



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Física

QUANTIFICAÇÃO DE CO<sub>2</sub> E VAPOR DE ÁGUA NAS INTERFACES BAIRRO –  
CULTURA DE EUCALIPTO DA FLORESTA ESTADUAL EDMUNDO NAVARRO DE  
ANDRADE

Éverton Carvalho dos Santos

Prof. Dr. Roberto Naves Domingos

Rio Claro (SP)  
2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro

Éverton Carvalho dos Santos

QUANTIFICAÇÃO DE CO<sub>2</sub> E VAPOR DE ÁGUA NAS  
INTERFACES BAIRRO - CULTURA DE EUCALIPTO DA  
RESERVA FLORESTA ESTADUAL NAVARRO DE ANDRADE  
NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO – SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -  
Câmpus de Rio Claro, da Universidade  
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para  
obtenção do grau de Bacharel em Física.

Rio Claro - SP

2011

530 Santos, Éverton Carvalho dos  
S237q Quantificação de CO<sub>2</sub> e vapor de água nas interfaces bairro – cultura de eucalipto da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade / Éverton Carvalho dos Santos. - Rio Claro : [s.n.], 2011  
57 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Roberto Naves Domingos

1. Física. 2. Física ambiental. 3. Aquecimento global. 4. Efeito estufa. 5. Absorção de radiação. 6. Emissões antropogênicas. 7. Lambert-Beer. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

ÉVERTON CARVALHO DOS SANTOS

QUANTIFICAÇÃO DE CO<sub>2</sub> E VAPOR DE ÁGUA NAS  
INTERFACES BAIRRO - CULTURA DE EUCALIPTO DA  
RESERVA FLORESTA ESTADUAL NAVARRO DE ANDRADE  
NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO – SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -  
Câmpus de Rio Claro, da Universidade  
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para  
obtenção do grau de Bacharel em Física.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Roberto Naves Domingos

Prof. Dr. Alberto Ibañez Ruiz

Prof. Dr. Gerson Antonio Santarine

Rio Claro, 01 de dezembro de 2011.

Assinatura do (a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Roberto Naves Domingos pelas orientações, conselhos e auxílio na elaboração deste trabalho.

Ao Leandro Xavier pelo suporte técnico, pelas discussões acerca do tema, e pelo auxílio com as medidas.

Ao corpo docente e ao corpo técnico do Departamento de física da UNESP por toda informação, experiência e suporte oferecido.

Em especial, a todos meus amigos que estiveram ao meu lado nesses quatro anos de graduação me apoiando, me alegrando, me acompanhando tanto em momentos de dedicação ao curso, quanto em momentos de lazer.

Por fim, de maneira um pouco mais especial ainda, agradeço a Beatriz Fernanda Litoldo, minha adorada namorada, Helena Maria Caritá, minha querida sogra e a Alzira Carvalho dos Santos, minha tão amada mãe, e a todos os meus familiares por todo o apoio emocional, por todo o carinho e amor que a mim dedicaram, principalmente nos momentos de dificuldade.

## RESUMO

Questões ambientais estão em foco ultimamente, devido principalmente a alterações climáticas que vêm sendo registradas nas últimas décadas. Parte dessas alterações são atribuídas ao aumento da concentração atmosférica dos gases indutores do efeito estufa, devido principalmente às emissões antropogênicas. Esses gases agem absorvendo o calor, em forma de radiação eletromagnética, emitido pelo planeta e, depois de um intervalo de tempo, reemitindo tal radiação em várias direções, inclusive de volta à superfície, causando um sobreaquecimento da mesma. Projeções indicam que as alterações climáticas tendem a aumentar cada vez mais. Devido a isso, nos últimos anos uma série de estudos estão sendo realizados acerca da dinâmica dos gases indutores do efeito estufa, principalmente do CO<sub>2</sub>, pois esse é o principal responsável pela intensificação de tal fenômeno. Para melhor entender os fluxos de CO<sub>2</sub> áreas específicas são estudadas, como as regiões limítrofes das florestas, solos que estão sob o preparo para a agricultura, áreas urbanas, dentre outras. Florestas são um importante sumidouro para o CO<sub>2</sub>, pois, durante o processo de fotossíntese, essa molécula é capturada e utilizada para a obtenção de glicose. Sendo assim, estudos das regiões limítrofes das florestas contribuirão bastante para o entendimento da dinâmica do CO<sub>2</sub>. Por depender de uma quantidade muito grande de fatores, a concentração de CO<sub>2</sub> em um dado local é muito variável e isso torna bem mais difícil o entendimento de sua dinâmica e, conseqüentemente, da ação do efeito estufa intensificado. Por ser uma área de estudo relativamente recente, existem muitas polêmicas acerca das conseqüências do efeito estufa, de modo que parte da comunidade não acredita que as alterações climáticas decorrem da ação humana. Segundo eles, tais alteração não passam de fenômenos naturais e periódicos.

Aquecimento Global. Efeito Estufa. Emissões Antropogênicas. Radiação. Vibração. Absorção. Lambert-Beer. Sumidouro. Atmosfera. Interação. Onda Eletromagnética.

## ABSTRACT

Environmental issues are in focus lately, mainly due to climate change that have been registered in recent decades. Some of these changes are attributed to the increased atmospheric concentration of greenhouse gases induce, mainly due to anthropogenic emissions. These gases act by absorbing heat in the form of electromagnetic radiation emitted by the planet, and after a time interval, reissuing such radiation in various directions, including back to the surface, causing overheating of the same. Projections indicate that climate change will tend to increase even more. Because of this, in recent years a number of studies are being conducted on the dynamics of inducers of greenhouse gases, especially CO<sub>2</sub>, because that is primarily responsible for the development of that phenomenon. To better understand the flow of CO<sub>2</sub> are studied specific areas, as regions bordering the forests, soils that are under preparation for agriculture, urban areas, among others. Forests are an important sink for CO<sub>2</sub>, because during the process of photosynthesis, this molecule is captured and used to obtain glucose. Thus, studies of the regions bordering the forests contribute enough to the understanding of the dynamics of CO<sub>2</sub>. Because it requires a large amount of factors, the concentration of CO<sub>2</sub> in a given location is very variable and this makes it much more difficult to understand their dynamics and, consequently, the action of the enhanced greenhouse effect. Being a relatively new area of study, there are many controversies about the consequences of the greenhouse effect, so that the community does not believe that climate change resulting from human action. According to them, such changes are merely natural phenomena and periodicals.

Global Warming. Greenhouse Effect. Anthropogenic emissions. Radiation. Vibration. Absorption. Lambert-Beer. Sink. Atmosphere. Interaction. Electromagnetic Wave.

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> Gráfico da intensidade de energia recebida do sol e emitida pela terra, em forma de radiação, em função do comprimento de onda (escalas diferentes).....	13
<b>Figura 2:</b> Representação da transmissão, reflexão, absorção e emissão de radiação da atmosfera e superfície terrestre.....	14
<b>Figura 3:</b> Variação da temperatura global e continental nos últimos 100 anos .....	15
<b>Figura 4:</b> Projeção para o aumento da temperatura da superfície do planeta no final do século 21.....	16
<b>Figura 5:</b> Intensidade de radiação emitida pelo planeta em função do comprimento de onda e faixas de absorção dos principais gases indutores do efeito estufa.....	17
<b>Figura 6:</b> Gráfico da pressão de vapor da água em função da variação da temperatura.....	18
<b>Figura 7:</b> Espectro de absorção de radiação do CO <sub>2</sub> .....	20
<b>Figura 8:</b> Variação da concentração de CO <sub>2</sub> atmosférico em função do tempo.....	20
<b>Figura 9:</b> Intercâmbio anual de CO <sub>2</sub> entre a atmosfera, o solo e o oceano na década de 80.....	23
<b>Figura 10:</b> Emissões antropogênicas dos gases indutores do efeito estufa nas últimas décadas. ....	24
<b>Figura 11:</b> Quantidade, em milhões de toneladas equivalentes de carbono, dos gases indutores do efeito estufa emitidos em 2000 e projeções para 2025.....	25
<b>Figura 12:</b> Espectro de radiação eletromagnética.....	26
<b>Figura 13:</b> Representação da interação entre radiação (fótons) e matéria.....	27
<b>Figura 14:</b> Surgimento de um campo elétrico oscilante a partir da rotação de uma molécula diatômica com dipolo permanente.....	29
<b>Figura 15:</b> Vibrações da molécula de CO <sub>2</sub> .....	30

<b>Figura 16:</b> Esquema interno do analisador de gases LI – 840.....	32
<b>Figura 17:</b> Janela do software para calibração do aparelho.....	36
<b>Figura 18:</b> Frota de veículos do município de Rio Claro.....	39
<b>Figura 19:</b> Fotografia aérea da área da cidade de Rio Claro – SP e da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade.....	39

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Composição atmosférica desconsiderando-se o vapor de água.....	12
<b>Tabela 2:</b> Principais gases indutores do efeito estufa e sua capacidade de aquecimento.....	24
<b>Tabela 3:</b> Médias climáticas no município de Rio Claro.....	38

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	09
2. OBJETIVOS.....	11
3. O EFEITO ESTUFA.....	12
3.1. A atmosfera e o efeito estufa.....	12
3.2. O efeito estufa e o aquecimento global.....	15
3.3. A dinâmica dos principais agentes causadores do efeito estufa.....	17
3.3.1. O vapor de água.....	18
3.3.2. O dióxido de carbono.....	19
3.3.3. Outros gases indutores do efeito estufa.....	24
4. INTERAÇÃO ENTRE RADIAÇÃO E MATÉRIA.....	26
4.1. A radiação e a matéria.....	26
4.2. A absorção de radiação do ponto de vista macroscópico.....	27
4.3. A absorção de radiação do ponto de vista microscópico.....	28
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
5.1. O analisador de gases LI – 840.....	32
5.2. Calibração do LI – 840.....	33
5.3. Área em estudo.....	35
5.4. Metodologia.....	37
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
7. CONCLUSÕES.....	41
8. REFERÊNCIAS.....	43
9. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.....	47

## 1. INTRODUÇÃO

Discussões acerca de questões ambientais estão em foco atualmente. Assuntos como, por exemplo, o desmatamento de matas nativas em prol da agricultura, o uso de monoculturas, como cana-de-açúcar e soja, o novo código florestal brasileiro, entre outros figuram com considerável frequência nos noticiários, de modo que tais questões já começam a fazer parte do dia a dia de muitas pessoas. Dentre estas, uma das mais discutidas é o aquecimento global, atribuído principalmente ao efeito estufa.

O efeito estufa é causado pela presença de certos gases na atmosfera terrestre, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), sendo que tal efeito está intimamente ligado à concentração destes gases. Em locais onde há, por exemplo, uma concentração maior de  $\text{CO}_2$  percebe-se uma acentuação nas consequências do efeito estufa (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010). Portanto, o estudo da dinâmica dos gases causadores de tal efeito torna-se extremamente importante para a compreensão do mesmo bem como de suas consequências.

Em função disso surgem, a cada dia, inúmeras pesquisas, de várias áreas diferentes do conhecimento, acerca da dinâmica de tais gases e das consequências de tais dinâmicas. Dentre estas se encontra a análise da concentração de dióxido de carbono e de vapor de água em locais de determinado interesse, como, por exemplo, as interfaces cidade – floresta. Em alguns desses estudos, como é o caso deste trabalho de conclusão de curso (TCC), utilizam-se aparelhos que funcionam a partir do mesmo princípio pelo qual ocorre o efeito estufa: a interação da radiação infravermelha (IR) com determinados gases em comprimentos de onda específicos.

Neste TCC utilizou-se o analisador de dióxido de carbono e vapor de água LI – 840 da empresa LI – COR<sup>®</sup> Biosciences. Este é um analisador de gases não dispersivo cuja medida de concentração é baseada na diferença entre a taxa de absorção de IR pela amostra do gás em questão e de uma amostra de gás padrão (LI – COR BIOSCIENCES, 2003; RODRIGUES, 2010). Antes de ser utilizado o LI – 840 foi calibrado no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), com o auxílio de uma amostra cuja concentração de  $\text{CO}_2$  e vapor de  $\text{H}_2\text{O}$  era conhecida.

Utilizou-se o LI – 840 neste TCC para verificar a dinâmica das trocas de  $\text{CO}_2$  e vapor de  $\text{H}_2\text{O}$  na interface bairro – cultura de eucalipto da reserva Floresta Estadual Edmundo

Navarro de Andrade através das medias de concentração de tais gases. A partir de uma adaptação feita pelo aluno do Programa de Pós Graduação em Física do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro – SP, Leandro Xavier, foi possível realizar tais medidas em campo, de modo que, sem tal adaptação, seria necessário efetuar a coleta de amostras nas fronteiras em estudo e realizar os experimentos em laboratório.

Estudos como este são relativamente recentes dentro de várias áreas do meio científico, como, por exemplo, da física. Nas últimas décadas muitos pesquisadores estão começando a olhar com mais atenção para as questões ambientais, de modo que só agora é que o conhecimento acerca de tais questões começa a se estabelecer melhor. O mesmo pode-se afirmar a respeito das metodologias aplicadas às pesquisas nas áreas ambientais, pois são tão recentes quanto o interesse dos cientistas pela área. Isso acaba dando base ao surgimento de muitas polêmicas relacionadas à área ambiental, visto que ainda não há certezas sobre inúmeros assuntos dentro da mesma. Nesse sentido, trabalhos como esse TCC, surgem para acrescentar mais informações e, dessa maneira, contribuir para a consolidação do conhecimento na área.

## 2. OBJETIVOS

Dentre os objetivos desse TCC, o principal é contribuir para o estabelecimento dos mecanismos de transferência de massa entre uma região de floresta e uma região urbana através do estudo da interface entre a Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade e a cidade de Rio Claro. Com isso, espera-se auxiliar para um entendimento mais amplo do efeito estufa através da análise das trocas de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  na interface em questão, mostrando a influência e o custo benefício ambiental dessa interação.

Além disso, espera-se contribuir para o estabelecimento de uma metodologia adequada a tal análise, visto que tais estudos são relativamente recentes dentro da comunidade científica e, graças a isso, sua metodologia ainda não está completamente desenvolvida.

Por fim, espera-se que tal trabalho possa servir como referência a futuros estudos, fornecendo uma base teórica clara e objetiva aos mesmos.

### 3. O EFEITO ESTUFA

#### 3.1. A atmosfera e o efeito estufa

<i>Gás</i>	<i>Porcentagem</i>	<i>Partes por Milhão</i>
Nitrogênio	78,08	780.000,0
Oxigênio	20,95	209.460,0
Argônio	0,93	9.340,0
Dióxido de carbono	0,035	350,0
Neônio	0,0018	18,0
Hélio	0,00052	5,2
Metano	0,00014	1,4
Kriptônio	0,00010	1,0
Óxido nitroso	0,00005	0,5
Hidrogênio	0,00005	0,5

**Tabela 1:** Composição atmosférica desconsiderando-se o vapor de água. (Fonte: GRIMM, Alice Marlene, Meteorologia Básica - Notas de Aula. Universidade Federal do Paraná – Departamento de Física, setembro de 2009. Disponível em <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap1/cap1-2.html>. Acesso em 28/08/2011)

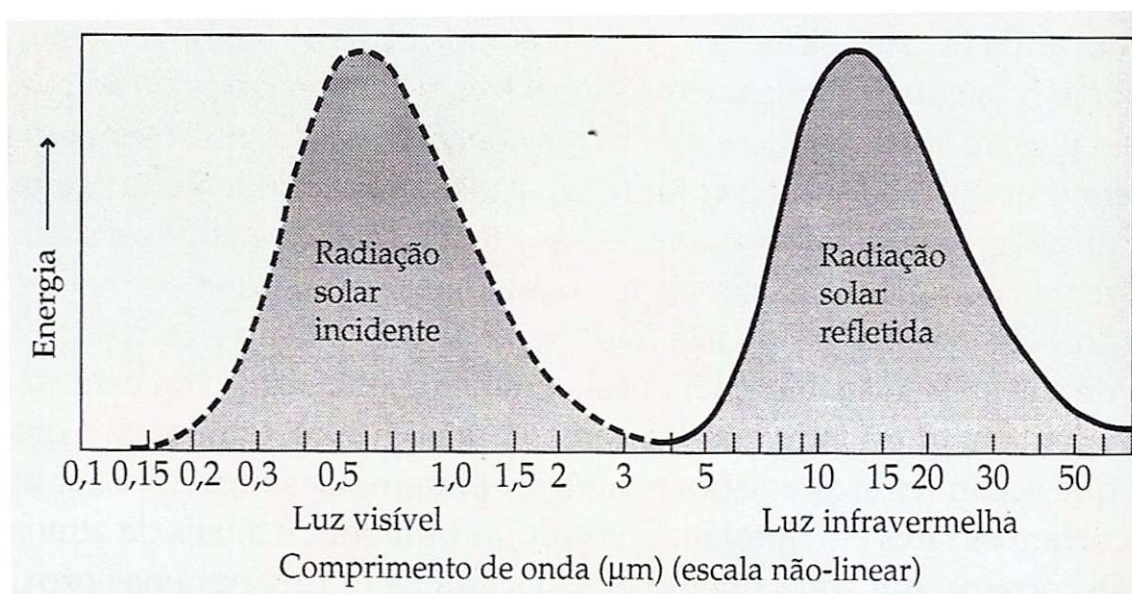
A maior parte da energia que incide sobre a Terra origina-se no Sol e chega ao planeta em forma de radiação eletromagnética. Esta, por sua vez, é a principal responsável por manter o planeta aquecido, sendo que outras fontes de calor, por exemplo, o manto terrestre, podem ser desconsideradas perante a grande quantidade de energia vinda do Sol.

Apesar do comprimento de onda dessa energia proveniente do Sol estar compreendido entre o infravermelho (IR) e o ultravioleta (UV), a parcela que chega ao planeta com maior intensidade

encontra-se na região da luz visível, situada entre  $0,4\mu\text{m}$  e  $0,75\mu\text{m}$ , como podemos ver na parte tracejada da figura 1.

Através dessa figura verifica-se também que recebemos uma quantidade considerável de energia na faixa do IR (entre  $0,75\mu\text{m}$  e  $3\mu\text{m}$ ) (BAIRD; CANN, 2011).

A atmosfera é basicamente uma camada de gases que envolve todo o planeta. Desconsiderando-se o sempre presente, mas variável, vapor de água, uma porção não poluída da atmosfera é composta basicamente por nitrogênio ( $N_2$ ), oxigênio ( $O_2$ ), argônio (Ar), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), além de outros gases, como podemos ver na tabela 1 (GRIMM, 2009). Tais gases servem como um tipo de filtro contra a radiação solar, impedindo que parte dessa radiação atinja a superfície. Além disso, é graças a eles que não temos uma variação muito grande na temperatura do planeta em relação a um valor médio. Isso se deve à capacidade das moléculas de absorver ou refletir radiação em determinados comprimentos de onda, ou seja, deve-se aos tipos de interação que podem ocorrer entre radiação e matéria.

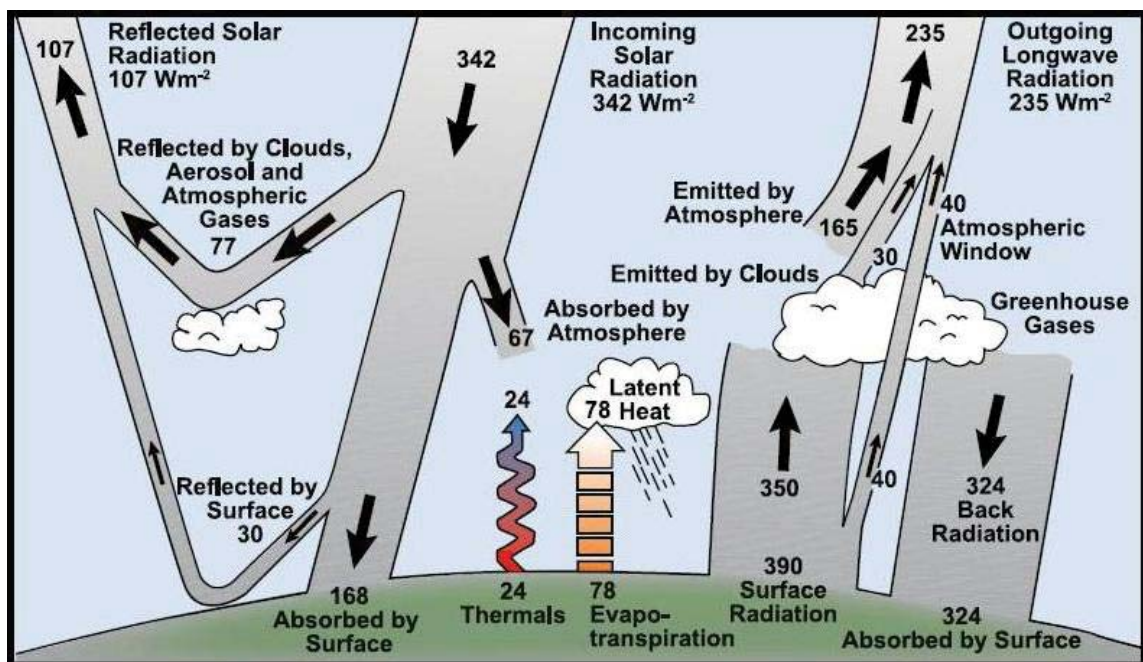


**Figura 1:** Gráfico da intensidade de energia recebida do sol e emitida pela terra, em forma de radiação, em função do comprimento de onda (escalas diferentes). (Fonte: BAIRD, C. **Química Ambiental**. Tradução de Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002)

De toda a energia que chega a Terra em forma de radiação eletromagnética, cerca de 20% é absorvida pelos gases atmosféricos, 50% atinge a superfície, sendo então absorvida e 30% é refletida de volta ao espaço pelas nuvens, geleiras, entre outros (BAIRD; CANN, 2011). A parcela absorvida pela Terra é convertida em outros tipos de energia, como, por exemplo, na energia térmica responsável por manter o planeta aquecido. Fatores como distância entre a Terra e o Sol, a ação da atmosfera como “filtro” de radiação, entre outros, propiciam as condições necessárias à manutenção da biodiversidade no planeta, sendo que pequenas alterações na quantidade de energia que incide sobre o mesmo ou na composição atmosférica podem causar muitas mudanças nas condições à vida na Terra.

Da mesma maneira que qualquer outro corpo aquecido, a Terra também emite energia em forma de radiação, de modo que para a temperatura no planeta permanecer constante a quantidade total de energia emitida deve ser igual à quantidade total de energia absorvida. Essa radiação emitida, cujo comprimento de onda compreende-se principalmente entre  $5\mu\text{m}$  e  $50\mu\text{m}$  (linha contínua da figura 1), é denominada de IR térmico, visto que é calor manifestando-se em forma de radiação (BAIRD; CANN, 2011).

Parte do IR térmico, após ser emitido pelo planeta, é então absorvido por determinados gases atmosféricos e então reemitido aleatoriamente em todas as direções, inclusive de volta à superfície. Sendo assim, parte do calor emitido pelo planeta retorna ao mesmo, ocasionando a ele um sobreaquecimento. Desse modo, essa camada de gases atmosféricos que absorve o IR térmico funciona como um “cobertor”, pois ela impede que parte do calor emitido pela Terra escape para o espaço, retendo-o no planeta (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010). Na figura 2 temos um esquema representando as interações envolvidas nesse processo.

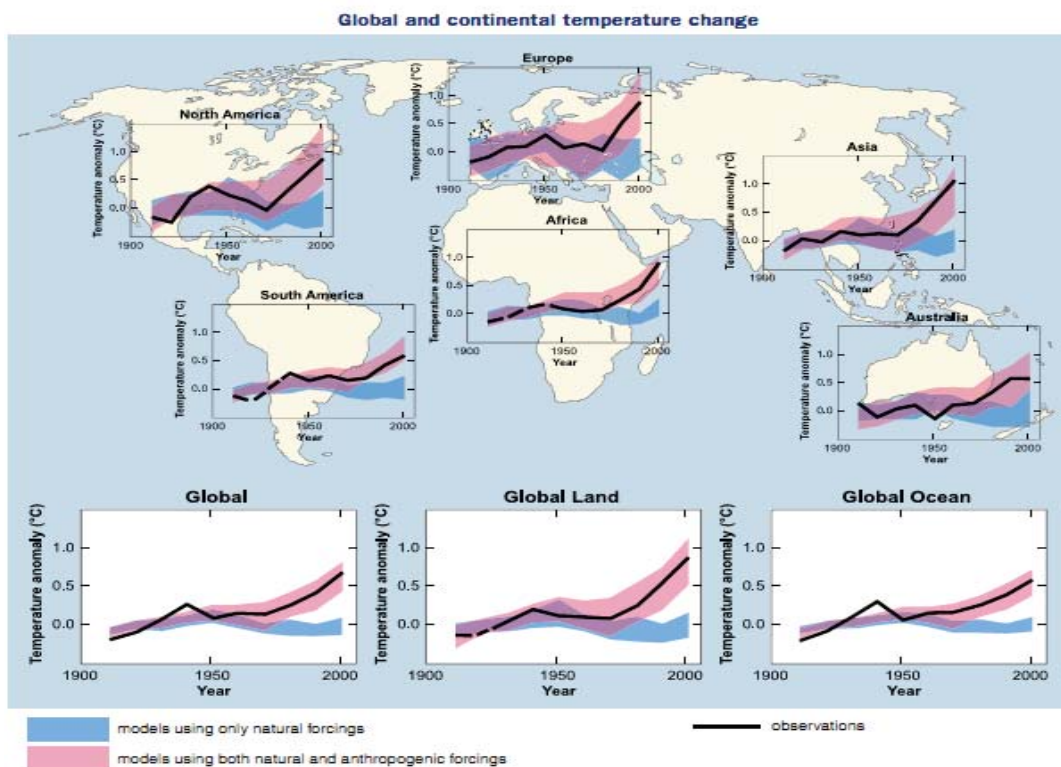


**Figura 2:** Representação da transmissão, reflexão, absorção e emissão de radiação da atmosfera e superfície terrestre. (Fonte: Sol e Mudanças Climáticas – É o Sol que Manda no Clima na Terra. Disponível em <http://sandcarioca.wordpress.com/2011/06/07/provas-de-que-raios-cosmicos-sementes-nuvens/>. Acesso em 18/09/2011)

Esse efeito, causado por gases como  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , de reter parte do calor emitido pela Terra denomina-se *Efeito Estufa* e é graças a ele que a variação de temperatura no planeta em torno de uma temperatura média não é grande. Um exemplo, que mostra como a falta de tais gases acarreta em uma variação maior de temperatura, é o caso de determinados desertos, nos quais a concentração de vapor de água na atmosfera é muito baixa. Nesses locais a variação de temperatura entre a noite e o dia é muito superior à variação em lugares onde a umidade relativa do ar é maior. No deserto do Saara, por exemplo, situado no centro-norte do continente africano, registram-se, em determinados locais, temperaturas superiores  $50^\circ\text{C}$  durante o dia e de até  $-5^\circ\text{C}$  durante a noite (SUA PESQUISA.COM).

### 3.2. O efeito estufa e o aquecimento global

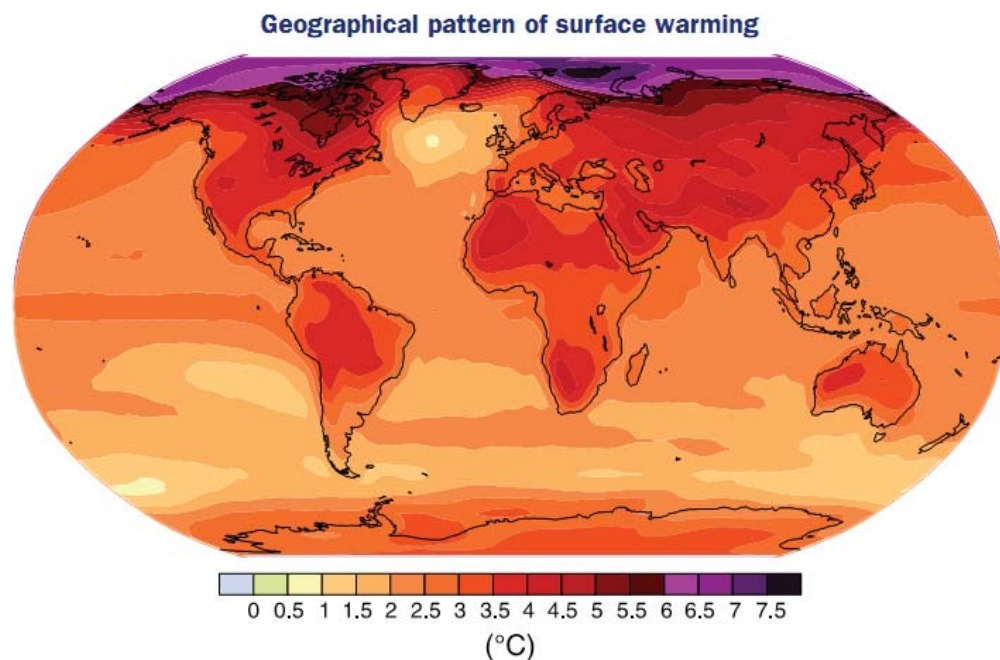
Diferentemente do que muitas pessoas acreditam, o efeito estufa está presente no planeta há milhares de anos, sendo que ele é de grande importância para a manutenção das condições climáticas na Terra do modo que conhecemos e estamos habituados. Porém esse



**Figura 3:** Variação da temperatura global e continental nos últimos 100 anos. (Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponível em <http://www.ipcc.ch/graphics/syr/spm4.jpg>. Acesso em 28/08/2011)

efeito vem se intensificando bastante nas últimas décadas e isso está causando uma série de alterações no planeta, principalmente climáticas. Nota-se, por exemplo, que nos últimos 40 anos a temperatura média da atmosfera terrestre sofreu um acréscimo superior a  $0,4^{\circ}\text{C}$ , como podemos ver na figura 3. Vale lembrar que o efeito estufa não é o único responsável por esse aquecimento global, pois no último século a quantidade de energia que atinge a Terra, proveniente do Sol, está cerca de 0,24% maior. Mesmo assim, a maior parte do acréscimo na temperatura média do planeta é uma consequência direta da intensificação do efeito estufa (BAIRD; CANN, 2011).

Projeções, baseadas na variação de temperatura provocada pelo efeito estufa no período de 1980 a 1999, indicam que, nas condições atuais de aumento da concentração atmosférica dos gases indutores do efeito estufa, no final do século 21 as temperaturas registradas em determinados locais do planeta podem ser até  $7,5^{\circ}\text{C}$  maior do que atualmente, como podemos ver na figura 4 (IPCC,2007).



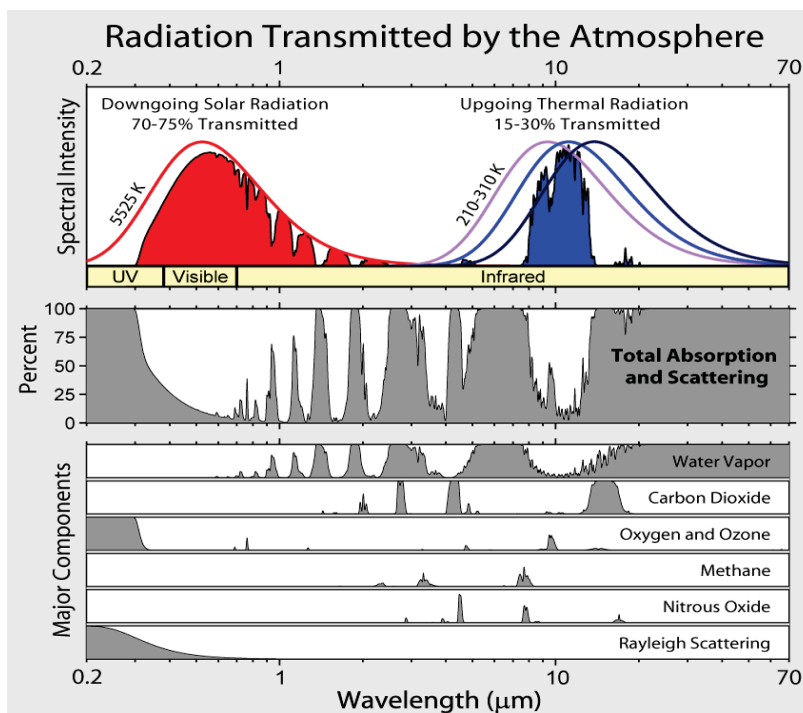
**Figura 4:** Projeção para o aumento da temperatura da superfície do planeta no final do século 21. (Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponível em <http://www.ipcc.ch/graphics/syr/spm6.jpg>. Acesso em 28/08/2011)

Entretanto, existem alguns pesquisadores que discordam das projeções acerca do efeito estufa e aquecimento global. Segundo eles, a Terra passa naturalmente por períodos de aquecimento e de resfriamento, de modo que os fenômenos naturais registrados ultimamente, como o derretimento das geleiras, a maior incidência de furacões, tempestades, terremotos, entre outros, fazem parte da variabilidade natural do sistema climático terrestre. Eles afirmam

que a existência do aquecimento global e suas consequências não são teorias solidamente estabelecidas, mas sim saídas de modelos matemáticos climáticos que não representam adequadamente a realidade (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2011).

Outros cientistas afirmam que há sim um aquecimento global e alterações importantes no clima terrestre, porém tais alterações são decorrentes de alterações na atividade solar e não das ações do homem. Tal afirmação baseia-se principalmente em observações realizadas pela Agência Espacial Americana (NASA – National Aeronautics and Space Administration), nas quais se constatou o aquecimento de outros planetas do sistema solar e alguns de seus satélites, além do planeta Terra. De acordo com esses cientistas, o fato de outros planetas do sistema solar também estarem aquecendo exime as ações do ser humano como a principal causa pelas alterações globais que vêm sendo registradas (MARSHALL, 2007).

### 3.3. Adinâmica dos principais gases cusadores do efeito estufa



**Figura 5:** Intensidade de radiação emitida pelo planeta em função do comprimento de onda e faixas de absorção dos principais gases indutores do efeito estufa. (Fonte: Global Warming Art. Disponível em [http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Atmospheric\\_Transmission.png](http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Atmospheric_Transmission.png). Acesso em 27/09/2011)

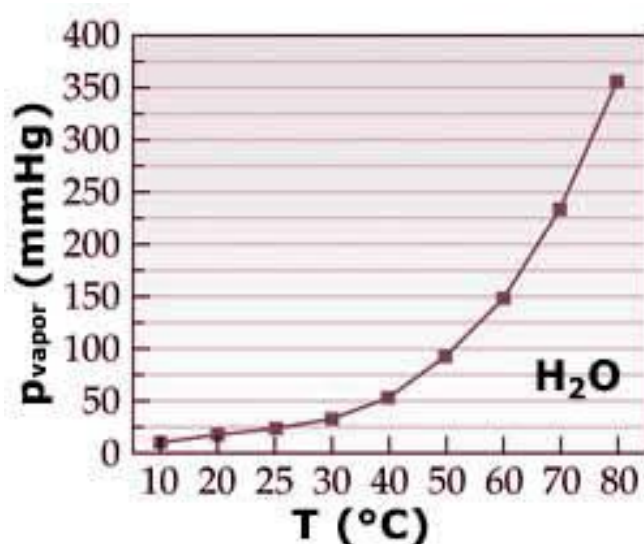
Como dito anteriormente, o efeito estufa deve-se à capacidade de determinados gases, presentes na atmosfera, absorverem e, depois de um pequeno intervalo de tempo, reemitirem IR térmico em várias direções, de maneira completamente aleatória. Cada um desses gases têm a capacidade de absorver IR em comprimentos de onda específicos, resultando numa ampla faixa de absorção da

radiação térmica emitida pelo planeta Terra (aproximadamente 70% da radiação emitida pelo planeta é absorvida pelos gases atmosféricos e reemitidas em direções aleatórias) (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010). Na figura 5 podemos verificar as faixas de absorção de radiação dos principais gases causadores do efeito estufa, bem como a superposição dessas faixas.

### 3.3.1. O vapor de água

O principal responsável pelo efeito estufa é o vapor de água, pois, apesar de ser menos eficiente que os demais gases, ele está presente em grande quantidade no ar. Praticamente todo o IR térmico emitido pela Terra na região entre 5,5  $\mu\text{m}$  e 7,5  $\mu\text{m}$  é absorvido pelo  $\text{H}_2\text{O}$ . Além disso, o vapor de água também absorve IR de comprimento de onda igual ou superior a 18  $\mu\text{m}$ . A quantidade de IR emitido pelo planeta com comprimento de onda inferior a 8  $\mu\text{m}$  é relativamente baixa, de modo que o IR que mais contribui para o efeito estufa, a partir de sua interação com o vapor de água, encontra-se em faixas de comprimento de onda superiores a 18  $\mu\text{m}$  (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010).

A concentração de  $\text{H}_2\text{O}$  no ar está intimamente ligada à temperatura, de modo que sua



**Figura 6:** Gráfico da pressão de vapor da água em função da variação da temperatura. (Fonte: A pressão de Vapor e a Umidade Relativa do Ar. Universidade Federal de Santa Catarina – Instituto de Química. Disponível em [http://www.qmc.ufsc.br/quimica/pages/aulas/gas\\_pag\\_e4.html](http://www.qmc.ufsc.br/quimica/pages/aulas/gas_pag_e4.html). Acesso em 15/09/2011)

pressão de vapor de equilíbrio aumenta exponencialmente com o aumento da temperatura (figura 6). Isso faz com que a quantidade de água presente na atmosfera seja muito variável. Sendo assim, a concentração atmosférica de  $\text{H}_2\text{O}$  está sujeita à ação dos demais gases indutores do efeito estufa, ou seja, qualquer aquecimento causado por tais gases provocará um aumento da concentração de vapor de água no ar e, conseqüentemente, a intensificação do efeito estufa. Devido à dependência que a concentração atmosférica de vapor de água possui em relação à temperatura, a

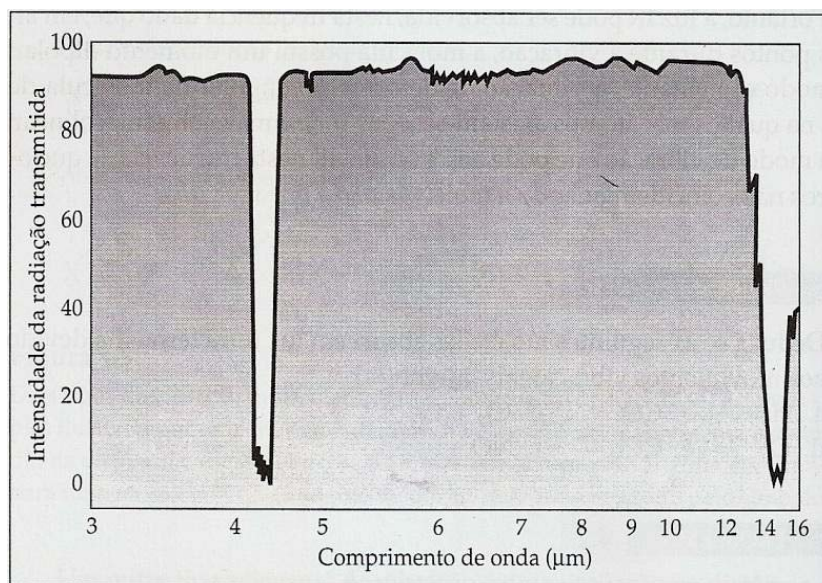
água não é habitualmente incorporada à lista de gases indutores do efeito estufa, pois sua concentração está indiretamente ligada à concentração de outros gases (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010; GRIMM, 2009).

Além de sua forma gasosa, a água também é encontrada na atmosfera em forma líquida, como é o caso das nuvens. Nessa condição ela pode tanto absorver IR térmico quanto refletir radiação solar incidente de volta ao espaço. Sabe-se que nuvens situadas a baixas altitudes refletem mais luz solar do que absorvem IR térmico, enquanto que as nuvens mais altas possuem um comportamento oposto a esse. Logo, as nuvens mais baixas agem resfriando o planeta, ao contrário das nuvens mais altas que agem aquecendo o mesmo. Dados indicam que a presença de nuvens em regiões tropicais tem um efeito nulo sobre a temperatura do planeta, enquanto que as nuvens situadas mais ao norte causam uma pequena diminuição em tal temperatura. Apesar disso, ainda não é possível afirmar se uma quantidade maior de nuvens, devido à maior concentração de água na atmosfera, produzirá o aquecimento ou o resfriamento do planeta (BAIRD; CANN, 2011).

### **3.3.2. O dióxido de carbono**

Devido ao fato de que o vapor de água geralmente não é incorporado à lista de gases intensificadores do efeito estufa, o dióxido de carbono é tido como o principal responsável por esse fenômeno. Apesar de ele ser menos eficiente em absorver IR térmico que outros gases presentes em tal lista, sua concentração é muito superior à dos demais gases, de modo que isso compensa a sua baixa eficiência (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010).

Atualmente, o CO<sub>2</sub> absorve cerca de metade do IR térmico nas regiões compreendidas entre 12 μm e 14 μm e entre 16 μm e 18 μm. Ele também absorve radiação cujo comprimento de onda gira em torno de 4,3 μm, porém a absorção potencial nesse comprimento de onda não é importante, visto que a Terra emite pouca energia com tal comprimento (BAIRD; CANN, 2011). Na figura 7 temos o espectro de absorção de radiação do CO<sub>2</sub>. Nela podemos verificar que, apesar do CO<sub>2</sub> absorver IR térmico em duas pequenas faixas de comprimento de onda, tal absorção é consideravelmente eficiente, pois aproximadamente todo o IR térmico emitido em tais faixas é absorvido pelo dióxido de carbono.

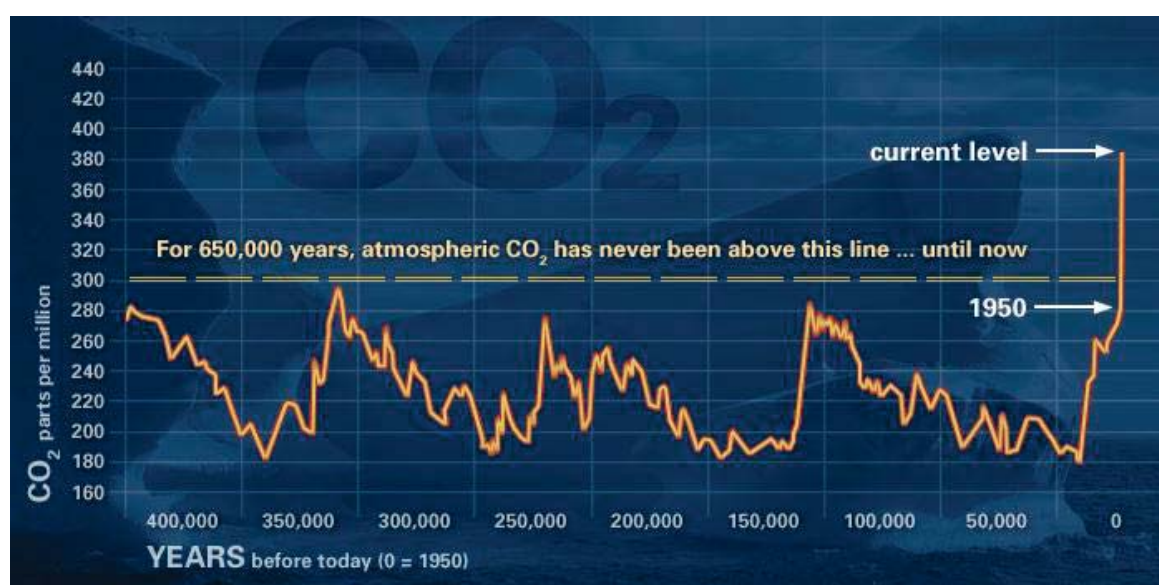


**Figura 7:** Espectro de absorção de radiação do CO<sub>2</sub>. (Fonte: BAIRD, C. *Química Ambiental*. Tradução de Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002)

Estudos da concentração de gases aprisionados em geleiras indicam que a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> manteve-se relativamente estável até eras pré-industriais (figura 8), quando então passou a crescer de maneira acentuada. Dados mostram que antes de 1750 a concentração de CO<sub>2</sub> no ar girava em torno

de 280 ppm, enquanto que em 1998 passou a ser de 350 ppm, ou seja, houve um acréscimo de 30% em sua concentração. Segundo ENVOLVERDE (2011) as emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> cresceram 45% entre 1990 e 2010. Estudos indicam que a atual taxa anual de crescimento da concentração de CO<sub>2</sub> é de aproximadamente 0,4% (1,5 ppm), que é quase o dobro do que na década de 60 (BAIRD; CANN, 2011).

Esse aumento de CO<sub>2</sub> no ar é deve-se principalmente à utilização de combustíveis



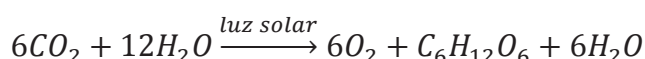
**Figura 8:** Variação da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico em função do tempo. (Fonte: global Climate Change. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Disponível em <http://climate.nasa.gov/evidence/>. Acesso em 28/08/2011)

fósseis. Estima-se que aproximadamente 75% do CO<sub>2</sub> liberado à atmosfera tem sua origem na queima de tais combustíveis, principalmente em indústrias e meios de transporte movidos por motores a explosão. No caso do Brasil, a emissão de gases devido a esse tipo de meio de transporte acaba sendo um pouco mais acentuada que em alguns outros países, visto que, no decorrer de seu desenvolvimento, nosso país colocou em segundo plano meios de transportes que emitem quantidades menores de poluentes, como o ferroviário e o hídrico, privilegiando o transporte rodoviário (LEITE, 2010; OLAYA, 2010; LA SCALA *et al.*, 2009; TEIXEIRA *et al.*, 2010).

Os 25% restantes devem-se principalmente às atividades agrícolas, como quando florestas são devastadas e a madeira é queimada para o preparo do solo para o cultivo de monoculturas ou criação extensiva de gado. Durante o manejo do solo, no seu preparo para as plantações, há a emissão de CO<sub>2</sub> que se encontra armazenado entre os agregados particulados, sendo que nesse caso, uma das origens da emissão desses gases é a ação de microrganismos (OLAYA, 2010; BRITO *et al.*, 2010; TEIXEIRA *et al.*, 2010). No caso do Brasil as emissões de CO<sub>2</sub> oriundas de atividades agrícolas devem-se principalmente ao cultivo de cana-de-açúcar, pois, além do manejo de uma extensa área de terra, em muitos locais promove-se a queima da cana a fim de facilitar sua colheita. Contudo, nos últimos anos as taxas de emissões de dióxido de carbono devido às queimadas nas plantações de cana-de-açúcar apresentam uma considerável queda por conta, principalmente, da mecanização da colheita. Há, igualmente, uma considerável diminuição das emissões oriundas do cultivo de cana na região sudeste, pois, nos últimos anos, vem ocorrendo a transferência do cultivo dessa região para o centro oeste brasileiro (LEITE, 2010; LA SCALA *et al.*, 2009; PANOSSO, 2006).

Diferentemente de algumas outras moléculas, o CO<sub>2</sub> não se decompõe fotoquimicamente. Sendo assim, tais moléculas só são retiradas da atmosfera a partir de sua captura através da fotossíntese ou de sua dissolução na água do mar. Contudo, muitas dessas moléculas recém-capturadas são liberadas de para o ar alguns anos após sua captura, de modo que tal sumidouro é apenas temporário. Um dos únicos sumidouros permanentes para o CO<sub>2</sub> é sua decomposição em águas oceânicas profundas, porém a camada superior dos mares mistura-se muito lentamente com suas camadas mais profundas, fazendo com que o dióxido de carbono recém-dissolvido em águas superficiais demore centenas de anos para atingir as profundezas. Outro sumidouro permanente para o CO<sub>2</sub> é sua precipitação em forma de carbonato de cálcio insolúvel (BAIRD; CANN, 2011).

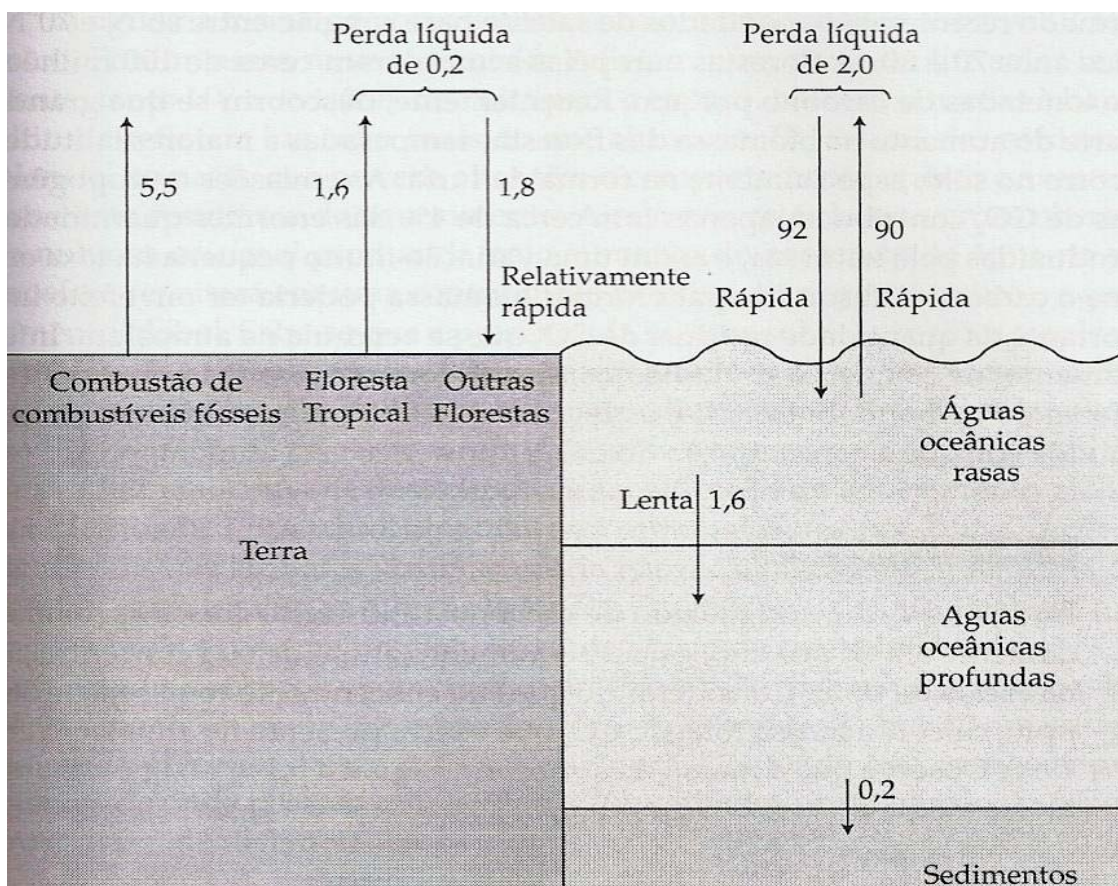
Outra consideração a se fazer em relação à concentração atmosférica de dióxido de carbono é o fato de que há certa flutuação em tal concentração, em determinadas regiões, oriunda das diferentes condições das estações do ano. Durante a primavera e verão nota-se um maior crescimento das plantas e isso resulta em uma maior captura de CO<sub>2</sub> do ar para a formação de glicose (utilizada principalmente na composição vegetal), cuja fórmula química é dada por C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010; LAZZARI), como podemos ver na equação abaixo.



Essa composição vegetal configura-se como um importante sumidouro de CO<sub>2</sub> temporário na época do crescimento das plantas. Já no outono e inverno, com a maior decomposição da matéria orgânica, há uma maior liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, resultando em um aumento da concentração do mesmo nesse período do ano. Esse processo de composição e decomposição orgânica causa algumas flutuações sazonais, sendo que tais flutuações dependem de uma série de fatores, como a altitude, do local, a cobertura vegetal, a latitude, entre outros (BAIRD; CANN, 2011).

O fato de o CO<sub>2</sub> possuir poucos sumidouros permanentes dificulta a análise de um dos principais parâmetros de caracterização dos componentes atmosféricos, que é o tempo médio que tais moléculas permanecem inalteradas no ar. Devido à sua dinâmica e à dinâmica de seus sumidouros uma molécula de CO<sub>2</sub> pode logo ser absorvida definitivamente, bem como pode passar várias décadas num intercâmbio entre o ar, a biomassa e as águas oceânicas. Na dificuldade em se analisar o tempo médio de permanência de uma molécula de CO<sub>2</sub> no ar, avalia-se o tempo necessário para que, a partir de novas emissões, seja atingido o equilíbrio entre o intercâmbio desse gás entre o ar, a biomassa e os mares. Estima-se que esse tempo varie de 50 a 100 anos, sendo que quase metade das novas emissões são rapidamente incorporadas ao sistema ar-biomassa-oceano (cerca de 1 a 2 décadas), enquanto que o restante de tais emissões requerem um período muito maior para serem incorporadas. Algumas estimativas indicam que aproximadamente 56% das emissões ocorridas na última década ainda não foram incorporadas ao sistema de intercâmbio ar-biomassa-oceanos (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010). A figura 10 ilustra os fluxos anuais de CO<sub>2</sub> na década de 80. Nessa figura podemos ver, por exemplo, que na referida década o oceano capturou anualmente cerca de 92 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, porém ele liberou para a atmosfera cerca

de 90 bilhões de toneladas, resultando em uma captura líquida de apenas 2 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.



**Figura 9:** Intercâmbio anual de CO<sub>2</sub> entre a atmosfera, o solo e o oceano na década de 80. (Fonte: BAIRD, C. **Química Ambiental**. Tradução de Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman, 2002)

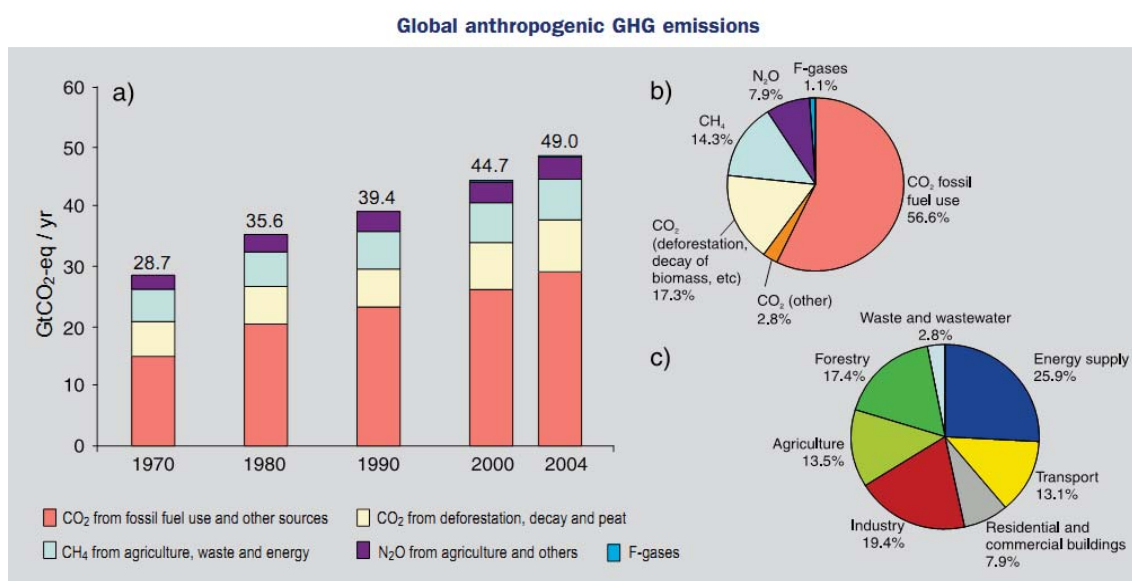
Estudos indicam que a concentração de gás carbônico na atmosfera vem aumentando a cada década. Análises realizadas nas quantidades de CO<sub>2</sub> emitidas e absorvidas nas décadas de 80 e 90 indicam que as emissões antropogênicas aumentaram de 5,5 bilhões para 6 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Parte da comunidade científica defende que esse crescimento nas quantidades de gás carbônico liberados ao ar é um dos principais responsáveis por uma série de alterações no planeta, desde alterações de caráter regional como de caráter mundial. Segundo eles, o principal exemplo disso são as alterações climáticas que vêm sendo registradas (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010; IPCC, 2007).

### 3.3.3. Outros gases indutores do efeito estufa

**Tabela 2:** Principais gases indutores do efeito estufa e sua capacidade de aquecimento. (Fonte: GRIMM, Alice Marlene, Meteorologia Básica - Notas de Aula. Universidade Federal do Paraná – Departamento de Física, setembro de 2009. Disponível em <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap1/cap1-2.html>. Acesso em 28/06/2011)

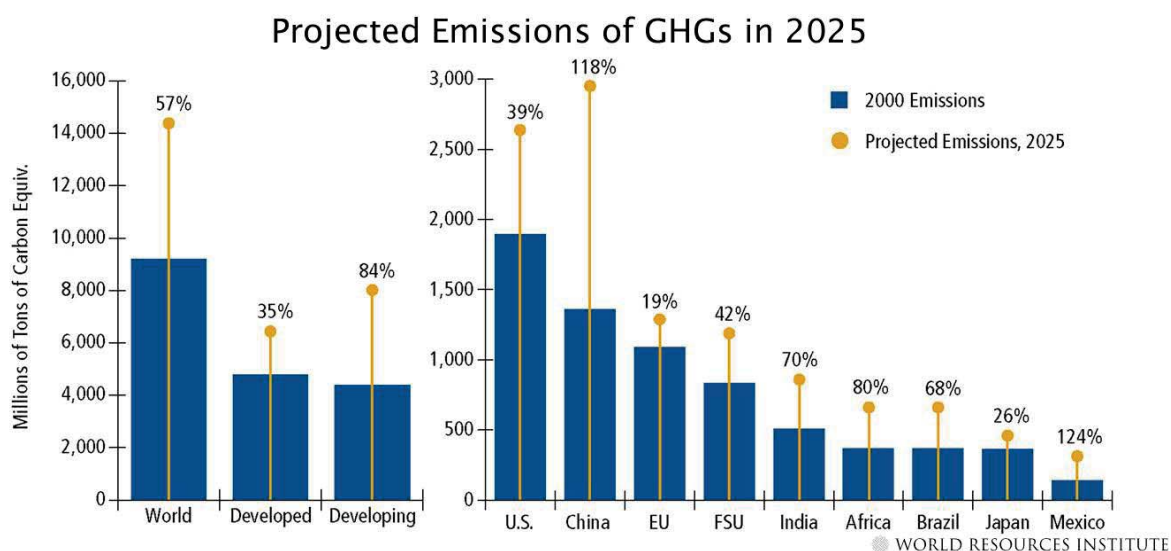
Gás	Concentração (ppm)	Aquecimento Estufa ( $W.m^{-2}$ )
Vapor de água	~3000	~100
CO <sub>2</sub>	345	-50
CH <sub>4</sub>	1,7	1,7
N <sub>2</sub> O	0,3	1,3
O <sub>3</sub>	10-100x10 <sup>-3</sup>	1,3
CFC11	0,22x10 <sup>-3</sup>	0,06
CFC12	0,38x10 <sup>-3</sup>	0,12
Halocarbonos		0,34

Outros gases indutores do efeito estufa, como metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) encontram-se presentes na atmosfera em quantidades muito inferiores que o vapor de água e o dióxido de carbono, porém isso não significa que eles devem ser ignorados, pois como podemos ver na tabela 2, apesar de possuírem uma baixa concentração atmosférica, possuem uma alta eficiência na absorção de radiação térmica. Graças a isso, nos últimos anos esses gases, geralmente chamados de gases traço, vêm sendo observados com maior atenção, pois a concentração atmosférica de alguns deles está crescendo a taxas preocupantes, de modo que as previsões acerca das consequências desse crescimento chegam a ser mais inquietantes que as previsões acerca do aumento na concentração atmosférica do CO<sub>2</sub> (GRIMM, 2009; ENVOLVERDE,



**Figura 10:** Emissões antropogênicas dos gases indutores do efeito estufa nas últimas décadas. (Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponível em <http://www.ipcc.ch/graphics/syr/spm3.jpg>. Acesso em 28/08/2011 )

2011). A figura 10 ilustra o crescimento das emissões antropogênicas de gases indutores do efeito estufa, bem como suas principais fontes de emissão, e a figura 11 mostra a quantidade, em milhões de toneladas equivalentes de carbono, de gases intensificadores do efeito estufa emitidos em 2000 e as projeções de emissões para 2025.

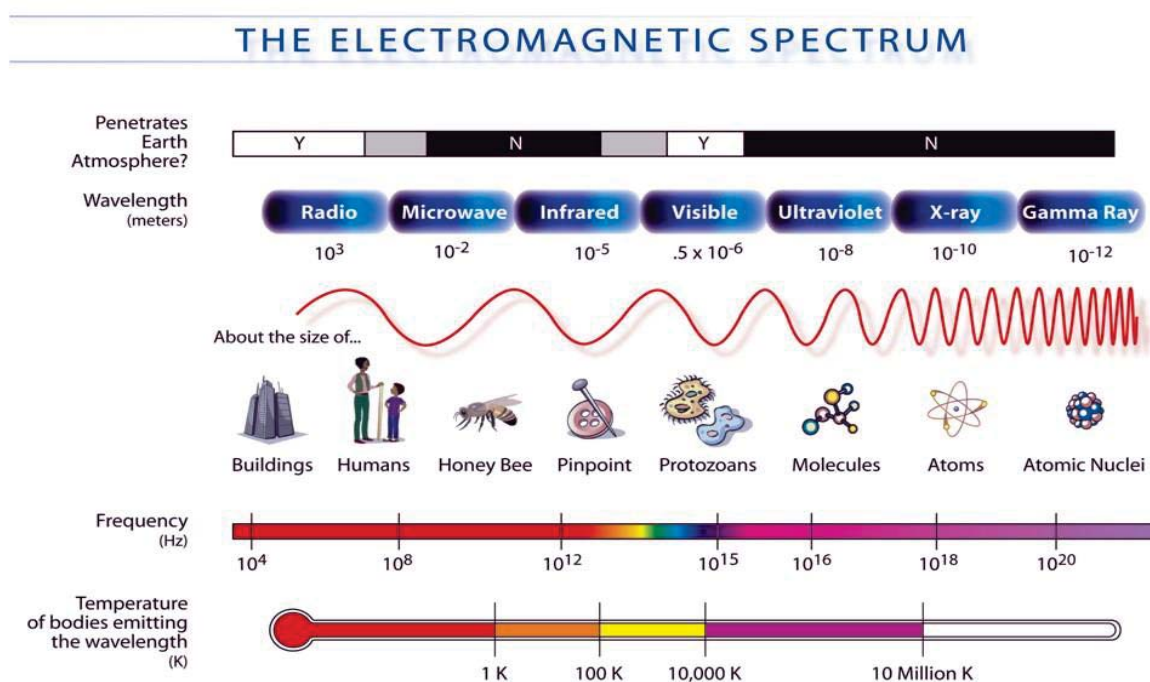


**Figura 11:** Quantidade, em milhões de toneladas equivalentes de carbono, dos gases indutores do efeito estufa emitidos em 2000 e projeções para 2025. (Fonte: Climate Analysis Indicators Tool (CAIT). Disponível em <http://cait.wri.org/figures.php?page=ntn/3-1&view=100>. Acesso em 28/08/2011)

## 4. INTERAÇÃO ENTRE RADIAÇÃO E MATÉRIA

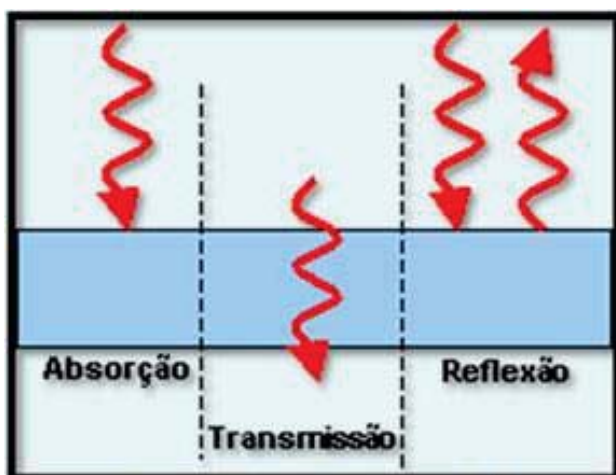
### 4.1. A radiação e a matéria

Como foi dito anteriormente o planeta recebe energia, proveniente principalmente do Sol, em forma de radiação eletromagnética. Dessa radiação a quantidade máxima de energia recebida situa-se na região da luz visível (ver espectro eletromagnético na figura 12) e o restante distribui-se dentre os demais comprimentos de onda, sendo que a intensidade da energia recebida diminui conforme seu comprimento de onda distancia-se da faixa do visível (BERBERAN, 2005).



**Figura 12:** Espectro de radiação eletromagnética. (Fonte: The Electromagnetic Spectrum. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Disponível em <http://my.nasadata.larc.nasa.gov/ElectroMag.html>. Acesso em 15/09/2011)

A maior parte da energia que atinge as camadas inferiores da atmosfera distribui-se entre a luz visível e o infravermelho, pois a radiação nos demais comprimentos de onda, principalmente na faixa do ultravioleta (UV), é removida na estratosfera. Parte da energia que atinge o planeta é refletida de volta ao espaço, sendo que a quantidade máxima de energia refletida situa-se da faixa do infravermelho (BAIRD; CANN, 2011).



**Figura 13:** Representação da interação entre radiação (fótons) e matéria. (Fonte: Actividade laboratorial – Relatório. Absorção e Emissão de Radiação. Nota Positiva. Disponível em [http://www.notapositiva.com/pt/trbestbs/fisica/10\\_absorcao\\_emissao\\_radiacao.htm](http://www.notapositiva.com/pt/trbestbs/fisica/10_absorcao_emissao_radiacao.htm). Acesso em 15/09/2011)

Toda essa dinâmica envolvendo a energia em vários comprimentos de onda e o planeta é determinada pela interação entre essa energia, em forma de radiação eletromagnética, e a matéria presente no planeta. A radiação incidente sobre um sistema macroscópico pode ser transmitida, refletida ou absorvida (figura 13). Na transmissão a radiação simplesmente “passa” pela matéria sem sofrer nenhuma alteração (sua energia, velocidade e direção de propagação permanecem constantes). Na reflexão há a mudança na direção de propagação da radiação, porém sua energia

e velocidade permanecem as mesmas. Por fim, na absorção ocorre a transferência de energia da onda eletromagnética para a matéria (BERBERAN, 2005; CUSTODIO *et al.*).

No caso desse trabalho há um particular interesse na absorção de radiação, pois além do fato de o efeito estufa ser causado pela absorção de radiação na faixa do IR térmico por algumas moléculas, as medidas de concentração de CO<sub>2</sub> e vapor de água são baseadas nesse fenômeno (RODRIGUES, 2010). Sendo assim, na seção seguinte iremos investigar um pouco melhor a absorção de radiação, tanto do ponto de vista macroscópico quanto do microscópico.

#### 4.2. A absorção de radiação do ponto de vista macroscópico

Do ponto de vista do estudo macroscópico da absorção de radiação pela matéria, destacam-se as experiências de Pierre Bouguer (1729) e Heindrich Lambert (1760), quando, independentemente, eles verificaram as relações entre as intensidades de luz incidente ( $I_0$ ) e transmitida ( $I$ ) por determinado meio. A partir de seus estudos foi verificado que a intensidade de luz (luz monocromática) transmitida por um corpo homogêneo é proporcional à intensidade de luz incidente e que a intensidade da luz transmitida decresce exponencialmente

com a espessura do meio (TORGINHO FILHO, 2010; CUSTODIO *et al.*, 2000; MOORE, 1976), como podemos ver na equação

$$I = I_0 e^{-kb} \quad \text{equação 1}$$

onde  $k$  é o coeficiente de absorção e  $b$  é a espessura do meio em questão.

Posteriormente, em 1852, a partir de seus estudos August Beer verificou que, para um meio de espessura constante, a intensidade da luz transmitida decresce exponencialmente com o aumento aritmético da concentração ( $c$ ) do meio (TORGINHO FILHO, 2010; CUSTODIO *et al.*, 2000; MOORE, 1976). Sendo assim, a lei da absorção de radiação, mais conhecida como Lei de Bouguer – Lambert – Beer é escrita na forma

$$I = I_0 e^{-kbc} \quad \text{equação 2}$$

Desse modo, a Lei de Bouguer – Lambert – Beer é uma relação empírica que associa a absorção de radiação do meio com suas propriedades físicas. Essa lei pode ser utilizada para descrever a absorção de radiação solar pela atmosfera terrestre segundo a equação

$$I = I_0 e^{-(k_a+k_g+k_w+k_{O_3}+k_{NO_2}+k_r)bc} \quad \text{equação 3}$$

onde  $k_a$  representa o coeficiente de absorção dos aerossóis,  $k_g$  o coeficiente de absorção de gases uniformemente misturados, como  $O_2$  e  $CO_2$ ,  $k_w$  o coeficiente de absorção das moléculas de água,  $k_{O_3}$  o coeficiente de absorção do ozônio,  $k_{NO_2}$  o coeficiente de absorção do dióxido de nitrogênio e  $k_r$  o coeficiente de dispersão de Rayleigh para o  $O_2$  e o  $N_2$  (TORGINHO FILHO, 2010). Além disso, analisadores de gases por IR térmico, como o LI – 840, tem seu funcionamento baseado na lei Bouguer – Lambert – Beer (RODRIGUES, 2010).

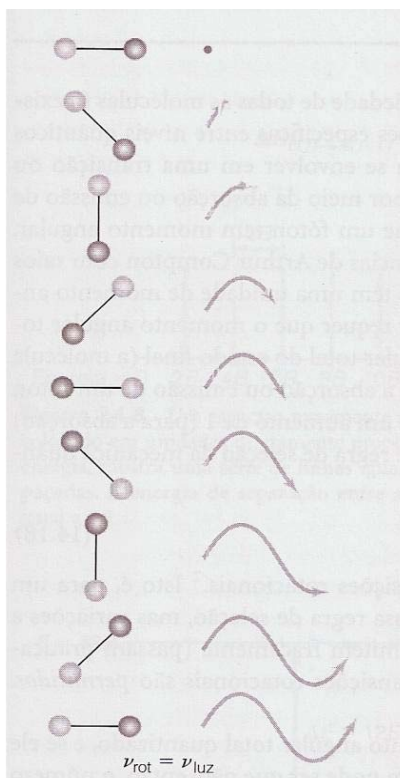
#### 4.3. A absorção de radiação do ponto de vista microscópico

Do ponto de vista microscópico os sistemas macroscópicos são formados por um conjunto de moléculas, sendo que estas se encontram em constante movimento, tanto rotacionais quanto vibracionais. Esses movimentos são de grande importância para o estudo

da absorção de energia, pois é a frequência de tais movimentos que discrimina em quais comprimentos de onda ocorrerão as absorções. Contudo, a molécula estar em movimento não é o bastante para que ocorra absorção, de modo que determinadas moléculas podem apresentar uma série de movimentos diferentes, porém apresentar absorção de energia associada a apenas alguns desses movimentos (BALL, 2006; ATKINS; PAULA, 2002; MOORE, 1976).

Do ponto de vista clássico, ondas eletromagnéticas são campos elétricos e magnéticos oscilantes, vinculados e que se propagam perpendiculares entre si. Logo, para que este interaja com uma molécula é necessário que a molécula também apresente um campo eletromagnético oscilante. Só haverá a absorção de energia quando a frequência de oscilação do campo eletromagnético associado à molécula for aproximadamente igual à frequência de oscilação da onda eletromagnética a ser absorvida (BALL, 2006; BERBERAN, 2005).

Além disso, ondas eletromagnéticas são caracterizadas por seu comprimento de onda  $\lambda$  e frequência  $\nu$ , de modo que estes estão relacionados através da equação  $c = \lambda\nu$ , onde  $c$  representa a velocidade da luz. Podemos associar a cada frequência específica de uma onda eletromagnética uma energia  $E$  específica, dada pela relação  $E = h\nu$ , onde  $h$  é a constante de Planck, cujo valor é de aproximadamente  $6,626069 \times 10^{-34}$  J.s. Quando uma molécula absorve radiação a energia associada à esta é transferida para molécula, alterando o seu estado rotacional, vibracional ou ambos (BAIRD; CANN, 2011; BALL, 2006; BERBERAN, 2005; ATKINS; PAULA, 2002).



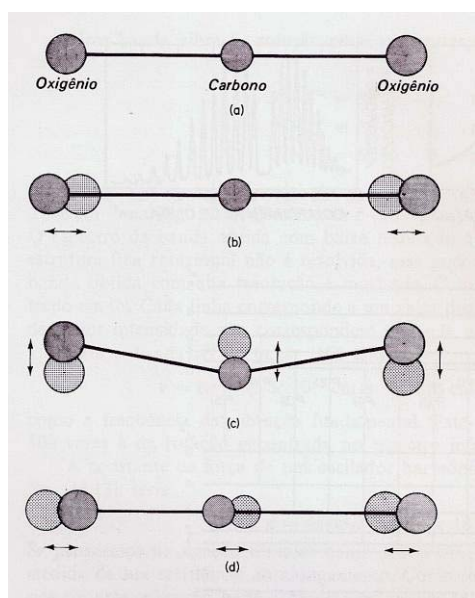
**Figura 14:** Surgimento de um campo elétrico oscilante a partir da rotação de uma molécula diatômica com dipolo permanente. (Fonte: BALL, DAVID W. **Físico – Química**, vol.2. Tradução de Ana Maron Vichi. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006)

a cada frequência específica de uma onda eletromagnética uma energia  $E$  específica, dada pela relação  $E = h\nu$ , onde  $h$  é a constante de Planck, cujo valor é de aproximadamente  $6,626069 \times 10^{-34}$  J.s. Quando uma molécula absorve radiação a energia associada à esta é transferida para molécula, alterando o seu estado rotacional, vibracional ou ambos (BAIRD; CANN, 2011; BALL, 2006; BERBERAN, 2005; ATKINS; PAULA, 2002).

No caso de movimentos puramente rotacionais é necessário que a molécula apresente um dipolo magnético permanente para que esta possa absorver radiação. Isso acontece porque o dipolo em rotação atua como um campo elétrico oscilante (figura 14), não variando a sua

magnitude, mas variando a sua direção. Além disso, a lei da conservação do momento angular requer que o momento angular total  $J$  do estado inicial (molécula mais o fóton antes da interação) seja igual ao momento angular total  $J'$  do estado final (molécula após ter absorvido o fóton). Como o momento angular do fóton é igual a 1, para que o princípio da conservação do momento angular não seja violado são permitidas apenas absorções de energia que promovam transições em que a variação do momento angular total seja de  $\pm 1$  unidade (BALL, 2006; ATKINS; PAULA, 2002; MOORE, 1976).

Para movimentos puramente vibracionais a chave para ocorrer absorção de energia está na variação de magnitude do momento dipolar da molécula durante a sua vibração. O momento dipolar de uma molécula é definido como a diferença entre as cargas multiplicada



**Figura 15:** Vibrações da molécula de  $\text{CO}_2$ . (Fonte: BALL, DAVID W. **Físico – Química**, vol.2. Tradução de Ana Maron Vichi. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006)

pela distância entre as cargas diferentes. Como os movimentos vibracionais são caracterizados pela variação da distância entre os átomos que constituem a molécula, temos o surgimento de um momento dipolar variável e este é capaz de interagir com radiação eletromagnética (BAIRD; CANN, 2011; BALL, 2006; ATKINS; PAULA, 2002).

Mesmo moléculas que não apresentam momento dipolar permanente podem apresentar, em determinados tipos de vibração, momentos dipolares transitórios. Esse é o caso da molécula de dióxido de carbono, um tipo de molécula tri atômica linear que, durante alguns tipos de vibração, apresenta um momento de dipolo transitório diferente de zero (figura 15) e isso faz com que tal molécula seja

capaz de interagir com ondas eletromagnéticas. Um contraexemplo disso são as moléculas diatômicas homo nucleares, pois além de não possuírem momento dipolar permanente, no curso de sua vibração não há o surgimento de momento dipolar transitório (BAIRD; CANN, 2011; BALL, 2006; ATKINS; PAULA, 2002).

Sob o ponto de vista da mecânica quântica, uma molécula pode ser descrita por uma função de onda  $\psi$ . Quando ocorre a absorção de energia essa molécula muda para um estado

de maior energia, passando a ser descrita por outra função de onda  $\psi'$ . A equação que governa essas transições de estado a partir da absorção ou emissão de fótons é dada por

$$\int \psi' \hat{\mu} \psi d\tau \quad \text{equação 4}$$

onde  $\hat{\mu}$  é o operador do dipolo elétrico, dado por

$$\hat{\mu} = \hat{\mu}_x + \hat{\mu}_y + \hat{\mu}_z = \sum e_i(x_i + y_i + z_i) \quad \text{equação 5}$$

onde  $e_i$  é a carga da partícula  $i$  e  $x_i$ ,  $y_i$  e  $z_i$  são as suas coordenadas. Para que as transições entre os estados sejam possíveis a solução da equação 4 deve ser diferente de zero. No caso de transições puramente vibracionais, essa solução só é diferente de zero quando a diferença entre os números quânticos vibracionais  $\nu$  e  $\nu'$  referentes aos estados  $\psi$  e  $\psi'$  for igual a  $\pm 1$ . Já no caso de transições puramente rotacionais, a solução da equação 4 só é diferente de zero quando a diferença entre os números quânticos  $j$  e  $j'$  (números quânticos do momento angular total em dois estados diferentes) referente aos estados  $\psi$  e  $\psi'$  for igual a  $\pm 1$ , que nada mais é que a lei da conservação do momento angular total já citada anteriormente (BALL, 2006; ATKINS; PAULA, 2002; MOORE, 1976).

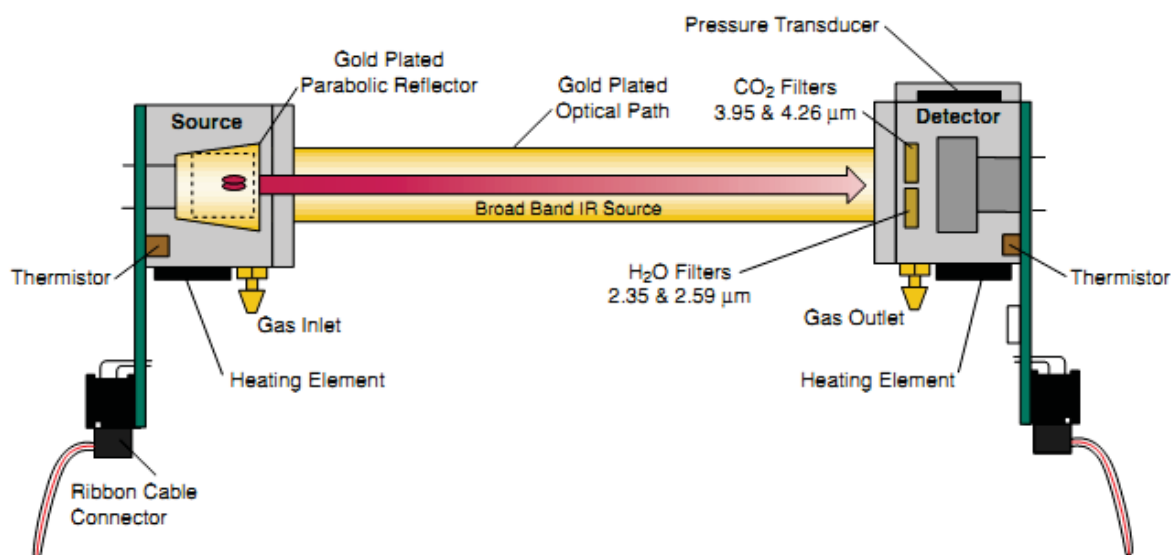
Por fim, como os estados rotacionais ou vibracionais das moléculas são quantizados, quando uma molécula absorve ou emite radiação, mudando de um estado  $\psi$  para um estado  $\psi'$ , a lei da conservação da energia exige que a quantidade de energia absorvida seja igual à diferença entre a energia entre os estados  $\psi$  e  $\psi'$ , ou seja,  $\Delta E = h\nu$ . Esta é a condição de frequência de Bohr e é com base nisso que funcionam os espectrógrafos, como o LI – 840 (BALL, 2006; ATKINS; PAULA, 2002; MOORE, 1976).

Em casos reais é comum encontrar situações em que as condições necessárias para a absorção de radiação não são cumpridas. O principal motivo para que isso ocorra é o fato de que tais condições são baseadas em movimentos puramente vibracionais ou rotacionais, porém a realidade não é bem assim. Geralmente as moléculas apresentam movimentos vibracionais vinculados a movimentos rotacionais, tornando a análise de absorção ou emissão de radiação muito mais complexa que no caso de movimentos puros, fazendo com que algumas das condições necessárias à absorção ou emissão de energia sejam violadas (BALL, 2006; ATKINS; PAULA, 2002).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. O Analisador de gases LI – 840

O LI – 840 é um analisador de dióxido de carbono e vapor de água não dispersivo fabricado pela LI – COR<sup>®</sup> Bioscience baseado em um único caminho ótico e um duplo sistema de detecção de radiação infravermelho. Ele é composto basicamente por uma fonte de radiação infravermelho, que emite IR em uma ampla faixa de comprimentos de onda, um percurso ótico, pelo qual circula a amostra em análise com um fluxo de aproximadamente 1 litro de ar por minuto, filtros de radiação, responsáveis por selecionar comprimentos de onda adequados à análise e pelo sistema duplo de detecção de radiação. Além disso, ele possui um termostato e um sistema de sensores de pressão e temperatura, pois tais fatores influenciam nos valores de concentração. Na figura 16 podemos ver um esquema do LI – 840 com seus principais componentes (LI – COR BIOSCIENCES, 2003).



**Figura 16:** Esquema interno do analisador de gases LI – 840. (Fonte: LI – COR BIOSCIENCES<sup>®</sup>. LI – 840 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Gas Analyzer – Instruction Manual. LI – COR Inc.Environmental 4421 Superior Street P.O. Box 4425, Lincoln, Nebraska – USA)

Nesse aparelho as medidas são feitas em função da energia que é absorvida da radiação infravermelho durante o seu trajeto através do caminho ótico, enquanto este está preenchido com a amostra em questão. Para obter valores de concentração do vapor de H<sub>2</sub>O e

CO<sub>2</sub> o LI – 840 compara a taxa de absorção de IR da amostra em questão com a taxa de absorção de IR de uma amostra de referência. Sendo assim, como detector possui apenas um caminho ótico, o mesmo deve ser previamente calibrado com o auxílio de uma amostra cujas concentrações de dióxido de carbono e vapor de água são conhecidas (LI – COR BIOSCIENCES, 2003; LEITE, 2010).

Ao fim do caminho ótico o LI – 840 faz uso de filtros de banda estreita para selecionar os comprimentos de onda adequados à análise. No caso do CO<sub>2</sub> é utilizado um filtro ótico centrado em 4,26 μm, correspondente a uma das faixas de absorção do dióxido de carbono, enquanto que no caso do H<sub>2</sub>O é utilizado um filtro centrado em 2,595 μm, que corresponde à faixa de absorção do vapor de água. Sendo assim, os valores da concentração de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O podem ser obtidos simultaneamente (LI – COR BIOSCIENCES, 2003).

Devido ao fato de que o detector responde a energia térmica se faz necessário um rigoroso controle sobre a temperatura. Para isso o analisador de gases possui um termostato em seu banco ótico que mantém a temperatura do mesmo em 50°C, e assim, faz com que a temperatura do gás que irá circular pelo caminho ótico também assuma um valor constante de 50°C, impedindo interferências nas medidas devido a algum tipo de ruído térmico. Além disso, esse analisador de gases possui dois termistores que fornecem dados para auxiliar em seu controle da temperatura e seu banco ótico é montado sobre um gabinete de espuma a fim de auxiliar em tal controle. Sendo assim, antes que o detector possa ser utilizado é necessário um tempo de aproximadamente 10 minutos para que ele atinja a temperatura de operação. Um tempo adicional um pouco mais longo (cerca de 20 minutos) é preciso para que os erros nas medidas sejam inferiores a 2% do valor obtido (LI – COR BIOSCIENCES, 2003; LEITE, 2010).

O sinal obtido da amostra é linearizado através de um polinômio do tipo

$$f(x) = \alpha_1 x^1 + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x^3 + \dots = \sum_{i=1}^n \alpha_i x^i \quad \text{equação 6}$$

onde  $\alpha$  é a absorvância do gás em questão. No caso do CO<sub>2</sub> utiliza-se um polinômio de quinta ordem e no caso do H<sub>2</sub>O um polinômio de terceira ordem (LI – COR BIOSCIENCES, 2003).

A equação geral utilizada pelo LI – 840 para determinar a concentração  $c$  de CO<sub>2</sub> ou H<sub>2</sub>O é dada por

$$c = f(\alpha')(T + 273) \quad \text{equação 7}$$

onde  $T$  é a temperatura do gás na célula,  $f(\alpha')$  é a função polinomial de linearização dada pela equação 6 e  $\alpha'$  é a absorvância do gás corrigida a partir do fator de correção da pressão  $g(\alpha, P)$ , que por sua vez é uma função empírica dependente da absorvância  $\alpha$  do gás e da pressão  $P$  no caminho ótico. A absorvância corrigida é dada pelo produto entre a absorvância e o fator de correção da pressão, ou seja,  $\alpha' = \alpha \cdot g(\alpha, P)$  (LI – COR BIOSCIENCES, 2003).

No caso do vapor de água, a absorvância é  $\alpha_w$  dada por

$$\alpha_w = \left(1 - \frac{V_w}{V_{w0}} Z_w\right) S_w \quad \text{equação 8}$$

onde  $V_w$  e  $V_{w0}$  são as leituras do aparelho referentes energia absorvida pela água da amostra sob análise e da amostra padrão respectivamente,  $Z_w$  é o parâmetro zero e  $S_w$  é o parâmetro de extensão. O índice  $w$  refere-se às medidas para a determinação da concentração de vapor de água. O fator de correção da pressão é dado por

$$g_w(\alpha_w, P) = \frac{P_0}{P[1 + 0,8\alpha_w(\frac{P}{P_0} - 1)]} \quad \text{equação 9}$$

onde  $P_0$  é, cujo valor é de 99 kPa e  $P$  é a pressão no . Quando o valor de correção de pressão não é conhecido o LI – 840 toma  $g_w(\alpha_w, P)$  como sendo igual a 1. Logo, nesse caso,  $\alpha'_w = \alpha_w$  (LI – COR BIOSCIENCES, 2003).

Por fim, para obter o valor da concentração de H<sub>2</sub>O ( $c_w$ ) o detector faz uso da equação

$$c_w = f_w(\alpha'_w)(T + 273) \quad \text{equação 10}$$

O caso do CO<sub>2</sub> é um pouco mais complicado, visto que durante os cálculos a pressão do vapor de água deve ser considerada. Desse modo, a absorvância  $\alpha_c$  é dada por

$$\alpha_c = \left[1 - \left(\frac{V_c}{V_{c0}} + X_{wc} \left(1 - \frac{V_w}{V_{w0}}\right)\right) Z_c\right] S_c \quad \text{equação 11}$$

Onde  $V_c$  e  $V_{c0}$  são as leituras do aparelho referentes energia absorvida pelo CO<sub>2</sub> da amostra sob análise e da amostra padrão respectivamente,  $Z_c$  é o parâmetro zero,  $S_c$  é o parâmetro de extensão e  $X_{wc}$  é o parâmetro de sensibilidade ao vapor de água durante as medidas para

determinação da concentração de CO<sub>2</sub>. O índice  $c$  refere-se aos parâmetros e medidas para a determinação da concentração de CO<sub>2</sub> (LI – COR BIOSCIENCES, 2003).

Quando  $P = P_0$ , o fator de correção da pressão para o caso do CO<sub>2</sub>  $g_c(\alpha_c, P)$  assume o valor 1 (LI – COR BIOSCIENCES, 2003).

Quando  $P < P_0$ ,  $g_c(\alpha_c, P)$  é dado por

$$g_c(\alpha_c, P) = \frac{1}{A+B\left(\frac{1}{z-\alpha_c}-\frac{1}{z}\right)} + 1, \quad \text{equação 12}$$

sendo que

$$A = \frac{1}{a(p-1)}, \quad B = \frac{1}{\frac{1}{b+cp}+d}, \quad p = \frac{P_0}{P} \quad \text{equação 13}$$

onde  $a = 1.10158$ ,  $b = -6.1217$ ,  $c = -0.266278$ ,  $d = 3.69895$  e  $z = 0.5$  (LI – COR BIOSCIENCES, 2003).

Por fim, quando  $P > P_0$ ,  $g_c(\alpha_c, P)$  é dado por

$$g_c(\alpha_c, P) = \frac{A+B\left(\frac{1}{z-\alpha_c}-\frac{1}{z}\right)}{1+A+B\left(\frac{1}{z-\alpha_c}-\frac{1}{z}\right)} \quad \text{equação 14}$$

Sendo assim, a concentração de CO<sub>2</sub>  $c_c$  é dada por

$$c_c = f_c\left(\frac{\alpha'_c}{\varphi(w)}\right) \varphi(w)(T + 273) \quad \text{equação 15}$$

onde  $\alpha'_c$  é a absorvância do CO<sub>2</sub> corrigida a partir do fator de correção da pressão, ou seja,  $\alpha'_c = \alpha_c g_c(\alpha_c, P)$ , e  $\varphi(w)$  é a correção da banda de ampliação para o vapor de água. Esse fator é dado por

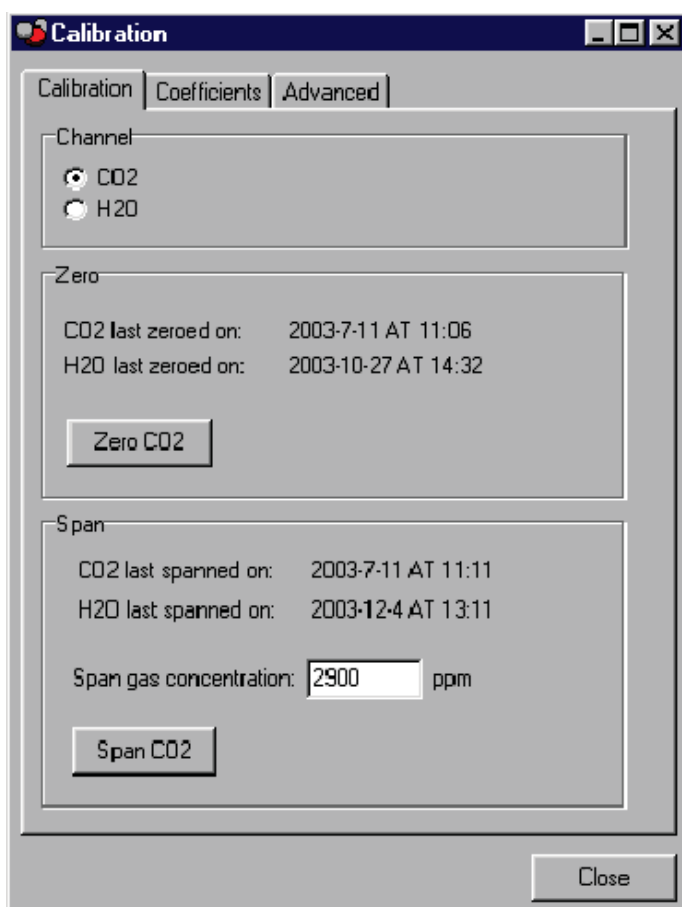
$$\varphi(w) = 1 + (b_w + 1) \frac{w}{1000} \quad \text{equação 16}$$

onde o coeficiente da banda de ampliação  $b_w$  é determinado pelo LI – 840 com sendo 1,45 (LI – COR BIOSCIENCES, 2003).

Com um caminho ótico de 14 cm o detector LI – 840 é capaz de medir concentrações de dióxido de carbono entre 0 e 3000  $\mu\text{mol}$  de  $\text{CO}_2$  por mol de ar (partes por milhão – ppm), além de conseguir medir concentrações de vapor de água entre 0 e 80 mmol de  $\text{H}_2\text{O}$  por mol de ar (partes por mil – ppt) (LI – COR BIOSCIENCES, 2003; LEITE, 2010).

## 5.2. Calibração do LI – 840

A calibração do LI – 840 foi realizada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da USP, no Campus Luiz de Queirós em Piracicaba, pela técnica de laboratório Alexandra Ayres Montebelo. Tal calibração ocorreu segundo as especificações do manual do aparelho.



**Figura 17:** Janela do software para calibração do aparelho. (Fonte: LI – COR BIOSCIENCES<sup>®</sup>. **LI – 840 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Gas Analyzer – Instruction Manual**. LI – COR Inc. Environmental 4421 Superior Street P.O. Box 4425, Lincoln, Nebraska – USA)

Antes de se iniciar a calibração propriamente dita é necessário que o aparelho fique ligado por aproximadamente 20 minutos para que o mesmo atinja a temperatura de operação (cerca de 50 °C). O aparelho só deve ser calibrado, e mesmo operado, depois que atingir a temperatura recomendada (LI – COR BIOSCIENCES, 2003). Decorrido esse tempo, deve-se executar o software de operação do LI – 840, fornecido pelo fabricante, através do qual é feita a tomada de dados para calibração. Na janela de calibração do software (figura 17) deve-se primeiramente selecionar o gás para o qual será feita a calibração.

São necessários dois parâmetros para calibrar o aparelho: o parâmetro zero  $Z_{w/c}$  e o parâmetro de extensão  $S_{w/c}$ . O manual recomenda que primeiramente seja calibrado o parâmetro zero e posteriormente o parâmetro de extensão. O parâmetro zero é a medida obtida pelo aparelho quando não há nenhum gás que absorvedor de IR percorrendo seu caminho ótico, enquanto que o parâmetro de extensão é a leitura da concentração de uma amostra de  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  padrão (LI – COR BIOSCIENCES, 2003).

Para a calibração do parâmetro zero promoveu-se a remoção das moléculas de gases absorvedores de IR que poderiam estar presentes no caminho ótico. Isso foi feito a partir da circulação de nitrogênio pelo aparelho, expulsando outras moléculas do mesmo. Depois de alguns minutos com a circulação de  $\text{N}_2$  pelo caminho ótico foi tomada a medida do parâmetro zero. Esse procedimento foi então repetido de modo a aumentar a confiabilidade de tal processo.

Depois de ter calibrado o parâmetro zero o fluxo de  $\text{N}_2$  pelo aparelho foi substituído pelo fluxo de uma mistura de gases padrão, cuja concentração de  $\text{CO}_2$  é conhecida (315,3 ppm), tendo como objetivo a calibração do parâmetro de extensão. Após alguns minutos de circulação da mistura padrão através do caminho ótico foi tomada a medida do parâmetro de extensão. Assim como no caso do parâmetro zero, esse processo foi repetido a fim de tornar a calibração mais precisa.

A calibração do LI – 840 para medidas de concentração de vapor de água não foi realizada, porém, o procedimento é basicamente o mesmo. A principal diferença nessa calibração é a mistura padrão a ser utilizada para calibrar o parâmetro de extensão, de modo que os demais passos do processo são praticamente os mesmos que no caso da calibração para o  $\text{CO}_2$ .

### 5.3. Área em estudo

**Tabela 3:** Médias climáticas no município de Rio Claro. (Fonte: Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI – UNICAMP). Disponível em: [http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_494.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_494.html). Acesso em 10/10/2011)

MÊS	TEMPERATURA DO AR (C)			Precipitação (mm)
	mínima média (°C)	máxima média (°C)	Média (°C)	
<b>JAN</b>	18.5	29.8	24.2	234.1
<b>FEV</b>	18.7	29.9	24.3	203.1
<b>MAR</b>	18.0	29.5	23.8	153.8
<b>ABR</b>	15.4	27.9	21.6	63.2
<b>MAI</b>	12.7	26.0	19.3	62.4
<b>JUN</b>	11.2	24.9	18.1	38.2
<b>JUL</b>	10.7	25.1	17.9	26.9
<b>AGO</b>	12.1	27.3	19.7	28.8
<b>SET</b>	14.1	28.3	21.2	66.8
<b>OUT</b>	15.8	28.8	22.3	125.6
<b>NOV</b>	16.6	29.2	22.9	147.2
<b>DEZ</b>	17.9	29.1	23.5	216.7
<b>Ano</b>	15.1	28.0	21.6	1366.8
<b>Min</b>	10.7	24.9	17.9	26.9
<b>Max</b>	18.7	29.9	24.3	234.1

O município de Rio Claro, localizado no centro - leste do Estado de São Paulo (a aproximadamente 190 km da capital paulista), possui 186299 habitantes, sendo 181766 residentes na área urbana e 4533 na área rural, distribuídos em uma área de aproximadamente 499 km<sup>2</sup> (IBGE, 2007). O clima em tal município é classificado como *Cwa* segundo a classificação de Köppen-Geiger (MACHI; CUNHA, 2006), ou seja, clima subtropical quente (letra *C* na classificação Köppen-Geiger) com chuvas de verão (letra *w* na classificação Köppen-Geiger) e temperatura média superior ou igual a 22 °C durante o mês mais quente do ano (letra *a* na classificação Köppen-Geiger) (ROLIM, *et al.*, 2007). Na tabela 3 temos as médias climáticas anuais do município, ilustrando a classificação *Cwa* para o clima, caracterizada por invernos frios e

secos, e verões quentes e chuvosos.



temos a fotografia aérea da área em questão.

Em contrapartida às emissões de CO<sub>2</sub>, o município de Rio Claro comporta, em sua área, uma das principais reservas estaduais de eucalipto do Brasil (figura 19), denominada Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA). Essa reserva, por sua vez, representa um importante sumidouro às moléculas de CO<sub>2</sub> emitidas na região. Localizada a leste da área urbana, a FEENA possui uma área total de aproximadamente 2230 hectares, cuja composição vegetal constitui-se principalmente de uma série de espécies de eucaliptos, algumas áreas com plantações de pinus e inúmeras espécies nativas nas formações de sub-bosque, em talhões experimentais e nas margens dos cursos d'água que cortam a mata. Dentre tais cursos d'água, o principal é o Ribeirão Claro, cujo percurso localiza-se na porção direita da Floresta, mais próxima à área urbana do município de Rio Claro. Além do Ribeirão Claro, a floresta ainda abriga alguns afluentes desse ribeirão, como o Córrego Santo Antônio e o Córrego Ibitinga (MACHI; CUNHA, 2006).

Essa configuração área urbana – floresta constitui um importante sistema na dinâmica de alguns gases indutores do efeito estufa, principalmente CO<sub>2</sub> e vapor de água. Isso decorre do fato de que cidades são “ilhas de calor” que emitem muito mais CO<sub>2</sub> do que absorvem, enquanto que florestas são áreas relativamente mais frias e úmidas que capturam mais gás carbônico do que emitem. Sendo assim, o estudo da interface cidade – floresta é de vital importância para o entendimento dos mecanismos de transferência de massa entre essas duas regiões, bem como para a compreensão de como a dinâmica de cada uma dessas duas regiões pode interferir nas questões ambientais de uma maneira geral, como, por exemplo, no clima.

#### **5.4. Metodologia**

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desse TCC levou em consideração os apontamentos feitos por WELLES e MCDERMITT (2005), e o trabalho de LEITE (2010). Ela pode ser dividida em duas etapas principais, sendo a primeira etapa constituída por um levantamento teórico acerca do tema sob análise e a segunda etapa composta pela parte experimental relacionada ao trabalho. No caso do levantamento teórico, pesquisou-se o tema em livros, artigos científicos, manuais e notícias relacionados ao tema, tanto em meio

impresso quanto em meio digital. A segunda etapa, por sua vez, pode ser dividida na calibração do aparelho e nas medidas propriamente ditas, sendo que a metodologia de calibração para o LI – 840 já foi exposta na seção 5.2.

Determinou-se como padrão para a tomada de amostra para as medidas da concentração do CO<sub>2</sub> aproximadamente a altura média do brasileiro, ou seja, 1,70 m. A coleta de amostra foi feita com o auxílio de uma bomba de ar elétrica, adaptada ao LI – 840 a partir de uma adequação projetada e construída por Leandro Xavier, aluno do Programa de Pós Graduação em Física do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro – SP durante a elaboração da sua monografia. A partir das equações expostas na seção 5.1 o aparelho determina a concentração e CO<sub>2</sub> e/ou vapor de água e, através do software fornecido pela LICOR Bioscience<sup>®</sup>, tais medidas são transferidas para um computador, onde enfim podem ser melhor analisadas. Devido à falta de tempo hábil para a realização do procedimento experimental foram realizadas apenas algumas medidas na área da interface entre a Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro, e a Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade.

## 6. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Tanto a concentração de CO<sub>2</sub>, quanto a de vapor de água, dependem de vários fatores e fontes num determinado local. Como fatores, podemos mencionar parâmetros atmosféricos, como direção e sentido da velocidade dos ventos (em Rio Claro predominam ventos Sul), temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e topografia do local (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010; BRITO *et al.*, 2010). Como fontes, a respiração das plantas e as emissões antrópicas, como a emissão de gases por indústrias, veículos e pelas atividades agrícolas. Em geral, o transporte, tanto de cargas quanto de pessoas, entre municípios e Estados merece destaque especial, principalmente pelo fato do nosso país ter colocado em segundo plano transportes menos agressores ao meio ambiente, como o ferroviário e o hídrico, priorizando o transporte rodoviário (LEITE, 2010; OLAYA, 2010; LA SCALA *et al.*, 2009; TEIXEIRA *et al.*, 2010).

A agricultura também se mostra como um importante fator contribuinte para o aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> atmosférico. Em muitas etapas envolvidas nas agro atividades percebe-se o aumento dessas emissões. Durante o manejo da terra e nos processos de irrigação, por exemplo, há a emissão de CO<sub>2</sub> que se encontra armazenado entre os agregados particulados, originados principalmente, durante a ação de micro-organismos presentes no solo (OLAYA, 2010; BRITO *et al.*, 2010; TEIXEIRA *et al.*, 2010). Outro exemplo são as contribuições originadas no processo de colheita de alguns cultivos, como é, por exemplo, o caso da cana-de-açúcar, pois, nesse tipo de cultivo, são promovidas queimadas nas plantações com a intenção de facilitar o corte da mesma. Porém as contribuições ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub> devido às plantações de cana-de-açúcar vêm diminuindo, pois há uma crescente mecanização em sua colheita, acabando, assim, com a necessidade de queimadas (LEITE, 2010; LA SCALA *et al.*, 2009; PANOSSO, 2006).

Por conta da fotossíntese, como era natural de se esperar das concentrações em áreas de floresta e nas regiões limítrofes, a concentração de CO<sub>2</sub> apresenta distintos valores entre os períodos noturno e diurno. Durante o dia, com a fotossíntese, a vegetação promove a captura de dióxido de carbono atmosférico, contribuindo para a diminuição de sua concentração nas regiões de mata e regiões limítrofes, e libera oxigênio. Durante a noite, devido à falta de luz (condição necessária à fotossíntese), a vegetação realiza o processo inverso, capturando

oxigênio e liberando gás carbônico. Além desse processo contínuo de respiração das plantas, áreas urbanas emitem muito mais CO<sub>2</sub> durante o dia do que durante a noite. Tais fatores fazem com que as concentrações de CO<sub>2</sub> em uma interface cidade-floresta variem bastante durante o dia (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010; LAZZARI).

Alterações climáticas também afetam bastante nas concentrações de CO<sub>2</sub> e vapor de água em um dado local. Em dias chuvosos, por exemplo, nota-se um relativo aumento na concentração de CO<sub>2</sub> em uma dada área, visto que a água da chuva, ao penetrar no solo, expulsa parte do dióxido de carbono ali contido. Além disso, variações de temperatura mudam as concentrações dos gases atmosféricos, inclusive do CO<sub>2</sub>, de modo que este parâmetro também deve ser levado em conta nas análises desse gás (BAIRD; CANN, 2011; LEITE, 2010)

Medidas realizadas indicam uma concentração média de CO<sub>2</sub> na interface entre a cidade de Rio Claro e a Floresta Estadual Navarro de Andrade de 390 ppm, chegando a um valor mínimo de aproximadamente 380 ppm e um máximo de aproximadamente 420 ppm. O valor de concentração máxima foi anotado em um dia no qual, na área sob análise, estava sendo realizado o preparo do solo para uma construção civil. Tais dados ilustram a variabilidade da concentração de CO<sub>2</sub>, inclusive devido à ação humana, como foi o caso exposto.

## 7. CONCLUSÕES

Nas últimas décadas uma série de alterações climáticas tem sido registradas e tais alterações vêm causando uma considerável quantia de desastres naturais. Parte da comunidade científica atribui tais mudanças às elevadas taxas de emissão de gases indutores do efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono. Segundo tais cientistas, as projeções baseadas em nos atuais níveis de emissão desses gases são extremamente preocupantes, de modo que, caso o atual quadro de emissões não se altere, o ser humano enfrentará cada vez mais problemas ambientais. Em contrapartida, há outra parcela na comunidade que afirma que tais alterações não passam de um processo natural pelo qual o planeta está passando, pois, na história da Terra, têm-se registro de uma grande quantidade de alterações climáticas periódicas, sendo que algumas delas foram muito mais catastróficas do que as registradas atualmente. Segundo eles os atuais níveis de emissão dos gases indutores do efeito estufa de origem antropogênica não são os responsáveis pelas alterações climáticas registradas nas últimas décadas e as projeções obtidas atualmente não passam de uma saída matemática de modelos climáticos inconsistentes.

Desse modo, vemos que há muita polêmica acerca das emissões antropogênicas de gases indutores do efeito estufa e, pelo fato de ser o principal intensificador desse efeito, o CO<sub>2</sub> possui um papel fundamental nessa discussão. Por se tratar de uma área cujos estudos científicos são recentes, é de se esperar que haja muita polêmica envolvida, ainda mais considerando que um dos componentes centrais desses estudos, que são as emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>, origina-se da principal fonte energética mundial: os combustíveis fósseis. Um dos caminhos para a solução desse impasse é um estudo mais detalhado dessas mudanças climáticas, incluindo suas possíveis causas, como, por exemplo, o aumento da concentração atmosférica dos gases indutores do efeito estufa.

Como era de se esperar, devido principalmente às discussões envolvidas com o tema, o estudo da concentração de CO<sub>2</sub> e vapor de água em uma dada região apresenta-se com uma série de dificuldades, visto que esse parâmetro é extremamente variável. Como foi discutido anteriormente, qualquer mudança de temperatura, velocidade do vento, intensidade de luz, entre outros, causa variações muito grandes nas concentrações desses gases. Isso dificulta bastante seu estudo, de modo que, com o pouco tempo disponível para a realização de um

TCC, torna-se praticamente impossível chegar a resultados conclusivos acerca da dinâmica tanto do CO<sub>2</sub> quanto do vapor de água.

Por fim, ressalta-se que os mecanismos de transferência de massa devido ao gradiente de concentração não fugiram à atenção nesse trabalho, mas devido a sua complexidade de modelagem e o tempo para a realização dessa monografia fica como proposta a realização de trabalhos futuros, que com certeza são importantes, mas necessitam mais tempo e de um maior envolvimento multidisciplinar no seu desenvolvimento.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental**. Tradução de Marco Tadeu Grassi, Márcia Matiko Kondo, Maria Cristina Canela e Felix José Nonnenmacher. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

ATKINS, P.; PAULA, J. **Físico – Química**, vol. 2. Tradução de Edilson C. da Silva, Márcio J.E.M. Cardoso e Oswaldo E. Barcia. Rio de Janeiro:LTC livros técnicos e científicos Editora S.A., 2002

BALL, David W. **Físico – Química**, vol.2. Tradução de Ana Maron Vichi. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

MOORE, Walter J. **Físico – Química**, vol.2. Tradução da 4ª edição americana por Helena Li Chung, Ivo Jordan e Milton Caetano Ferreroni. São Paulo: Edgard Blücher, 1976

LI – COR BIOSCIENCES<sup>®</sup>. **LI – 840 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Gas Analyzer – Instruction Manual**. LI – COR Inc.Environmental 4421 Superior Street P.O. Box 4425, Lincoln, Nebraska – USA, 2003.

BERBERAN, Mário N. M. S. e Santos. **Absorção, Emissão E Dispersão De Radiação (apontamentos para a disciplina de Espectroscopia)**, Centro de Química - Física Molecular, Instituto Superior Técnico, abril de 2005.

LEITE, Vanir Dirley Partelli de Oliveira. **Transporte de CO<sub>2</sub> no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. Rio Claro, 2010. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

MACHI, D.A.; CUNHA, C.M.L. **Análise Do Relevo Da Floresta Estadual Edmundo Navarro De Andrade (Rio Claro-Sp) E Circunvizinhanças: Subsídio Para A Avaliação Da Área De Entorno**. IV Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia, setembro de 2006. Disponível em <http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/aut/articles/153.pdf>. Acesso em 05 jun 2011.

MARSHALL, Andrew Gavin. **Global Warming: A Convenient Lie**. Centre for Research on Globalization, março de 2007. Disponível em <http://globalresearch.ca/index.php?context=viewArticle&code=20070315&articleId=5086>. Acesso em 07 jun 2011.

GRIMM, Alice Marlene. **Meteorologia Básica - Notas de Aula**. Universidade Federal do Paraná – Departamento de Física, setembro de 2009. Disponível em <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>. Acesso em 28 jun 2011.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. **Climate Change 2007. Synthesis Report**. Disponível em [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html). Acesso em 28 jun 2011.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Visão Crítica: Pesquisadora Da Usp Questiona Aquecimento Global**. Outubro de 2011. Disponível em <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=pesquisadora-usp-questiona-existencia-aquecimento-global&id=010125111008>. Acesso em 15 out 2011.

BRITO, Liziane De Figueiredo; JÚNIOR, José Marques; PEREIRA, Gener Tadeu; LA SCALA, Newton Junior. **Spatial Variability Of Soil Co2 Emission In Different Topographic Positions**. Bragantia, vol.69, Campinas – SP, 2010. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87052010000500004&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052010000500004&lng=en&nrm=iso&tlng=en). Acesso em 10 set 2011.

PANOSSO, Alan Rodrigo. **Variabilidade Espacial Da Emissão De Co2, Temperatura e Umidade Em Latossolo Sob Cultivo De Cana-De-Açúcar Em Sistemas De Colheita Manual Com Queima E Mecanizada**. Jaboticabal - SP, setembro de 2006. Dissertação de Mestrado Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

LA SCALA, Newton Jr.; LOPES, Afonso; SPOKAS, Kurt; ARCHER, David Walter; REICOSKY, Donald. **First-Order Decay Models To Describe Soil C-Co2 Loss After Rotary Tillage**. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), v.66, n.5, p.650-657, September/October 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/sa/v66n5/10.pdf>. Acesso em 28 set 2011.

OLAYA, Adriana marcela Silva. **Emissão De Dióxido De Carbono Após Diferentes Sistemas De Preparo Do Solo Na Cultura De Cana-De-Açúcar**. Piracicaba – SP, 2010. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

TEIXEIRA, L. G.; LOPES, A.; LA SCALA Jr., N. **Temporal Variability Of Soil CO<sub>2</sub> Emission After Conventional And Reduced Tillage Described By An Exponential Decay In Time Model**. Eng. Agric., v.30, n.2, pp.224-231, 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n2/v30n2a04.pdf>. Acesso em 10 ago 2011.

ENVOLVERDE JORNALISMO & SUSTENTABILIDADE. **Emissões De Carbono Cresceram 45% Entre 1990 E 2010**. 23 de setembro de 2011. Disponível em <http://envolverde.com.br/noticias/emissoes-de-carbono-cresceram-45-entre-1990-e-2010/>. Acesso em 30 set 2011.

ENVOLVERDE JORNALISMO & SUSTENTABILIDADE. **Outros Gases Devem Ser Combatidos Além Do CO<sub>2</sub>, Diz NOAA**. 15 de agosto de 2011. Disponível em <http://envolverde.com.br/noticias/emissoes-de-carbono-cresceram-45-entre-1990-e-2010/>. Acesso em 18 set 2011.

SUA PESQUISA.COM. **Deserto Do Saara. Localização, Características, Temperatura, Relevo, Oásis, Curiosidades, Geografia, Foto**. Disponível em [http://www.suapesquisa.com/geografia/deserto\\_saara.htm](http://www.suapesquisa.com/geografia/deserto_saara.htm). Acesso em 12 set 2011.

LAZZARI, Lara Regina Parra de. **Biologia - Fascículo 04**. Colégio Bandirantes. Disponível em [http://www2.uol.com.br/aprendiz/n\\_simulado/revisao/revisao04/er010004.pdf](http://www2.uol.com.br/aprendiz/n_simulado/revisao/revisao04/er010004.pdf). Acesso em 18 set 2011.

TORGINHO FILHO, D. O. **Lei De Lambert-Beer – Coeficiente De Absorção**. Catálogo de Experimentos do Laboratório Integrado de Física Geral. Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, Junho de 2010.

RODRIGUES, Ednardo Moreira. **Produção De Um Medidor Da Concentração De Vapor D'Água**. Fortaleza – CE, 2010. Monografia, Física. Centro de Ciências e Tecnologia - Universidade Estadual do Ceará.

CUSTODIO, Rogério; KUBOTA, Lauro T.; ANDRADE, João Carlos de. **Lei Dos Processos De Absorção Da Radiação**. Chemkeys - Liberdade para aprender – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química. Março de 2000.

ROLIM, Glauco De Souza; CAMARGO, Marcelo Bento Paes De; LANIA, Daniel Grosseli; MORAES, Jener Fernando Leite De. **Classificação Climática De Köppen e De Thornthwaite E Sua Aplicabilidade Na Determinação De Zonas Agroclimáticas Para O Estado De São Paulo**. Bragantia, Campinas, v.66, n.4, 2007. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/brag/v66n4/22.pdf>. Acesso em 30 set 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades @. Rio Claro – SP**. Censo 2007. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=354390#>. Acesso em 15 set 2011.

WELLES, Jon M.; Dayle K. MCDERMITT. **Measuring Carbon Dioxide In The Atmosphere**. Micrometeorology in Agricultural Systems, n. 47, 2005, série Agronomy. Disponível em <http://www.zb.fz-juelich.de/content/enrichment/inhaltsverzeichnis/bis2009/ISBN-0-89118-158-X.pdf>. Acesso em 12 set 2011.

## 9. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

PREISKORN, Gabriele Marina. **Composição Florística, Estrutura e Quantificação Do Estoque De Carbono Em Florestas Restauradas Com Idades Diferentes**. Piracicaba, 2011. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

SARNIGHAUSEN, Valéria Cristina Rodrigues. **Revisão Sistemática e Metassíntese: Medições de Gases de Efeito Estufa (GEE) Emitidos Pela Pecuária Bovina Brasileira**. Piracicaba – SP, 2011. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

NASA, National Aeronautics and Space Administration. **Global Warming in the 21st Century: An Alternative Scenario**. Disponível em [http://www.giss.nasa.gov/research/features/200111\\_altscenario/](http://www.giss.nasa.gov/research/features/200111_altscenario/). Acesso em 11 ago 2011.

NASA, National Aeronautics and Space Administration. **Methane: A Scientific Journey from Obscurity to Climate Super-Stardom**. Setembro de 2004. Disponível em [http://www.giss.nasa.gov/research/features/200409\\_methane/](http://www.giss.nasa.gov/research/features/200409_methane/). Acesso em 11 ago 2011.

NASA, National Aeronautics and Space Administration. **Cleaner Vehicle Standards Good for Health, Agriculture, Climat**. 01 de abril de 2011. Disponível em <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20110401/>. Acesso em 11 ago 2011.

NASA, National Aeronautics and Space Administration. **How Carbon Dioxide Controls Earth's Temperature**. 14 de outubro de 2010. Disponível em <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20101014/>. Acesso em 11 ago 2011.

AMBIENTE BRASIL. **Causas e gases de efeito estufa**. Disponível em [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/mudancas\\_climaticas/entenda\\_mais/causas\\_e\\_gases\\_d\\_e\\_efeito\\_estufa.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/mudancas_climaticas/entenda_mais/causas_e_gases_d_e_efeito_estufa.html). Acesso em 30 set 2011.

ENVOLVERDE JORNALISMO & SUSTENTABILIDADE. **Emissões da China em 2020 podem ser maiores que o estimado**. 06 de outubro de 2011. Disponível em

<http://envolverde.com.br/noticias/emissoes-da-china-em-2020-podem-ser-maiores-que-o-estimado/>. Acesso em 10 out 2011.

ENVOLVERDE JORNALISMO & SUSTENTABILIDADE. **China pode passar EUA em emissões per capita em 2017**. 29 de setembro de 2011. Disponível em <http://envolverde.com.br/noticias/china-pode-passar-eua-em-emissoes-per-capita-em-2017/>. Acesso em 05 out 2011.

AMBIENTE BRASIL. **Emissão de gás carbônico em nova fronteira agrícola ainda é pouco investigada pela ciência**. 13 de outubro de 2011. Disponível em <http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2011/10/13/75601-emissao-de-gas-carbonico-em-nova-fronteira-agricola-ainda-e-pouco-investigada-pela-ciencia.html>. Acesso em 15 out 2011.

ENVOLVERDE JORNALISMO & SUSTENTABILIDADE. **Pesquisadores estudam emissões de CO<sub>2</sub> dos rios da Amazônia**. 03 de outubro de 2011. Disponível em <http://envolverde.com.br/ambiente/carbono-ambiente/pesquisadores-estudam-emissoes-de-co2-dos-rios-da-amazonia/>. Acesso em 05 out 2011.

AMBIENTE BRASIL. **'Bombardeio' de carbono em cafezal simula mudanças climáticas**. 07 de outubro de 2011. Disponível em <http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2011/10/07/75373-bombardeio-de-carbono-em-cafezal-simula-mudancas-climaticas.html>. Acesso em 10 out 2011.

SILVA, Ludymilla Barboza Da. **Componentes Da Dinâmica De CO<sub>2</sub> Em Floresta Semidecídua No Norte De Mato Grosso**. Cuiabá-MT, Fevereiro de 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal De Mato Grosso - Instituto De Física, Programa De Pós-Graduação Em Física Ambiental.

OLIVEROS, Luis Fernando Chavez. **Emissões De Co<sub>2</sub> Do Solo Sob Preparo Convencional e Plantio Direto Em Latossolo Vermelho Do Rio Grande Do Sul**. Santa Maria – RS, Março de 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal De Santa Maria - Centro De Ciências Rurais, Programa De Pós-Graduação Em Ciência Do Solo.

RASERA, Maria de Fátima Fernandes Lamy. **Determinação Dos Fluxos De CO<sub>2</sub> e Parâmetros Físicos Envolvidos Nesse Processo Em Diferentes Ambientes Fluviais Da**

**Amazônia.** Piracicaba – SP, 2010. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo – Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

PALMIERI, Celso Tomás. **Avaliação Da Produção De Co<sub>2</sub> Em Solo Incorporado Com Substrato Destinado Ao Uso Agrícola Por Absorção De Radiação Infra Vermelha.** Rio Claro – SP, 2007. Dissertação De Mestrado, Universidade Estadual Paulista - Instituto De Geociências E Ciências Exatas, Programa De Pós-Graduação Em Física.

BRITO, Liziane de Figueiredo; JÚNIOR, José Marques; PEREIRA, Gener Tadeu; SOUZA, Zigomar Menezes; LA SCALA, Newton Júnior. **Soil CO<sub>2</sub> Emission Of Sugarcane Fields As Affected By Topography.** Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), v.66, n.1, p.77-83, January/February 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/sa/v66n1/a11v66n1.pdf>. Acesso em 10 ago 2011.

JÚNIOR, Rosiberto Salustiano Da Silva; MOURA, Marcos Antônio Lima; MEIXNER, Franz X.; KORMANN, Robert; LYRA, Roberto Fernando Da Fonseca; FILHO, Manoel Ferreira Do Nascimento. **Estudo Da Concentração Do CO<sub>2</sub> Atmosférico Em Área De Pastagem Na Região Amazônica.** Rev. Bras. Geof. Vol.22 No.3 São Paulo Sept./Dec. 2004. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-261X2004000300005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-261X2004000300005&script=sci_arttext). Acesso em 10 ago 2011.

FAGUNDES, Joelma Dutra; DE PAULA, Gizelli Moiano; LAGO, Isabel; STRECK, Nereu Augusto; BISOGNIN, Dilson Antônio. **Aquecimento Global: Efeitos No Crescimento, No Desenvolvimento e Na Produtividade De Batata.** Ciência Rural, Santa Maria, v.40, n.6, p.1464-1472, jun, 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/cr/v40n6/a609cr2829.pdf>. Acesso em 20 set 2011.

TRUJILLO-CABRERA, Lucerina; LUIZÃO, Flávio J.; LEHMANN, Johannes; MARQUES, Pedro A.. **Fluxos De CO<sub>2</sub> Em Ecossistemas De Floresta Secundária Sobre Solos Antropogênicos E Adjacentes Na Amazônia Central.** Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007, Caxambu – MG. Disponível em <http://www.seb-ecologia.org.br/viiiiceb/pdf/1347.pdf>. Acesso em 28 set 2011.

COSTA, Falberni de Souza; BAYER, Cimélio; ZANATTA, Josiléia Acordi; MIELNICZUK, João. **Estoque De Carbono Orgânico No Solo E Emissões De Dióxido De Carbono Influenciadas Por Sistemas De Manejo No Sul Do Brasil.** R. Bras. Ci. Solo, 32:323-332, 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n1/30.pdf>. Acesso em 28 set 2011.

FREITAS, Helber Custódio de; ROCHA, Humberto Ribeiro Da. **Variabilidade Sazonal Do Fluxo De Co2 Do Solo Sobre Floresta Tropical E Pastagem Em Rondônia**. Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto Astronômico e Geofísico – USP. Disponível em <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-304829ebc6d18ee28ece942f589b94b3.pdf>. Acesso em 28 set 2011.

FAGUNDES, Joelma Dutra; STRECK, Nereu Augusto; BISOGNIN, Dilson Antônio; SCHWANTES, Ana Paula; ALBERTO, Cleber Maus. **Produtividade Simulada De Tubérculos De Batata Em Cenários De Mudanças Climáticas**. Pesquisa agropecuária brasileira, vol.45, no.4 Brasília – DF, 2010. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2010000400002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2010000400002&script=sci_arttext). Acesso em 10 set 2011.

ZUCUNI, Luciano Pes. **Fluxo De Gases De Efeito Estufa Em Sistemas De Reparo Do Solo e Rotação De Culturas No Planalto Do Rio Grande Do Sul**. Santa Maria – RS, fevereiro de 2009. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Santa Maria.

ZANINI, José R; BARRETO, Ana K. G.; LA SCALA, Newton Júnior. **Taxa e Emissão De CO<sub>2</sub> De Um Latossolo Fertirrigado Com Ácido Fosfórico Por Gotejamento**. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n1/24884.pdf>. Acesso em 10 set 2011.

TEIXEIRA, Luis Gustavo; LA SCALA, Newton Júnior; LOPES, Afonso. **Fluxo De CO<sub>2</sub> Do Solo Após Aração E Escarificação Em Diferentes Configurações**. HOLOS Environment, v. 10, n. 1, 2010. Disponível em <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/holos/article/view/2196/3326>. Acesso em 10 set 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE. **Espectroscopia - Introdução À Espectroscopia Rotacional**. Cap 3. Disponível em [http://www.uff.br/fisicoquimica/docentes/katialeal/didatico/Capitulo\\_3.pdf](http://www.uff.br/fisicoquimica/docentes/katialeal/didatico/Capitulo_3.pdf). Acesso em 20 set 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE. **Espectroscopia - Introdução À Espectroscopia Vibracional**. Cap 4. Disponível em

<http://www.uff.br/fisicoquimica/docentes/katialeal/didatico/Capitulo4.pdf>. Acesso em 20 set 2011.

PUC – RIO. **Espectroscopia no Infravermelho**. Disponível em <http://www.sorocaba.unesp.br/professor/steve/TCM%20POSMAT%20S%202011/Espectrocopia%20IR/Infravermelho%20I.pdf>. Acesso em 20 set 2011.

MCDERMITT, D. K.; WELLES, J. M.; ECKLES, R. D. **Effects Of Temperature, Pressure And Water Vapor On Gas Phase Infrared Absorption By CO<sub>2</sub>**. LI-COR, inc. Lincoln, USA. Disponível em [http://www.licor.com/env/pdf/photosynthesis/co2\\_abs.pdf](http://www.licor.com/env/pdf/photosynthesis/co2_abs.pdf). Acesso em 20 set 2011.