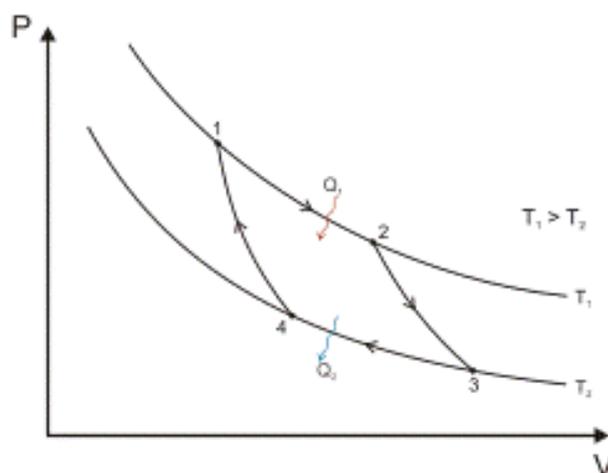


Figura 6.11 Ciclo de Carnot: 1↔2 e 3↔4 são isotérmicas; 2↔3 e 4↔1 são adiabáticas

Carnot demonstrou que, nesse ciclo, as quantidades de calor trocadas com as fontes quente e fria são proporcionais às respectivas temperaturas absolutas (temperaturas na escala Kelvin) das fontes:

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}, \text{ assim temos o rendimento } \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \text{ da seguinte forma: } \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Assim Carnot provou que essa fórmula corresponde ao máximo de rendimento que pode ser obtido por uma máquina térmica operado entre duas temperaturas T_1 (fonte quente) e T_2 (fonte fria). Outros ciclos teóricos reversíveis podem ter rendimento igual ao ciclo de Carnot, mas nunca maior. Observe outra conclusão importantíssima, o ciclo de Carnot é o máximo, nenhuma máquina térmica pode alcançar 100% ($\eta = 1$). Pois para isso deveríamos ter T_2 igual a zero absoluto, ou T_1 infinito, ambos impossíveis!

Rendimento Real

No caso de equipamentos mecânicos como alavancas e roldanas a eficiência é alta, mas em máquinas térmicas como motores a combustão, o trabalho é realizado através da transferência de calor, o que limita sua eficiência. Para se ter uma noção, o rendimento real de um motor a explosão, que funciona com gasolina, está em torno de 21% a 25%. Ou seja, nesse motor ocorrem perdas mecânicas e térmicas de 75% a 80%. As perdas térmicas se devem à troca de calor do motor com o ambiente pelo sistema de refrigeração (32%) e à energia interna dos gases de escape resultantes da explosão (35%), que são eliminados ainda a altas temperaturas. As perdas mecânicas (8%) se devem basicamente ao atrito das superfícies metálicas e à inércia do pistão.

O Sol emite muita energia e parte dela é aproveitada com baixo rendimento para “mover o mundo”. Por exemplo, a fotossíntese tem eficiência de menos de 2%, deduzimos daí a perda na transformação dessa energia em álcool, por exemplo, gastos com transporte e armazenagem, e depois uma eficiência na transformação de movimento no motor, em torno de 25%. Assim, podemos deduzir que a característica da energia útil do universo só tem uma direção: sempre diminui. A manutenção da vida requer um ingresso constante de energia para “combater” essa perda de energia útil.

Esse problema não pode ser resolvido, mesmo com a utilização de outras fontes de energia. Entretanto, podemos aproveitar melhor essa energia ou, pelo menos, substituí-la por alternativas menos poluentes. Uma simples mudança nos automóveis para que sejam movidos por motores híbridos, como de combustão interna e eletricidade, nos permite melhorar seu rendimento chegando a rodar de 34 a 128 quilômetros por litro de combustível.

Em 2002, os combustíveis fósseis representaram 79,4% do consumo total de energia no mundo. Como sabemos, o produto final da queima de combustíveis fósseis é o CO_2 , e este é um dos vilões do aquecimento global.

Por isso, caso queiramos combater a ameaça do aquecimento global, precisamos diminuir as emissões de CO_2 lançadas na atmosfera. E para isso, precisamos otimizar o uso de energia, independentemente da fonte. Além de optar por fontes de energia menos poluentes como a energia eólica, geotérmica, de marés, hídrica, de células de hidrogênio, etc.

7 ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

Nos primórdios da história da humanidade a única energia útil empregada para realizar trabalho era a força humana, por isso essa história confunde-se com a história da energia. Quando o fogo começou a ser utilizado para cozinhar, o consumo de energia aumentou. Mais tarde, o homem usaria o fogo para fundir os minerais e forjar as armas e ferramentas de trabalho. Com a domesticação dos animais, energia mecânica adicional se tornou disponível. A energia dos ventos teve papel primordial no desenvolvimento da humanidade, uma vez que tornou possível aos navegadores fazerem grandes descobertas, aventurando-se nas suas caravelas movidas pela força dos ventos. Também, adicionando energia ao trabalho agrícola, estavam as máquinas simples como as alavancas, as roldanas e os moinhos acionados pelo vento e pela água.

Contudo, o grande marco da utilização da energia pelo homem teve lugar durante o século XVIII, com a invenção da Máquina a Vapor, que deu início à era da Revolução Industrial, movidos, no princípio, por madeira e carvão. Desde então, a energia útil em larga escala começou a ser explorada. As invenções da Locomotiva e dos teares mecânicos foram umas das primeiras aplicações para o uso da energia das máquinas a vapor, em seguida vieram muitas outras como os navios movidos a vapor que contribuíram significativamente para o desenvolvimento do comércio mundial.

Na 2ª metade do século XIX iniciou-se a utilização das novas fontes de energia, petróleo e eletricidade, que foram os responsáveis por um grande salto no desenvolvimento da humanidade. Porém, esse processo de expansão econômica tem refletido uma enorme pressão sobre o meio ambiente causando diversos problemas ambientais.

Conforme elucidado no capítulo 1, o século XX começou num mundo que abrigava pouco mais de 1 bilhão de pessoas e terminou contendo 6 bilhões, e cada um desses 6 bilhões está usando, em média, quatro vezes a energia consumida por seus antepassados, cem anos antes. Em 1961, havia apenas 3 bilhões de pessoas e elas usavam apenas metade dos recursos totais que o nosso ecossistema global pode fornecer de modo sustentável. E, apenas 25 anos depois, em 1986, atingimos o limite de produção sustentável da Terra, 5 bilhões de pessoas era o máximo que o planeta podia suportar naquelas condições de consumo. Estima-se que em 2050 a população estabilize em 9 bilhões, isso implica utilização de recursos naturais, se puderem ser encontrados, equivalente a dois planetas Terra (WWF, 2006).

O desafio atual é utilizar fontes de energia que não aumentem as emissões de gases estufa, isto é um novo modelo energético para descarbonizar o planeta. Já que o uso intensivo de combustíveis fósseis a partir da Revolução Industrial nos presenteou com a intensificação do efeito estufa, o que leva ao aquecimento global.

Transformações e Fontes

A energia⁵⁰ é elemento presente no funcionamento de todos os sistemas vivos e não-vivos existentes no universo. Ela é fundamental para a realização de nossas atividades vitais, funcionamento dos aparelhos eletrodomésticos, transporte, iluminação e todos os serviços oferecidos à sociedade moderna. Por isso, ela tem enorme importância na economia mundial. Antes, apenas o ouro e as pedras preciosas eram considerados riqueza. Hoje, são os recursos energéticos que determinam a riqueza dos países.

A energia pode ser encontrada na natureza sob muitas formas e pode ser definida como a capacidade de se realizar trabalho. O trabalho, por sua vez, está relacionado ao

⁵⁰ A palavra energia tem origem no idioma grego, onde *εργος* (ergos) significa “trabalho”. Ou seja, qualquer coisa que esteja pronta para realizar trabalho, possui energia.

deslocamento de um determinado corpo pela ação de uma força. Ou seja, todo corpo com capacidade de gerar movimento é dotado de energia. (HALLIDAY, 2002)

O tema Energia nos é tão comum que já o abordamos quando falamos de radiação (energia luminosa) e calor. Dentro do conceito de energia, podemos citar a energia armazenada por um corpo devido a sua altura (energia potencial gravitacional), ou devido a sua deformação (energia potencial elástica), a energia armazenada em suas ligações químicas (energia potencial química), a energia de ligação nos núcleos atômicos (energia nuclear). Outro exemplo é a energia do movimento (energia cinética) que, no nível macroscópico, relaciona-se ao movimento dos corpos e, a nível microscópico, está associada à energia térmica.

A energia pode ser transformada de uma forma para outra. Por exemplo, os combustíveis fósseis, a biomassa e os alimentos possuem **energia química**, que é fruto das alterações ou quebras das ligações entre átomos e moléculas. Essa energia pode ser convertida em calor através da combustão, ou seja, de uma reação entre o combustível e o comburente (normalmente um gás oxidante, oxigênio) na qual, como resultado, há liberação de energia na forma de luz e calor. Numa usina termoeletrica, esse calor é utilizado para aquecer uma caldeira com água, fazendo com que o vapor d'água movimente as turbinas do gerador. As usinas nucleares aproveitam a **energia liberada da quebra das ligações nos núcleos atômicos** para aquecerem uma espécie de caldeira onde o vapor d'água também promove o movimento das turbinas. As usinas hidrelétricas aproveitam a **energia potencial gravitacional** da água para moverem suas turbinas. As usinas de vento, ou turbinas eólicas, aproveitam a **energia do movimento do vento** para moverem diretamente as turbinas do gerador. Existe também a energia das ondas ou das marés, que aproveita o **movimento das ondas ou das variações das marés** para acionar um êmbolo num cilindro que sobe e desce ativando o gerador. A energia geotérmica também pode ser aproveitada, há regiões que tem acesso ao **calor proveniente das camadas interiores de nosso planeta**, que chega a superfície em forma de vapor a alta pressão podendo ser utilizado para movimentar as turbinas de um gerador. As principais diferenças entre as formas de produção de energia vão até o gerador. A partir dele, independentemente da fonte, a rede elétrica é alimentada. Assim, a energia elétrica que consumimos depende do plano de distribuição de energia de cada região podendo ter origem nuclear, hídrica, eólica, térmica, etc. A figura, a seguir, representa um esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica, que é a fonte mais utilizada em nosso país.

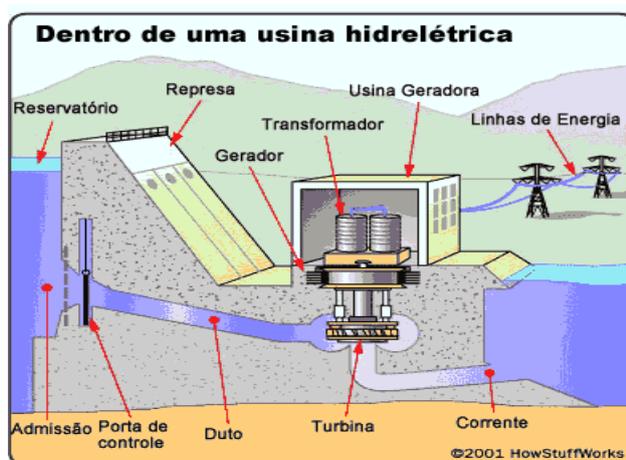


Figura 7.1 Esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica
Fonte: HowStuffWorks

Esse gerador utiliza a energia cinética das turbinas que, como já dissemos, pode ter diversas fontes para transformar tal movimento em energia elétrica. O processo básico de geração de eletricidade se dá através da rotação, dentro de espirais metálicas, de uma série de ímãs, ou eletroímãs, que são responsáveis pelo campo magnético. Neste processo, a variação temporal desse campo magnético é responsável pelo surgimento do campo elétrico, que, por sua vez, induz a corrente elétrica. Isso é possível devido a um princípio básico de física conhecido como a lei de indução de Faraday. Segundo a qual um campo elétrico é gerado na região do espaço sempre que houver uma variação temporal de um campo magnético nessa região.

A energia elétrica pode ter outras fontes que não envolvem transformação de energia térmica e energia cinética. A energia solar, além de ser utilizada para aquecimento, pode ser convertida em energia elétrica através de células fotovoltaicas. O princípio de funcionamento dessas células se baseia no efeito fotoelétrico⁵¹ que explica a emissão de elétrons quando a luz (radiação eletromagnética) atinge determinados materiais. Como no capítulo 3, a radiação interage com a matéria e, neste caso, quando a energia do fóton é suficiente para romper com a força que prende o elétron à placa, este ganha energia cinética e migra para o outro pólo, criando a corrente elétrica. Isso pode ser conseguido através da exposição dessas células fotovoltaicas à luz solar.

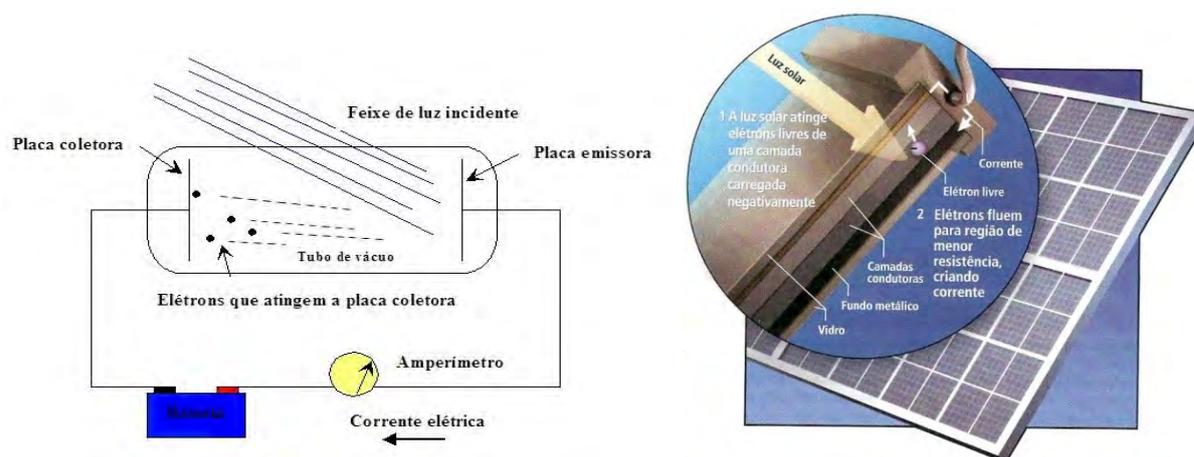


Figura 7.2 Princípio do efeito fotoelétrico gerando corrente elétrica (direita). Exemplo de funcionamento de uma placa fotovoltaica moderna (esquerda).

Fonte: Scientific American Brasil

As baterias são outro exemplo, pois convertem energia química em energia elétrica. Essas baterias, também conhecidas como pilhas, proporcionam corrente elétrica a um circuito devido a uma diferença de potencial⁵² entre seus terminais positivo e negativo. Uma bateria pode ser composta por muitas células que são combinadas em série para somar suas tensões individuais (voltagem) e alcançarem a tensão desejada para cada tipo de bateria.

O princípio de funcionamento dessas células depende do modelo de bateria. As primeiras pilhas⁵³ eram construídas por empilhamento de placas metálicas de diferentes materiais (zinco e prata, ou prata e chumbo, ou zinco e cobre) intercalados com um material poroso embebido em uma solução salina, chamado eletrólito.

⁵¹ O efeito fotoelétrico foi observado por Heinrich Hertz em 1887, mas somente explicado em 1905 por Albert Einstein

⁵² Diferença de Potencial elétrico surge de um acúmulo de cargas em relação a outro ponto.

⁵³ A primeira pilha foi inventada pelo cientista italiano Alessandro Volta em 1800.

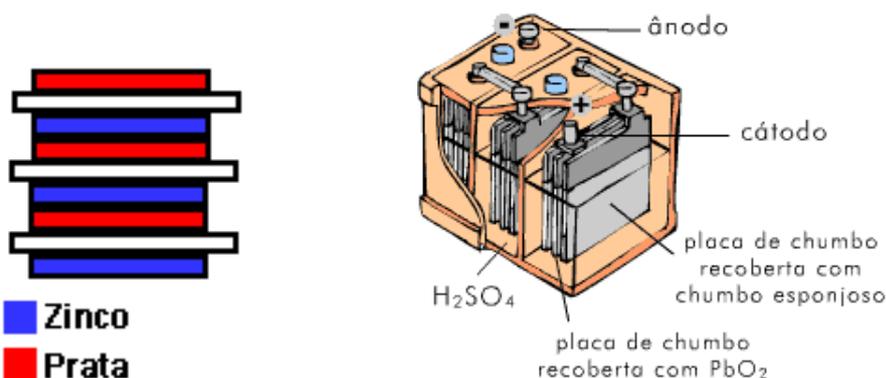


Figura 7.3 Modelo de pilha com metais intercalados sobrepostos separados pelo eletrólito (direita). Esquema de funcionamento de uma bateria de chumbo-ácido (esquerda).

Numa bateria⁵⁴ de chumbo-ácido, comumente utilizada em automóveis, existem várias células conectadas em série. Elas são compostas de dois terminais, o eletrodo positivo, feito de dióxido de chumbo (PbO_2), e o eletrodo negativo, feito de chumbo esponjoso puro, ambos imersos em um eletrólito composto de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e água. Quando os dois terminais são conectados a um circuito externo, dois elétrons no eletrodo negativo (ânodo) deixam um átomo de chumbo, que passa para a solução como íon Pb^{2+} . Estes íons positivamente carregados combinam-se aos íons sulfato (SO_4^{2-}) do eletrólito para formar sulfato de chumbo (PbSO_4). No terminal positivo (cátodo), o dióxido de chumbo (PbO_2) é convertido em sulfato de chumbo e água, usando os dois elétrons que “fluíram” através do circuito externo⁵⁵ ligados aos terminais da bateria.

De forma semelhante a uma bateria, funcionam as células a combustível que produzem corrente contínua⁵⁶ através de um processo eletroquímico. Porém, em uma bateria, os materiais que são armazenados nos eletrodos (Pb e PbO_2) são consumidos, ao passo que em uma célula a combustível os reagentes químicos são alimentados aos eletrodos na medida em que são necessários. Os dois reagentes químicos em uma célula a combustível são geralmente o hidrogênio e o oxigênio, que são alimentados à célula através dos eletrodos porosos. (HINRICHS e KLEINBACH, 2003)

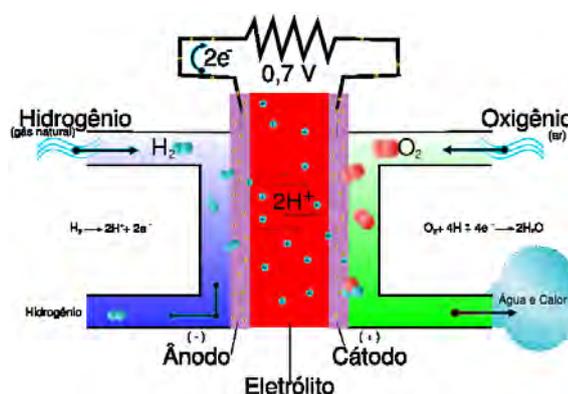


Figura 7.4 Esquema de funcionamento de uma célula a combustível
Fonte Wikipédia

⁵⁴ É muito importante que as baterias sejam recicladas, pois são normalmente compostas de metais pesados e ácidos, que causam grandes problemas ambientais e colocam em risco a saúde da população.

⁵⁵ Esse circuito externo pode ser os faróis do carro ou até outros equipamentos que funcionem com a tensão e corrente fornecidas por essas baterias.

⁵⁶ Corrente contínua (CC) é o fluxo constante e ordenado de elétrons sempre em uma direção, ou seja, não há variação no tempo. As pilhas, ou baterias, também produzem corrente contínua.

O gás combustível (hidrogênio H_2 ou gás natural, CH_4) é inserido na célula no eletrodo negativo (anodo), onde a molécula de H_2 divide-se em 2 íons de H^+ e 2 elétrons. Os íons H^+ são transportados através do eletrólito (uma membrana, geralmente hidróxido de potássio [KOH] ou ácido fosfórico) para o lado positivo. Enquanto isso, os elétrons são levados através do circuito externo (fazendo trabalho útil, como o de colocar um motor em funcionamento) e voltam para o eletrodo positivo (catodo) da célula a combustível, onde o gás oxigênio (O_2), junto com esses elétrons, reage com os 2 íons de H^+ que atravessaram a membrana, formando uma molécula de água (H_2O).

Esta reação, ocorrendo em uma única célula a combustível, produz apenas cerca de 0,7 volts. Para elevar essa tensão a um valor mais significativo, muitas células como essa, devem ser combinadas em série para formar uma bateria de células a combustível.

Essas células a combustível têm sido alvo de muitas pesquisas e investimentos, isso se deve principalmente à sua eficiência (40 a 70%), sua alta razão potência/peso, e por ser uma fonte não-poluente, pois o resultado da reação é água (H_2O). Por outro lado, por enquanto, elas ainda têm um custo elevado e durabilidade incerta.

Outra fonte de energia que está em pesquisa e reserva grandes esperanças para solução de todos os problemas de energia é a **fusão nuclear**. Os reatores nucleares em funcionamento se baseiam na **fissão**, divisão, de um núcleo atômico grande. Mas agora estamos tratando da **fusão**, união, de dois núcleos pequenos. Em ambas as reações a massa dos produtos finais é menor que a massa dos núcleos reagentes originais, essa massa perdida é convertida em energia conforme a famosa equação de energia de Einstein:

$$E = mc^2, \text{ onde } m \text{ é a massa e } c \text{ é a velocidade da luz}$$

O funcionamento de uma usina a fusão nuclear seria como o das outras, ela produziria calor e este seria aproveitado para alimentar um sistema acoplado a um gerador de eletricidade como já foi explicado.

Infelizmente essa fonte de energia não está completamente dominada, ou seja, existem muitas pesquisas, mas a solução está um pouco distante. Para que um reator a fusão funcione é preciso condições de alta temperatura e pressão. Tais condições são conseguidas no interior das estrelas devido à sua grande massa e à força gravitacional que a compacta no seu núcleo. Mas são condições tecnicamente muito difíceis de obter, pois demandam muita energia. O que tornam os atuais reatores inviáveis, pois consomem mais energia do que produzem. Contudo, os cientistas tem se esforçado para contornarem essas dificuldades propondo a fusão a frio, o que continua sendo um sonho. As vantagens da fusão são muitas: uma fonte de combustível essencialmente infinita, pois utiliza núcleos de Deutério⁵⁷, tem eficiência térmica elevada, além poucos problemas de resíduos radioativos, não há reações que possam fugir do controle e nenhum aquecimento global.

Uma questão de eficiência

Todos os processos de conversão de energia estão sujeitos a eficiência. Ou seja, a produção de energia útil, ou trabalho útil, é sempre limitada a um percentual do total de entrada de energia. Os valores de eficiência variam muito, veja tabela 7.1, e essa limitação na conversão de energia, conforme visto no capítulo 6, é explicada pelas leis da termodinâmica.

⁵⁷ O Deutério (seu núcleo tem um próton e um nêutron) é isótopo do Hidrogênio (seu núcleo tem apenas um próton) e encontra-se em abundância nos oceanos. Para se ter uma noção a fusão completa de apenas 1g de deutério (que pode ser obtido em aprox. 30L de água) irá liberar energia equivalente a 9000L de gasolina, ou ainda, seria possível suprir o consumo de uma cidade de 12000 habitantes por 1 mês!

Tabela 7.1 Eficiências de Alguns Sistemas e Esquemas de Conversão de Energia

Esquema	Eficiência
Geradores elétricos (mecânica → elétrica)	70 - 99%
Motor elétrico (elétrica → mecânica)	50 - 95%
Fornalha a gás (química → térmica)	70 - 95%
Turbina de vento (mecânica → elétrica)	35 - 50%
Usina de energia abastecida por combustível fóssil (química → térmica → mecânica → elétrica)	30 - 40%
Usina nuclear (nuclear → térmica → mecânica → elétrica)	30 - 35%
Motor de automóvel (química → térmica → mecânica)	20 - 30%
Lâmpada fluorescente (elétrica → luminosa)	20%
Lâmpada incandescente (elétrica → luminosa)	5%
Célula solar (luminosa → elétrica)	5 - 28%

Fonte: Hinrichs e Kleinbach, 2003 p. 69

No caso de processos com diversas etapas, a eficiência geral será multiplicada. Veja figura 7.5 abaixo.

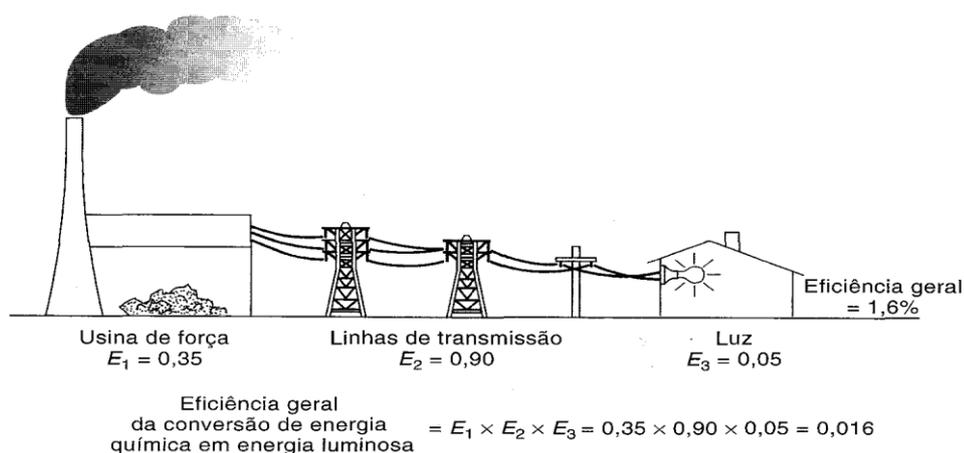


Figura 7.5 O cálculo da eficiência geral de um processo de múltiplas etapas envolve a multiplicação das eficiências das etapas individuais.

Fonte: Hinrichs e Kleinbach, 2003 p. 69

Naquelas conversões que envolvem conversão de calor em outro tipo de energia, a eficiência é ainda mais limitada devido ao calor que é perdido para o meio ambiente. Assim, torna-se importantíssimo aumentar a eficiência daqueles processos que envolvam

aquecimento ou refrigeração em nossos lares. Assim, se tivermos um planejamento adequado poderemos economizar muita energia elétrica com simples atitudes: melhorar o isolamento térmico de nossas residências, não deixar a porta da geladeira aberta, utilizar o aquecimento solar da água para o banho, etc.

Outras atitudes para promover a conservação de energia é empregarmos tecnologias mais eficientes que permitam que se realize uma determinada tarefa usando menos energia. Por exemplo, uma lâmpada fluorescente que, com o mesmo consumo de energia, consegue produzir quatro vezes mais luz que uma lâmpada incandescente. A conservação de energia deve ser feita com a escolha cuidadosa dos equipamentos apropriados. Hoje, todos os equipamentos devem apresentar informações sobre sua eficiência ou consumo, o que facilita nossa escolha na compra desses equipamentos.

O impacto de cada tipo de fonte.

A questão energética não se restringe somente em converter algum tipo de energia em energia elétrica. Muitos fatores são importantes na escolha da matriz energética. Um deles é a disponibilidade dos recursos naturais. Nesse caso, o Brasil tem grande vantagem por ter recursos hídricos com potencial de exploração em hidrelétricas, tem área cultivável e clima favoráveis para investir em biocombustíveis, desde o norte ao sul, também temos o privilégio de termos áreas com insolação praticamente o ano todo, o que favorece a exploração da energia solar, outra possibilidade de energia limpa e renovável é a eólica e podemos explorá-la principalmente no litoral, temos campos de petróleo com dificuldades de extração, como em águas profundas, mas avançamos em tecnologias e podemos explorá-los, outra opção são as usinas nucleares que apesar do necessário cuidado com seus resíduos, podemos usufruir de energia que não contribui para o aquecimento global. Enfim, o Brasil tem grande potencial energético para explorar, e nosso diferencial no mundo é essa variedade de opções de fontes de energia.

O Brasil apresenta um quadro energético mais vantajoso em relação aos demais países do mundo, pois possui mais de 45% de sua matriz energética baseada em combustíveis renováveis.

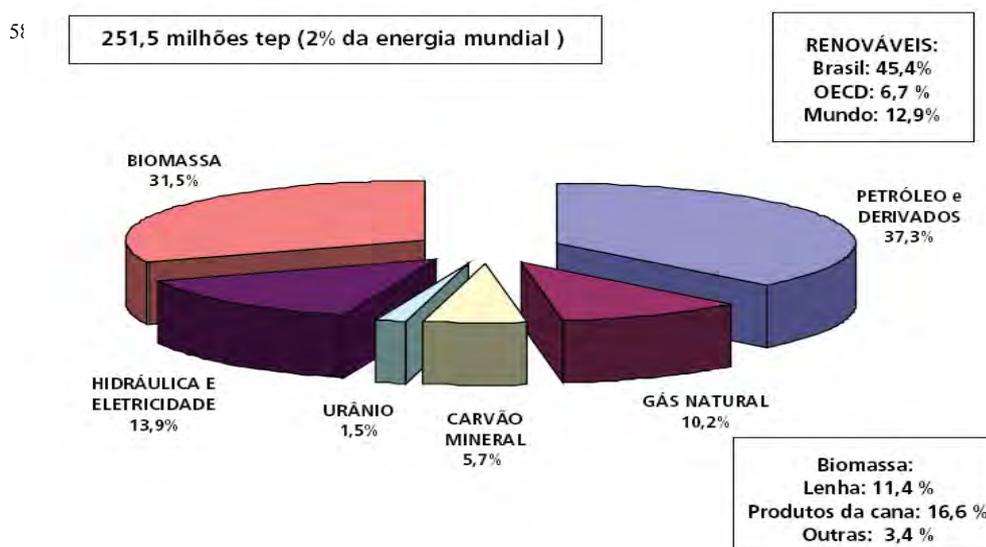


Gráfico 7.1 Oferta Interna de Energia no Brasil (2008)

Fonte: MME

⁵⁸ A tonelada equivalente de petróleo (tep) é uma unidade de energia definida como o calor liberado na combustão de uma tonelada de petróleo cru, aproximadamente 42 gigajoules (42×10^9 J).

Essa proporção de produção de energia renovável, 45,4%, é das mais altas do mundo, contrastando significativamente com a média mundial, de 12,9%, e mais ainda com a média dos países que compõem a Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômicos (OECD)⁵⁹, em sua grande maioria países desenvolvidos, com apenas 6,7% de produção de energia renovável.

No entanto é possível expandir a parcela de geração de energia renovável e limpa em nossa matriz. Contudo, essa expansão deve ser alvo de um planejamento energético completo, pois é muito importante que se analise os impactos sociais e ambientais de cada opção de geração de energia. Todo tipo de geração de energia tem pontos positivos e negativos.

Tabela 7.2 Comparação entre os diversos tipos de fontes de energia

Tipos de Fontes de Energia	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Energia Eólica	Baixo Impacto Ambiental; Sem emissão de poluentes; Fonte renovável;	Poluição visual; Intermitência dos ventos;
Energia Solar	Baixo Impacto Ambiental; Sem emissão de poluentes; Fonte renovável;	Intermitência de luz solar; Baixa eficiência;
Energia Hídrica	Sem emissão de poluentes ⁶⁰ ; Fonte renovável; Alta eficiência;	Impacto ambiental devido ao desvio de rios e alagamento de grandes áreas;
Energia Fóssil	Facilidade de transporte;	Alta emissão de poluentes que causam chuva ácida; Emissão de gases de efeito estufa
Energia Nuclear	Não emite gases de efeito estufa;	Lixo radioativo e perigo de contaminação por radiação; Poluição térmica;
Energia de Biocombustível	Fonte renovável; Não emite poluentes que causam chuva ácida;	Emissão de gases estufa; Competição com a produção de alimentos;
Energia Geotérmica	Sem emissão de poluentes;	Restrita a certas localidades;
Energia de Marés	Sem emissão de poluentes; Fonte renovável;	Restrita a certas localidades; Impacto ao ecossistema local;
Energia de Células	Baixa emissão de poluentes em células a combustível;	Resíduos de metais pesados em alguns tipos de baterias;

⁵⁹ São os seguintes os 30 países membros da “Organisation de Coopération et de Développement Économiques”: Alemanha, Austrália, áustria, Bélgica, Canadá, Coréia do Sul, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suíça, Suécia e Turquia. Além desses países, também integra a OCDE a União Européia.

⁶⁰ Salvo o metano emitido devido a decomposição de matéria orgânica inundada pelo reservatório.

Essas energias podem ser divididas por suas fontes, sendo renováveis ou não-renováveis. Uma fonte é considerada renovável se puder ser reabastecida num intervalo de tempo compatível com a escala de tempo humana. Entre as fontes renováveis de energia temos: a energia de nossos alimentos, a energia solar, hidráulica, eólica, os biocombustíveis, entre outras. As fontes de energia não-renováveis são aquelas, cuja formação é tão lenta ou existência tão curta que, ao serem esgotadas, não poderão nos reabastecer num intervalo de tempo significativo para o ser humano. Entre elas, destacamos os combustíveis fósseis e os combustíveis nucleares.

A opção por energias renováveis nos permite reduzir significativamente as emissões de CO₂, além de reduzir a dependência energética da nossa sociedade face aos combustíveis fósseis. Infelizmente, a maior parte da população brasileira não se preocupa com a conservação de energia, a não ser por questões financeiras (IBOPE, 2008). A energia elétrica se tornou muito popular graças à conveniência, disponibilidade e facilidade de uso. Entretanto, muitos consumidores não sabem as fontes da energia que utilizam e muito menos os impactos que estas trazem ao meio ambiente.

Desenvolvimento e Responsabilidade

Tanto o desenvolvimento econômico quanto o crescimento populacional exercem grandes pressões sobre nossos recursos e sistemas naturais. Para expansão da produção de alimentos, por exemplo, necessitamos de maiores áreas de cultivo e grande demanda por recursos hídricos. Por outro lado, desenvolvimento sustentável é aquele tipo de desenvolvimento que atende às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas. O que implica, simultaneamente à expansão da produção, a proteção dos sistemas naturais necessários para alimentação e combustível (HINRICHS e KLEINBACH, 2003).

O elevadíssimo padrão de consumo de pequena parcela da população mundial está colocando em risco as condições de manutenção da vida no planeta e é urgente que os hábitos e atitudes dos grandes consumidores sejam revistos para que esse quadro possa mudar. O problema do aquecimento global está intimamente ligado ao problema da energia, pois as maiores contribuições humanas para a intensificação do efeito estufa foram àquelas provenientes do desenvolvimento das civilizações, como a queima de biomassa e as posteriores queimas de combustíveis fósseis.

Infelizmente, o homem tem se superado em consumir mais do que o planeta pode oferecer. O planeta já apresenta evidentes sinais do abuso da utilização dos recursos naturais. O aquecimento global é o sinal mais evidente, podendo ser visto em todo o planeta através de inúmeros efeitos como derretimento das calotas polares, aumento no nível do mar, redução da produtividade de terras agrícolas, além da intensificação dos fenômenos extremos como secas, tempestades, inundações, ondas de calor e ciclones.

A solução para o aquecimento global não é tão simples, não podemos sair por aí tentando pegar as moléculas de CO₂ como se caça borboletas. Trata-se de um problema que envolve toda a sociedade. Isso acontece porque toda essa poluição está associada ao modo de vida, de consumo, de pequena parcela da população mundial. Não é fácil abrimos mão desse conforto.

Como temos presenciado no noticiário, importantes mudanças no clima estão ocorrendo diante de nossos olhos. Cadeias alimentares estão se modificando, tempestades estão aumentando em número e intensidade, ambiente para proliferação de doenças estão aumentando, secas, inundações, entre outros problemas que põem em risco o futuro de nossa espécie. Podemos nos questionar em até quando poderemos arcar com tais consequências sem tomarmos uma atitude.

Para combatermos o aquecimento global é necessário estimular o consumo de bens que não agridam o meio ambiente, coleta seletiva, reciclagem, reutilização, evitar o desperdício, economizar energia, diminuir o uso de combustíveis fósseis, preferir energia proveniente de fontes limpas e renováveis, preferir o transporte coletivo ou bicicleta, recuperar o gás metano dos aterros sanitários, adaptar as construções para aproveitar a iluminação, aquecimento e refrigeração natural, não praticar desmatamento e queimadas em florestas, ao contrário, plantar o maior número de árvores. Somos responsáveis por nossas escolhas e igualmente responsáveis pelas escolhas que não fazemos.

“A Terra pode oferecer o suficiente para satisfazer as necessidades de todos os homens, mas não à ganância de todos os homens” Mahatma Gandhi

“Podemos acreditar no futuro e trabalhar para atingi-lo e preservá-lo ou podemos andar cegamente em círculos, comportando-nos como se um dia não fosse mais existir crianças para herdar nosso legado. A escolha é nossa; a Terra está em jogo.” Al Gore

APÊNDICE I – REVISÃO DE CONCEITOS BÁSICOS DE FÍSICA E QUÍMICA

I. O Sistema CO₂/Carbonato

A Química ácido-base do oceano é dominada pela interação do íon carbonato (CO_3^{2-}), uma base moderadamente forte, com o ácido carbônico (H_2CO_3), um ácido considerado fraco. Podemos classificar o oceano como uma solução naturalmente básica, ou seja, seu pH se encontra entre 7,5 e 8,5. Contudo, com aumento da concentração de CO₂ na atmosfera mais CO₂ é absorvido pelo oceano. Assim, o oceano é classificado como um grande sumidouro de CO₂ absorvendo cerca de um terço de todo CO₂ lançado na atmosfera. Isso implica numa acidificação do oceano, pois o ácido carbônico resulta da dissolução na água, do gás atmosférico dióxido de carbono (CO₂). Esse ácido, por sua vez, encontra-se em equilíbrio no meio aquoso dissociando-se em íon bicarbonato (HCO_3^-) e íon hidrogênio (H^+). Outros íons também estão presentes na água como o íon carbonato (CO_3^{2-}), neste caso, sua fonte predominante são as rochas calcárias constituídas em grande parte por carbonato de cálcio (CaCO_3), veja figura a seguir:

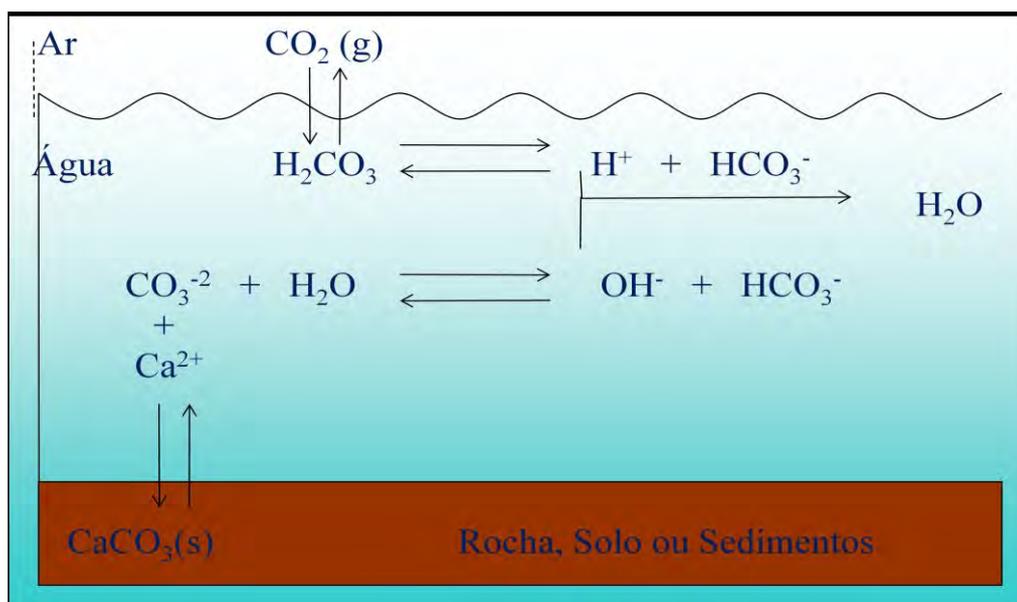


Figura A.1 – Reações do sistema dióxido de carbono/carbonato

Fonte: Baird, 2002

O íon carbonato dissolvido, atua como base produzindo na água íons bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxido (OH^-).

Para que ocorra a formação dos exoesqueletos das conchas e os esqueletos dos corais, também é necessário a presença desse íon carbonato, porém, com o aumento da concentração de CO₂ dissolvido no oceano, menos carbonato fica disponível para formação de conchas e corais, o que pode comprometer não somente este grupo, mas toda a cadeia alimentar que envolve recifes e corais. Essa queda na concentração do íon carbonato se dá porque o oceano tende a manter seu equilíbrio produzindo mais OH^- a partir da dissociação deste íon em meio aquoso, que por sua vez reage com íon H^+ produzido pela dissociação do ácido carbônico na tentativa de equilibrar o pH oceânico.

II. Energia Recebida pelo Sol

O fluxo energético F , ou seja, a quantidade de energia emitida pelo sol em uma unidade de tempo para cada unidade de área é dada pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$F = \sigma T^4, \quad \text{onde,} \quad F = \frac{P}{A}$$

P é a Potência (energia por tempo), A é a área superficial, T é a temperatura em Kelvin e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$). No caso do sol $T = 5778 \text{ K}$,

$$F_s = 5,67 \times 10^{-8} (5778)^4 \approx 6,32 \times 10^7 \text{ W m}^{-2}$$

Em uma situação de balanço energético, o planeta irradia uma quantidade de energia de valor igual à absorvida da radiação solar. Considerando o Sol como uma esfera, a área de sua superfície será igual a $4\pi R_s^2$, onde R_s é o valor do raio solar (696.000 km). Assim, a potência total irradiada pelo Sol, também denominada luminosidade solar, será dada por:

$$P_s = 4\pi R_s^2 F_s,$$

Conforme a distância aumenta, essa energia - emitida esfericamente a partir do Sol - se distribuirá por uma área cada vez maior. Ao atingir a distância Sol-Terra (d_{ST}), ela estará distribuída por uma grande esfera de raio d_{ST} (150 milhões de quilômetros) e de área superficial $4\pi d_{ST}^2$. Assim, a radiação solar incidente na Terra terá um fluxo energético F_{ST} determinado pela razão entre a potência total irradiada pelo Sol e a área desta grande esfera.

$$F_{ST} = \frac{4\pi R_s^2 F_s}{4\pi d_{ST}^2} = \frac{R_s^2}{d_{ST}^2} F_s = \left(\frac{696 \times 10^3 \text{ km}}{150 \times 10^6 \text{ km}} \right)^2 6,32 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 1,36 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Como podemos ver o fluxo de energia que chega até nós é uma pequena parcela da ordem de 10^{-5} vezes o fluxo do Sol. Ainda bem que estamos longe o suficiente do sol!

III. A Temperatura da Terra sem o Efeito Estufa

Para calcularmos o valor da temperatura terrestre sem o efeito estufa precisamos descobrir o valor da potência média emitida por unidade de área do sistema Terra. Para isso, consideramos que o sistema Terra recebe do Sol, um fluxo de radiação em uma área de secção reta πR^2 (1/2 da área de um círculo), enquanto perde um fluxo de radiação a partir de uma superfície esférica de $4\pi R^2$. O que caracteriza uma perda de 4 vezes de radiação. Além disso, é necessário subtrair da potência incidente total, aquela parcela correspondente ao albedo (parte que é refletida para o espaço), o que corresponde a 0,3 do fluxo incidente.

Assim, igualando os fluxos de radiação média incidente e emitida:

$$F_{\text{inc}} = F_{\text{emit}}$$

$$(1 - 0,3) F_{\text{inc}} = F_{\text{emit}} \cdot 4 \quad (\text{albedo e razão})$$

$$0,7 \cdot 1360 = F_{\text{emit}} \cdot 4$$

$$F_{\text{emit}} = 238 \text{ Wm}^{-2}$$

Pela Lei de Stefan-Boltzmann, temos que:

$$F = \sigma T^4$$

onde σ é a constante de Boltzmann que é igual a $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. Considerando a radiação emitida por unidade de área, temos:

$$238 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4$$

$$T \approx 255 \text{ K ou } -18 \text{ }^\circ\text{C}.$$

De acordo com esses cálculos, a temperatura média terrestre deveria ser -18°C ou 255 K , o que está em desacordo com temperatura média da Terra que está em torno de 14°C ! Essa diferença de 32°C se deve ao Efeito Estufa natural que como, já dito, mantém parte da radiação presa em nossa atmosfera aquecendo nosso planeta.

IV. A Temperatura e a Radiação de um Corpo

Deslocamento de Wien

A Lei do deslocamento de Wien relaciona o comprimento de onda em que ocorre máxima emissão ($\lambda_{\text{máx.}}$) com a temperatura absoluta do corpo. Esta relação mostra que todos os corpos que não estejam com uma temperatura em zero absoluto (escala kelvin) emitem radiação, e esta é proporcional à temperatura:

$$\lambda_{\text{máx.}} = 2897 / T$$

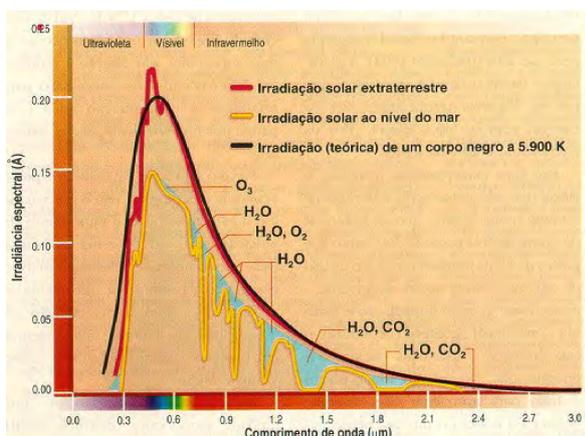
Onde temos $\lambda_{\text{máx.}}$ em micrometros e T em kelvins.

No caso do Sol, a temperatura média da superfície é da ordem de $T \approx 5800\text{K}$. Então:

$$\lambda_{\text{máx.}} = 2897 / 5800$$

$$\lambda_{\text{máx.}} \sim 0,50 \mu\text{m} \text{ ou } 500 \text{ nm (luz visível)}$$

Assim, o espectro de radiação do sol é distribuído conforme a fig. A.2 e da seguinte forma:



10% na faixa do Ultravioleta ($\lambda < 400\text{nm}$)
 45% na faixa do Visível ($400 < \lambda < 750\text{nm}$)
 45% na faixa do Infravermelho ($\lambda > 750\text{nm}$)

Figura A.2 Espectro solar -
 Fonte: Ciência Hoje.

No caso da Terra, a temperatura média varia em torno de 14°C ou $T \sim 288 \text{ K}$.

$$\lambda_{\text{máx.}} = 2897 / 288$$

$$\lambda_{\text{máx.}} \sim 10 \mu\text{m} \text{ ou } 10.000 \text{ nm (infravermelho)}$$

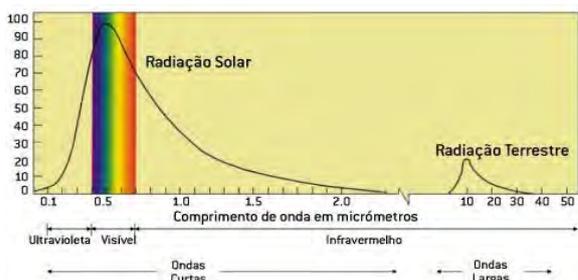


Figura A.3 Comparação entre as intensidades dos espectros da radiação solar e terrestre.

Fonte: Tolentino, 1998.

V. Energias de Transição para o átomo de Hidrogênio⁶¹

No átomo de hidrogênio podem ocorrer diversas transições entre os níveis de energia permitidos (lembre-se múltiplos de $E = h\nu$). As transições abaixo representadas são de fótons com energia no espectro do visível. Já outras transições, na faixa infravermelho (de $n = 4$ para $n = 3$) ou do ultravioleta (de $n = 6$ para $n = 2$), não poderiam ser identificadas por nossos olhos, nossas células fotossensíveis, pois eles não têm a capacidade de identificar fótons com essas energias.

Nota: não podemos esquecer que essas transições não são infinitas chega um momento em que a energia é suficiente para arrancar o elétron de sua órbita.

Vamos então calcular os valores de energia para essas transições e confirmar a experiência.

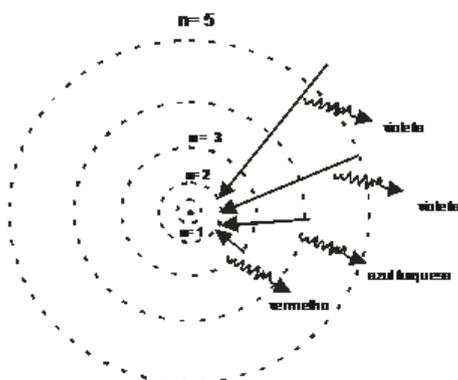


Figura A.4 O espectro do H, com as emissões que dão origem as suas linhas espectrais na região do visível.

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = E_n - E_m = \frac{hc}{\lambda_{n(m)}} = hc R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = m + 1, m + 2, \dots)$$

Onde $c = \nu\lambda$ e R_H é a constante de Rydberg para o hidrogênio $R_H \approx 109.677 \text{ cm}^{-1}$.

1. A radiação vermelha é emitida pela transição eletrônica do estado $n = 3$ para o estado $n = 2$, depois que o elétron absorveu um fóton de luz vermelha de energia $\frac{hc}{\lambda_{3(2)}}$, sendo $\lambda_{3(2)}$ o comprimento de onda da luz vermelha.

$$\frac{1}{\lambda_{3(2)}} = 109.677 \text{ cm}^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$

$$\lambda_{3(2)} = 656 \text{ nm (cor vermelha)}$$

Atenção:

- Não se esqueça de passar de cm^{-1} (10^{-2} m^{-1}) para m e depois para nm (10^{-9} m).
- cm^{-1} é uma unidade que representa o número de onda ($\bar{\nu}$), que é o inverso do comprimento de onda (λ)

⁶¹ O modelo de orbitais é um modelo simplificado do átomo proposto por Niels Bohr, hoje com a mecânica quântica o modelo atômico aceita se baseia numa distribuição de densidade de probabilidade, onde não se pode prever, simultaneamente, as variáveis que definem a localização e energia dos elétrons.

2. A emissão azul turquesa corresponde à transição eletrônica, entre o estado $n = 4$ e o $n = 2$, depois que absorveu um fóton de luz azul turquesa.

$$\frac{1}{\lambda_{4(2)}} = 109.677 \text{cm}^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$$

$$\lambda_{4(2)} = 486 \text{ nm (cor azul)}$$

3. A raia violeta corresponde à transição do estado $n = 5$ para o $n = 2$, depois da absorção de um fóton de luz violeta, de energia $\frac{hc}{\lambda_{5(2)}}$, sendo $\lambda_{5(2)}$ o comprimento de onda da luz violeta.

$$\frac{1}{\lambda_{5(2)}} = 109.677 \text{cm}^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right)$$

$$\lambda_{5(2)} = 434 \text{ nm (cor violeta)}$$

VI. O Iceberg e o Princípio de Arquimedes

O Princípio de Arquimedes diz que: Um corpo imerso sofre a ação de uma força de empuxo dirigida para cima igual ao peso do fluido que ele desloca.

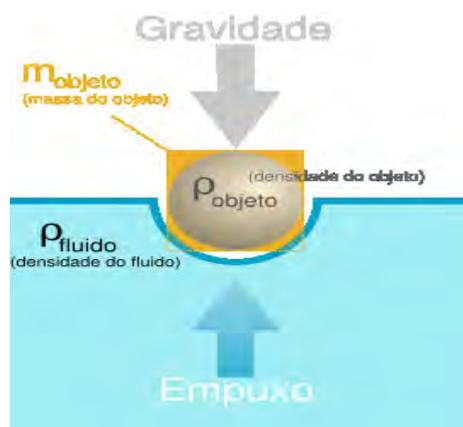


Figura A.5 Princípio de Arquimedes

Um corpo, composto de material menos denso que o fluido onde está imerso, pode encontrar uma posição de equilíbrio flutuando na superfície. Este é o caso dos icebergs, que ficam estáveis flutuando na água quando a porção de volume imersa gera empuxo suficiente para sustentar seu peso. Então, o princípio de Arquimedes se resume a:

$$E = P_c,$$

Onde P_c é o peso do corpo, que segundo Arquimedes é igual ao peso do volume deslocado. Assim:

$$P_c = P_f \\ \rho_c V_c g = \rho_f V_f g$$

Onde ρ_c e ρ_f são as densidades do corpo e do fluido, respectivamente, bem como, V_c é o volume do Iceberg e V_f o volume deslocado da água do mar, e g é a aceleração da gravidade.

E, para sabermos o volume imerso do iceberg, reescrevemos a expressão acima como:

$$V_f = \frac{\rho_c}{\rho_f} V_c = \frac{0,92\text{g/cm}^3}{1,02\text{g/cm}^3} V_c = 0,90 V_c$$

Onde, a densidade do gelo e da água do mar são $0,92\text{g/cm}^3$ e $1,02\text{g/cm}^3$, respectivamente.

Assim, obtemos que o volume imerso de um iceberg equivale a 90% de seu volume total, ficando apenas 10% visível, fora d'água, dando origem à expressão "a ponta do iceberg".

Quando um cubo de gelo (ou um iceberg, que é um grande cubo de gelo) flutua na água, **o peso do cubo de gelo é exatamente igual** à força de empuxo, que é igual **ao peso da água deslocada**. Então, se o iceberg derrete, seu volume muda, mas seu peso permanece o mesmo (lei de conservação da massa). Portanto, a água derretida do iceberg tem exatamente o

mesmo peso da água que foi deslocada por ele enquanto flutuava sobre o mar. Dessa forma, caso os icebergs flutuantes derretam, o nível dos oceanos permanecerão inalterados.

Observe que essa afirmação é válida somente se o iceberg for composto pela mesma água na qual ele flutua. É o caso, por exemplo, do gelo Ártico, composto de água do mar congelada. Entretanto, não é o caso de icebergs da Antártica, que são blocos de gelo de água doce do continente que flutuam em mar de água salgada. Nesse caso, devemos levar em consideração o fato de que a água salgada é mais densa do que a água doce. O iceberg de água doce ainda tem o mesmo peso que a água salgada deslocada mas, devido às diferentes densidades, o volume de água doce derretida será um pouco maior do que o volume deslocado de água salgada. Portanto, quando um iceberg de água doce derrete, o nível da água deveria aumentar, mas esse valor é muito pequeno.

Enfim, se o gelo derreter por causa de um aumento na temperatura da água, o nível de água poderá aumentar devido à expansão térmica, e não por causa de seu volume que já contribuiu com o nível atual dos oceanos.

VII. Conservação do Momento Angular

No caso da Terra, para parcelas de ar que giram em planos perpendiculares ao seu eixo de rotação, a equação que demonstra a conservação da quantidade de movimento,

$$L = r \cdot v = \Omega r^2 = \text{constante}$$

Deve ser reescrita como:

$$L = \Omega R_t^2 \cos^2 \phi$$

Onde L é o momento angular, r a distância do eixo de rotação e Ω a velocidade angular, neste caso da Terra ($\approx 7,3 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$). Sendo $r = R_t \cos \phi$, sendo R_t o raio da Terra.

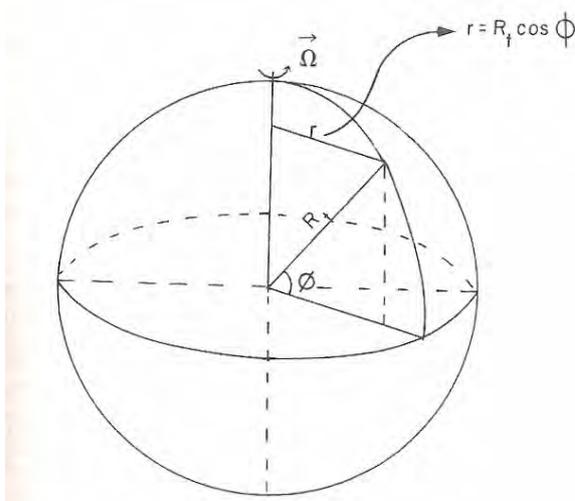


Figura A.6 Relação Entre o Raio da Terra, R_t , a Latitude, P , e a Distância do Eixo de Rotação na Superfície em que Ocorre o Movimento, r .

Fonte: Vianello, 2000

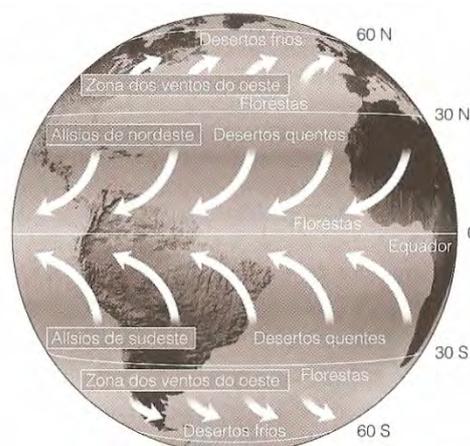


Figura A.7 A rotação da Terra desvia o movimento do ar para diferentes partes, criando padrões globais de ventos predominantes.

Fonte: Miller, 2007

Como exemplo, imagine uma parcela de ar no Equador, inicialmente em repouso com relação à superfície da Terra, e, portanto, com velocidade $V = \Omega R_t$ (em razão do movimento de rotação da Terra) relativa a um referencial inercial, como de uma estrela. Se essa parcela for forçada a se deslocar em direção a um dos pólos, por meio de alguma força dirigida para o eixo de rotação da Terra, ela chegará à latitude ϕ com uma velocidade $V' = V/\cos \phi$, pela conservação do momento angular. Se, por exemplo, ϕ for igual a 60° , $V' = 2V$, o que mostra que a parcela, inicialmente em repouso no equador, terá uma velocidade na direção oeste-leste (em relação à Terra cada vez maior, à medida que ela se desloca em direção aos pólos).

Porém, quando falamos em rotação da Terra, devemos falar que estamos em um referencial de coordenadas não-inercial, por isso precisamos fazer algumas correções para que as leis de Newton possam ser aplicadas. Daí, surgem forças aparentes como a força centrífuga e a força de Coriolis. No caso de uma parcela de ar que se move na atmosfera com movimento relativo à superfície sempre aparecerá uma mudança em sua trajetória perpendicularmente para a direita no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul. Ou seja, na figura A.7 podemos observar a predominância do efeito de Coriolis próximo ao equador das massas de ar que se deslocam dos pólos. E nas regiões temperadas, trópicos, percebemos o efeito para massas de ar que sobem em direção aos pólos, somados ainda ao efeito da rotação da Terra na conservação da quantidade de movimento com aumento do ângulo ϕ (figura A.6).

APÊNDICE II – COMO AS COISAS FUNCIONAM

Psicrômetro ou Higrômetro de evaporação

Foi inventado por Gay-Lussac, mas August deu-lhe a forma atual. Compõe-se de dois termômetros idênticos colocados paralelamente. Um deles (A) tem o reservatório constantemente umedecido por uma gaze, ou um barbante, em comunicação com uma vasilha cheia d'água. O outro termômetro (B) tem o bulbo seco.

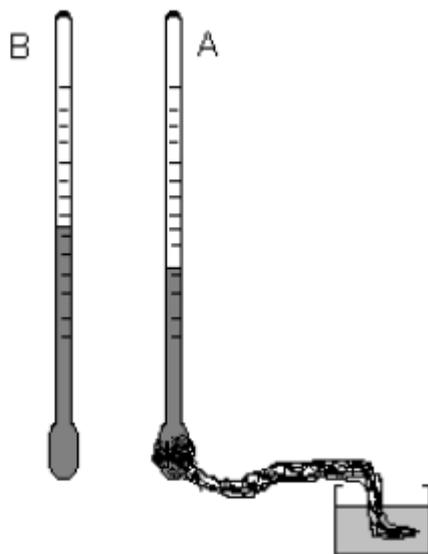


Figura A.8 Esquema de um psicrômetro ou higrômetro de evaporação

A evaporação da água do termômetro úmido resfria-o, passando a indicar uma temperatura inferior ao do termômetro seco. Conhecendo-se a diferença de temperaturas indicadas pelos dois termômetros podemos encontrar a umidade relativa do ar, usando uma tabela psicrométrica (Tabela A.1).

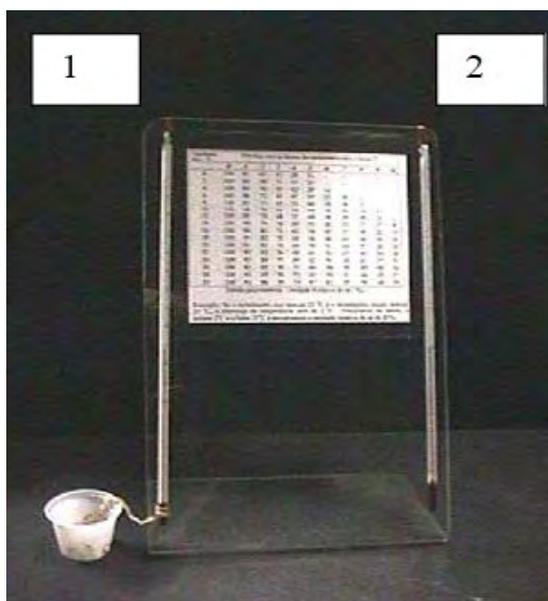


Figura A.9 Psicrômetro ou higrômetro de evaporação.
1.Termômetro com o bulbo umedecido
2.Termômetro de bulbo seco

Tabela A.1 Tabela psicrométrica - umidade relativa do ar (%)

TERMÔ- METRO SECO (°C)	DIFERENÇA ENTRE AS LEITURAS DOS TERMÔMETROS SECO E ÚMIDO (°C)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	81	63	45	28	11	-	-	-	-	-
2	100	84	68	51	35	20	-	-	-	-	-
4	100	85	70	56	42	28	14	-	-	-	-
6	100	86	73	60	47	35	23	10	-	-	-
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	-	-
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	4	-
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	50	45	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

Fonte: KOCHKIN e CHIRKÉVITCH

Exemplo de leitura da umidade relativa do ar: se o termômetro seco marcar 22°C e o termômetro úmido marcar 20°C, a diferença de temperaturas será de 2° C. Procura-se na tabela, a coluna 2°C e a linha 22°C. Encontra-se a umidade relativa do ar de 83%.

Com este higrômetro pode-se medir a umidade relativa do ar em vários ambientes, em horários variados durante o dia, em várias condições atmosféricas e em diferentes épocas do ano. (FURUKAWA, 1999)

APÊNDICE III – DEFINIÇÕES E INFORMAÇÕES RELEVANTES

I. As Forçantes

A intensidade de radiação (w/m^2), ou irradiância, é chamada pelos climatologistas de Forçante Radiativa. Eles elegeram essa nomenclatura pelas propriedades dos mecanismos que alteram o equilíbrio energético no planeta. Essas forçantes podem ser entendidas como um cabo-de-guerra, onde uma forçante positiva induz aquecimento, enquanto uma forçante negativa induz resfriamento. Elas podem ter origem natural ou antrópica.

- Natural: Variações na atividade solar; aerossóis produzidos pela ação do vento sobre a superfície do mar e de áreas de solo descoberto, por vulcões, e pela queima natural da vegetação.
- Antrópica: Alterações no albedo da superfície, esteiras de fumaça de aeronaves e poluentes como aerossóis, ozônio troposférico e, principalmente, gases de efeito estufa.

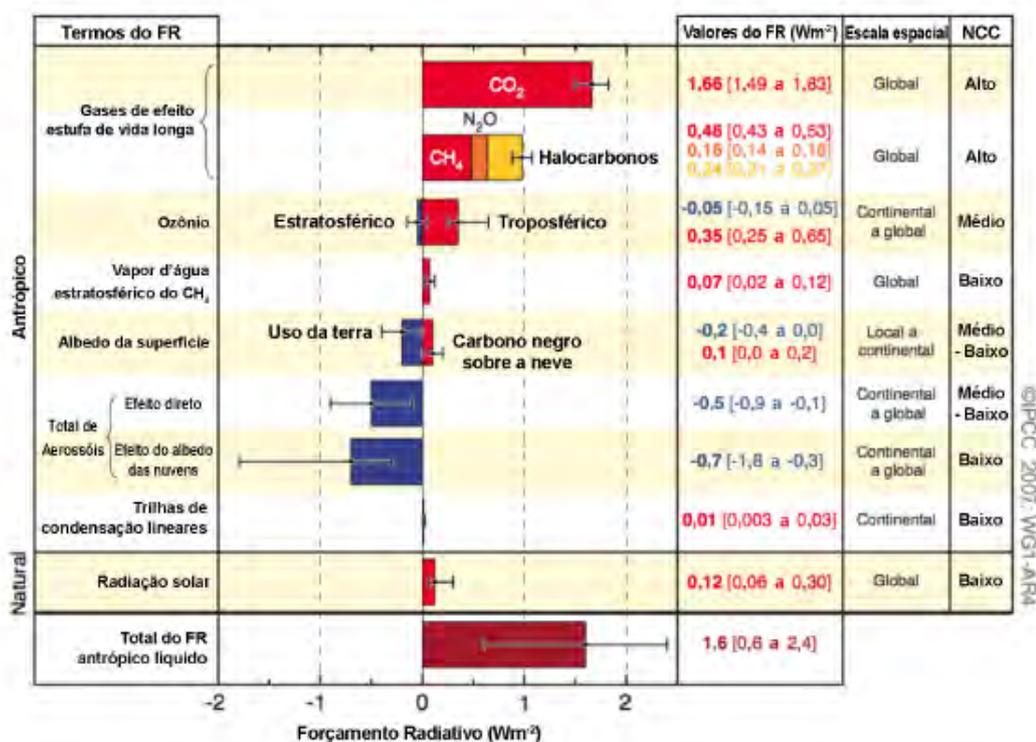


Figura A.10: Estimativas da média global do forçamento radiativo (FR) e faixas em 2005 para o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) antrópicos e outros agentes e mecanismos importantes, juntamente com a extensão geográfica típica (escala espacial) do forçamento e o nível de compreensão científica (NCC) avaliado.

Fonte: IPCC, 2007.

Essas forçantes são fruto de medições e estimativas feitas em programas de modelagem computacional que calculam as suas contribuições individuais e a relação entre elas. Dessa forma, a compreensão do comportamento de cada uma dessas forçantes é muito importante no resultado do balanço energético. Mas apesar do comportamento complexo do clima e das incertezas, temos observado importantes alterações no sistema climático da Terra, o que reforça a argumentação do resultado positivo do balanço de forçantes resultando no aquecimento do planeta.

II. As Datas e Horas dos Solstícios e Equinócios

Tabela A.2 Data e hora UTC dos solstícios e equinócios entre 2002 e 2017

Ano	Equinócio Março		Solstício Junho		Equinócio Setembro		Solstício Dezembro	
	Dia	Hora	Dia	Hora	Dia	Hora	Dia	Hora
2002	20	19:16	21	13:24	23	04:55	22	01:14
2003	21	01:00	21	19:10	23	10:47	22	07:04
2004	20	06:49	21	00:57	22	16:30	21	12:42
2005	20	12:33	21	06:46	22	22:23	21	18:35
2006	20	18:26	21	12:26	23	04:03	22	00:22
2007	21	00:07	21	18:06	23	09:51	22	06:08
2008	20	05:48	20	23:59	22	15:44	21	12:04
2009	20	11:44	21	05:45	22	21:18	21	17:47
2010	20	17:32	21	11:28	23	03:09	21	23:38
2011	20	23:21	21	17:16	23	09:04	22	05:30
2012	20	05:14	20	23:09	22	14:49	21	11:11
2013	20	11:02	21	05:04	22	20:44	21	17:11
2014	20	16:57	21	10:51	23	02:29	21	23:03
2015	20	22:45	21	16:38	23	08:20	22	04:48
2016	20	04:30	20	22:34	22	14:21	21	10:44
2017	20	10:28	21	04:24	22	20:02	21	16:28

Fonte: Wikipédia.

Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Solst%C3%ADcio>

APÊNDICE IV – LISTA DE EXERCÍCIOS

- 1) Como você entende a relação entre a concentração dos gases CO₂ e CH₄ na atmosfera e as variações no clima ao longo da história?
- 2) Explique como os oceanos estão ficando mais ácidos.
- 3) Como acontecem as estações do ano? Elas estão relacionadas com a distância da Terra – Sol ou com a inclinação de nosso planeta? Explique.
- 4) Como você explica as Eras Glaciais?
- 5) Qual fenômeno físico está por trás da cor do céu, das nuvens e do arco-íris? Explique.
- 6) Defina albedo e explique qual o papel dos aerossóis no balanço de energia da Terra?
- 7) Por que o Sol emite radiação numa faixa e a Terra em outra?
- 8) Quais os principais agentes de efeito estufa na Terra? Qual o mecanismo do efeito estufa?
- 9) Onde o ozônio deve estar e onde ele não deve estar para ser bom?
- 10) Como se dão as trocas de calor? Comente.
- 11) Quais as relações entre o efeito estufa atmosférico e esse efeito numa estufa de vidro?
- 12) Qual o papel do vapor d'água para a circulação térmica em nosso planeta?
- 13) O que é efeito feedback?
- 14) Para ocorrer evaporação a água precisa estar a 100°C? Por quê?
- 15) Por que o deserto tem temperaturas tão altas de dia e baixas a noite?
- 16) O que provoca o aumento do nível dos mares? Os icebergs que flutuam no oceano podem contribuir para esse aumento? Explique.
- 17) Explique resumidamente o movimento das correntes atmosféricas e oceânicas.
- 18) O problema do aquecimento global está intimamente ligado às fontes de energia. Quais as limitações para o uso de energia útil e o quais suas sugestões para minimizar o problema do aquecimento global?

BIBLIOGRAFIA

- ABELL, G. **Exploration of the Universe**. New York: Holt, Rinehart and Winston, p.122, 1975,
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002
- BINDSCHADLER, R. A e BENTLEY C. R.; **Fantasmas do Degelo** Scientific American Brasil, Edição Janeiro, p.30-37, São Paulo, 2003.
- BUESSLER, K.O. et al. **The Effects of Iron Fertilization on Carbon Sequestration in the Southern Oceano** Science 304, p. 414-417,2004.
- COLLINS, W. et al. **A Física Por Trás das Mudanças Climáticas**. Scientific American Brasil, Edição Setembro, p.48-55, São Paulo, 2007.
- DIAS, W. S. e PIASSI, L. P. **Por Que a Variação da Distância Terra-Sol não Explica as Estações do Ano?** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 3, p. 325-329, 2007
- DOW, K. e DOWNING, T. E. **O Atlas da Mudança Climática: O Mapeamento Completo do Maior Desafio do Planeta**. São Paulo: Publifolha, 2007.
- FLANNERY, T. **Os Senhores do Clima**. Rio de Janeiro: Record, 2007.
- FURUKAWA, C. H. **A Energia como um Tema de Estudos no Ensino de Física de Nível Médio: Uma Abordagem Interdisciplinar e Contextualizada - Um Estudo de Caso**. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA) da Universidade de São Paulo. Área de Concentração: Energia. São Paulo, 1999.
- GORE, A. A. **Uma Verdade Inconveniente**. São Paulo: Manole, 2006.
- GROSSMAN, D. **Quando a Primavera Chega Mais Cedo**. Scientific American Brasil, Edição Fevereiro, p.75-81, São Paulo, 2004.
- GRAF, (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física). **Física**. v. 1 e 2. Edusp. São Paulo, 1998.
- YAMASAKI, S. et al. **Atlas Visual da Ciência: Clima**. Barcelona: Editorial Sol 90, 2007.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. e WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, v.3, 2002.
- HANSEN, J. **Desarmando a Bomba-Relógio do Aquecimento Global**. Scientific American Brasil, Edição Especial n.12, p.17-25, São Paulo, 2005.
- HINRICHS, R. A. e KLEINBACH, M. et al. **Energia e Meio Ambiente**. Thomson, São Paulo, 2004.

IBOPE, 2008. **Pesquisa de Opinião Pública: Pegada Ecológica**. [online] Disponível em: http://assets.wwf.org.br/downloads/fase_ibope_bus_wwf_relatorio_de_tabelas.pdf Acesso em 09 de maio de 2009

IPCC. **Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas**. Paris, fevereiro de 2007.

KOCHKIN, N. I. e CHIRKÉVITCH, M. G.. **Prontuário de Física Elementar**. MIR, 1986. Traduzido do russo por Marina Krotrítsna. 296p.

KUMP, L. R. **Reducing Uncertainty about Carbon Dioxide as a Climate Driver**. Nature 419, p. 188-90, 2002.

MILLER, G. T. **Ciência Ambiental**, 11 ed, São Paulo: Thomson Learning, 2007.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. **Mudança Ambiental no Brasil**. Scientific American Brasil, Edição Especial n.12 ,p.70-75, São Paulo, 2005.

OLIVEIRA, F., K. S e SARAIVA, M. F. O.; **Astronomia e Astrofísica**, 2 ed, Livraria da Física, São Paulo, 2004.

OSTERMANN, F. **As Estações do Ano Não Dependem da Distância Terra-Sol** Cosmos - Jornal de Astronomia e Ciência Espacial - Porto Alegre, v.1, n.2, set. 1992.

REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Sequestro de Carbono: Uma Experiência Concreta**. 2 ed. Palmas: Instituto Ecológica, 178p, 2001.

RUDDIMAN, W. F. **A Mão do Homem**. Scientific American Brasil, Edição Especial n.12 p.54-61, São Paulo, 2005.

SABINE, C. L. et al. **The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂**, Science 305, p.367-71, 2004.

SUGUIO, K. et al. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais**. Livraria Interciência, 1999.

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

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. UFV, Viçosa, 2000.

WEART, S. R. **The Discovery of Global Warming: New Histories of Science, Technology and Medicine**. Harvard University Press. Massachusetts, 2003.

WWF, **Relatório Planeta Vivo 2006**, Gland, Suíça, novembro de 2006.