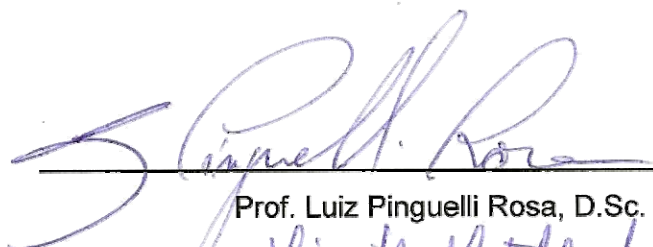


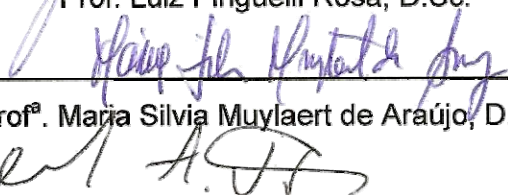
EMISSÕES HISTÓRICAS DE CO₂ DA MUDANÇA DO USO DA TERRA PARA AGRICULTURA E PASTAGEM E A CONTRIBUIÇÃO DOS PAÍSES PARA A MUDANÇA DO CLIMA – A PROPOSTA DO BRASIL PARA A CONVENÇÃO DO CLIMA

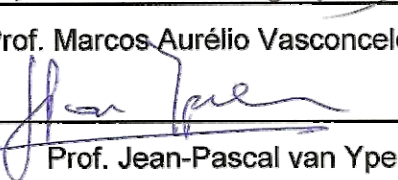
Christiano Pires de Campos

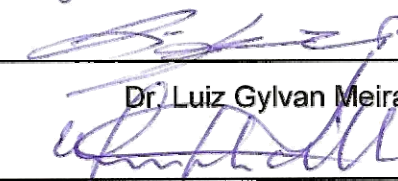
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

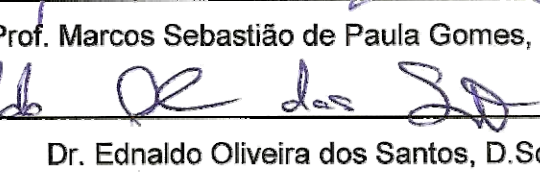
Aprovada por:


Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D.Sc.

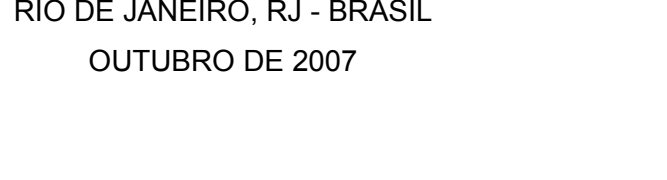

Prof.^a Maria Silvia Muylaert de Araújo, D.Sc.


Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas, Ph.D.


Prof. Jean-Pascal van Ypersele, Ph.D.


Dr. Luiz Gylvan Meira Filho, Ph.D.


Prof. Marcos Sebastião de Paula Gomes, Ph.D.


Dr. Ednaldo Oliveira dos Santos, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2007

CAMPOS, CHRISTIANO PIRES DE

Emissões Históricas de CO₂ da Mudança do Uso da Terra para Agricultura e Pastagem e a Contribuição dos Países para a Mudança do Clima – a Proposta do Brasil para a Convenção do Clima [Rio de Janeiro] 2007

XVII, 148 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2007)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Mudança do Clima
2. Responsabilidade histórica
3. Proposta do Brasil
4. Modelo climático simples
5. Modelo de emissões da mudança do uso da terra

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

A Jesper Gunderman, pelo
exemplo de dedicação à ciência.
in memoriam

*“Não há consolo mais hábil do
que o pensamento de que
escolhemos nossas desgraças;
(...)”.*

Jorge Luiz Borges – O Aleph.

A G R A D E C I M E N T O S

Agradeço em especial:

Aos meus pais que me deram oportunidades de viver e trilhar novos caminhos;

Aos meus padrinhos pelo exemplo de vida;

Ao Prof. Luiz Pinguelli Rosa pelo o apoio em todas as etapas deste processo;

À Prof^a. Maria Silvia Muylaert pelo exemplo e entusiasmo em todos anos de trabalho conjunto;

Ao Dr. Ben Matthews pela atenção, amizade, exemplo e que muito me ensinou;

Ao Prof. Jean Pascal van Ypersele pela oportunidade de trabalhar na Universidade Católica de Louvain;

À Rachel pelo amor, apoio e companheirismo;

Ao Rorigo Lorena, Marie, Marcela, Fernanda, Frederico, Nazarena, Simone, Valentina, Thomas, Woiteck, Ben e Vinciane pela amizade e bons momentos que vivenciamos em Louvain-la-Neuve;

Ao CNPq por financiar a pesquisa e desenvolvimento brasileiro e pela bolsa de doutorado sanduíche;

Ao Ministério de Ciência e Tecnologia e Eletrobrás SA que com o apoio ao projeto de emissões históricas corroboraram com o andamento desta tese;

Ao Grupo *Ad Hoc* da Convenção do Clima – MATCH;

À Gerência de Avaliação e Monitoramento Ambiental da PETROBRAS/CENPES pelo apoio à finalização desta tese, em especial ao Pedro Penido e Paulo César;

Ao Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais – IVIG/COPPE/UFRJ;

Ao Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ;

Aos funcionários da COPPE/UFRJ que ajudaram diretamente e indiretamente;

E finalmente:

Aos meus amigos e colegas do PPE e IVIG; André, Angela, Cícero, Leonardo Ribeiro, Luciana da Paz, Luciano Oliveira, Paulo Assis, Márcia Real, Márcio D'agosto.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.).

EMISSÕES HISTÓRICAS DE CO₂ DA MUDANÇA DO USO DA TERRA PARA AGRICULTURA E PASTAGEM E A CONTRIBUIÇÃO DOS PAÍSES PARA A MUDANÇA DO CLIMA – A PROPOSTA O BRASIL PARA A CONVENÇÃO DO CLIMA

CHRISTIANO PIRES DE CAMPOS
Outubro/2007

Orientadores: Luiz Pinguelli Rosa

Maria Silvia Muylaert

Programa: Planejamento Energético

Esta tese estima emissões históricas da mudança do uso da terra e analisa aspectos científicos e metodológicos da Proposta do Brasil para a Convenção do Clima com o cálculo das responsabilidades históricas das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O dos países para o aumento da temperatura média global. A aplicação da Proposta vem sendo desenvolvida e analisada pela comunidade internacional para futuros compromissos de redução de emissões de gases de efeito estufa e outros fins. Para as nossas análises e resultados, desenvolvemos um modelo de emissões da mudança do uso da terra por país, um modelo climático simples em nível de grandes regiões, metodologias para estimar as emissões históricas e futuras de três gases de efeito estufa por país e, utilizando o Modelo Simples Climático Java – JCM5, calculamos as contribuições históricas dos países no passado, presente e futuro. Concluímos que modelos simples de clima são robustos para o cálculo de atribuição de causa e efeito entre emissões e aumento da temperatura, mas as estimativas de emissões da mudança do uso da terra têm grandes incertezas, e que a contribuição dos países em desenvolvimento se equivalerá à contribuição dos países desenvolvidos entre 2020 e 2040.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Science (D.Sc.)

LAND USE CHANGE HISTORICAL CO₂ EMISSIONS FROM AGRICULTURE AND PASTURE AND THE CLIMATE CHANGE CONTRIBUTION BY COUNTRY – PROPOSAL BY BRAZIL TO THE CLIMATE CONVENTION

CHRISTIANO PIRES DE CAMPOS

October/2007

Advisors: Luiz Pinguelli Rosa
Maria Silvia Muylaert

Department: Energy Planning

This thesis estimates the historical land use change emissions and analyses the scientific and methodological aspects of the Proposal by Brazil to the Climate Convention of historical responsibilities to temperature increase from CO₂, N₂O and CH₄ emissions by country. The application of the Brazilian Proposal is being developed and analysed by the scientific community for burden sharing and other purposes. For our analysis and results, we developed a historical land use change emission model by country, a simple climate model by region, methodologies to estimate historical and future CO₂, CH₄ and N₂O emissions by country departing from regional estimates and, using the Java Simple Climate Model – JCM5, we calculated the contributions to temperature increase by country in the past, present, and future. We concluded that simple climate models are robust for calculate the cause and effect between emissions to temperature increase, but the land use change emissions is the biggest uncertainty, and the contributions to temperature increase from developing countries will be equivalent to the developed countries by 2020-2040, according to different estimates of land use change emissions.

Índice

<i>Lista de Figuras</i>	<i>x</i>
<i>Lista de Tabelas</i>	<i>xv</i>
<i>Nomenclatura</i>	<i>xvii</i>
<i>Introdução</i>	<i>1</i>
1 <i>Formulação do Problema e Contexto Global da Mudança do Clima</i>	5
1.1 Efeito Estufa e Mudança do Clima	6
1.2 Convenção do Clima	15
1.3 Proposta do Brasil para a Convenção do Clima	23
2 <i>Emissões Históricas da Mudança do Uso da Terra</i>	33
2.1 Estimativas de Emissões Históricas da Mudança do Uso da Terra	45
2.2 Modelo de Emissões da Mudança no Uso da Terra - IVIG/MEMUT	51
2.2.1 Áreas do uso da terra	52
2.2.2 Modelo de Emissões	59
3 <i>Modelos Climáticos Simples</i>	65
3.1 Descrição	65
3.1.1 Modelos do Ciclo do Carbono	66
3.1.2 Modelos de CH ₄ e N ₂ O	71
3.1.3 Modelos de Outros Gases	74
3.1.4 Modelo de Forçamento Radiativo	75
3.1.5 Modelo de Temperatura	79
3.1.6 Aumento do nível do mar	81
3.2 Estudos de Responsabilidades Históricas	81
3.3 Uso do Software STELLA®	90
3.4 Java Climate Model 5 – JCM5	93
3.4.1 Estimativas de emissões por país	97
4 <i>Resultados e Análises do Modelo de Emissões da Mudança do uso da terra</i>	102
4.1 Emissões da Mudança do Uso da Terra	104
4.2 O Estudo de Caso: Brasil	111

5	<i>Resultados e Análises das Contribuições para o aumento da temperatura</i>	118
6	<i>Conclusões</i>	133
	<i>Bibliografia</i>	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Caricatura utilizada na publicação “Global Warming in an unequal World”.	5
Figura 1.2 – Balanço médio global de energia	7
Figura 1.3 – Setores e fontes das emissões dos GEEs	9
Figura 1.4 – Emissões acumuladas de CO ₂ de 1850 a 1998	12
Figura 1.5 – Cenários de aumento da temperatura média global	13
Figura 1.6 – Emissão per capita de combustíveis fósseis e mudança do uso da terra versus população	17
Figura 1.7 – Representação esquemática do modelo sugerido pela Proposta do Brasil	25
Figura 1.8 – Representação esquemática do modelo proposto pela nota técnica do Brasil	27
Figura 1.9 – Relação não linear entre concentração de CO ₂ e forçamento radiativo	28
Figura 1.10 – Representação do modelo climático simples	29
Figura 2.1 – Sistema de classificação de biomas	34
Figura 2.2 - Densidade de Carbono por hectare nos diversos biomas	36
Figura 2.3 – Área percentual dos biomas terrestres	37
Figura 2.4 – Percentagem de carbono estocado nos biomas terrestres	37
Figura 2.5 – Concentrações atmosféricas utilizando diferentes estimativas de mudança do uso da terra ou emissões de CO ₂ da mudança do uso da terra	44
Figura 2.6 – Efeito líquido da mudança do uso da terra na temperatura	45
Figura 2.7 – Emissões da mudança do uso da terra de acordo com diferentes estudos de Houghton	47
Figura 2.8 – Emissões históricas da mudança do uso da terra de Houghton	48
Figura 2.9 – Fluxos modelados das emissões antropogênicas de CO ₂	49
Figura 2.10 – Emissões regionais da mudança do uso da terra de EDGAR 1.4	50

Figura 2.11 – Comparação das emissões da mudança no uso da terra de Houghton e EDGAR _____	50
Figura 2.12 – Emissões do EDGAR 1.4 utilizadas no artigo do Grupo <i>Ad Hoc</i> MATCH _____	51
Figura 2.13 – Esquema da mudança do uso da terra considerada no IVIG/MEMUT _	53
Figura 2.14 – Mapas de uso da terra com a classificação de biomas A _____	54
Figura 2.15 – Mapas de uso da terra com a classificação de biomas B _____	55
Figura 2.16 – Interpolação anual das áreas na classificação de bioma A _____	57
Figura 2.17 – Maiores áreas de agricultura por país entre 1960-2002 _____	58
Figura 2.18 – Maiores áreas de pastagem por país entre 1960-2002 _____	58
Figura 2.19 – Esquema do modelo de emissões da mudança do uso da terra _____	59
Figura 3.1 – Modelo de circulação geral de 3 células por hemisfério _____	65
Figura 3.2 – Ciclo global do carbono nos anos 90 _____	68
Figura 3.3 – Estrutura do modelo de ciclo do carbono de Berna _____	69
Figura 3.4 – Cenários de concentrações de CO ₂ _____	70
Figura 3.5 – Cenários de concentrações de CH ₄ _____	72
Figura 3.6 – Cenários de concentrações de hidroxilas (OH) _____	73
Figura 3.7 – Cenários de concentrações de N ₂ O _____	74
Figura 3.8 – Concentrações de F-gases _____	75
Figura 3.9 – Forçamento radiativo atmosférico histórico _____	77
Figura 3.10 – Emissões de CO ₂ de combustíveis fósseis, concentrações e aumento da temperatura _____	82
Figura 3.11 – Efeito das emissões de CO ₂ e CH ₄ no sistema climático _____	84
Figura 3.12 – Comparação da contribuição relativa das regiões e aumento da temperatura global _____	85
Figura 3.13 – Contribuição histórica por setor e região utilizando diferentes indicadores _____	86

Figura 3.14 – Contribuição histórica por região com diferentes anos de início da atribuição _____	87
Figura 3.15 – Emissões históricas de carbono grafite e de carbono orgânico _____	88
Figura 3.16 – Estimativas de emissões históricas de aerossóis do uso de combustíveis fósseis e biocombustíveis _____	89
Figura 3.17 – Contribuições relativas para o aumento da temperatura com e sem a influência de SO _x _____	90
Figura 3.18 – Ilustração do modelo de contribuições para o aumento da temperatura no software STELLA® _____	91
Figura 3.19 – Ilustração da interface gráfica do usuário do modelo programado no software STELLA® _____	92
Figura 3.20 – Estoques de carbono de origem antropogênica nos reservatórios do modelo de Berna _____	94
Figura 3.21 – Resultados de forçamento radiativo e concentrações do JCM5 com cenários de emissões B2 e de estabilização da temperatura _____	96
Figura 3.22 – Resultados de emissões de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O do JCM5 com cenários de emissões B2 e de estabilização da temperatura _____	97
Figura 3.23 – Estimativas e cenários de emissões de CH ₄ de 1990 à 2020 por país _____	99
Figura 3.24 – Estimativas e cenários de emissões de N ₂ O de 1990 à 2020 por país _____	99
Figura 4.1 – Maiores taxas históricas de expansão da agricultura _____	102
Figura 4.2 – Maiores taxas históricas de expansão da pastagens _____	103
Figura 4.3 – Maiores taxas históricas de expansão de agricultura mais pastagem _____	103
Figura 4.4 – Mapa com a legenda de cores dos países _____	104
Figura 4.5 – Estoques históricos de carbono terrestre por país _____	104
Figura 4.6 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra _____	105
Figura 4.7 – Emissões do IVIG/MEMUT-2 por país com classificação de biomas A _____	106

Figura 4.8 – Emissões do IVIG/MEMUT-2 por país com classificação de biomas B _____	107
Figura 4.9 – Emissões estimadas do IVIG/MEMUT-2 por país com a classificação de biomas B-ISAM _____	107
Figura 4.10 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra da França _____	108
Figura 4.11 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra da Indonésia _____	109
Figura 4.12 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra dos EUA _____	110
Figura 4.13 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra do Brasil _____	111
Figura 4.14 – Uso do Solo da América Latina em 1750 e 1990 com a classificação de biomas A _____	112
Figura 4.15 – Sobreposição de áreas desmatadas do INPE e do HYDE 2.0 _____	113
Figura 4.16 – Mapa com a classificação vegetal em 1700 do HYDE (esquerda) e do IBAMA (direita) _____	114
Figura 4.17 – Evolução das áreas dos biomas brasileiros _____	115
Figura 4.18 – Taxas anuais de desmatamento do Brasil _____	116
Figura 4.19 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra do Brasil com fontes externas de dados de desmatamento _____	117
Figura 5.1 – Análise de sensibilidade do aumento da temperatura (°C) em relação ao decaimento do CO ₂ _____	118
Figura 5.2 – Análise de sensibilidade da responsabilidade relativa em relação ao decaimento do CO ₂ _____	119
Figura 5.3 – Concentrações atmosféricas de CO ₂ calculadas por dois modelos simples de carbono _____	120
Figura 5.4 – Contribuição para aumento da temperatura total e relativa de 1750 a 1900 e 1750 a 1990 _____	120
Figura 5.5 – Aumento da temperatura média terrestre em 2010 das emissões de quatro regiões a partir de 1990 e aumento da temperatura histórica desde 1800 _____	121
Figura 5.6 – Freqüência cumulativa das responsabilidades históricas em 2000 _____	124
Figura 5.7 – Contribuições históricas relativas para o aumento da temperatura da Alemanha, Austrália, Brasil, China, Canadá e Estados Unidos _____	126

Figura 5.8 – Contribuições históricas relativas para o aumento da temperatura da França, Índia, Indonésia, Japão, Reino Unido e Rússia _____	128
Figura 5.9 – Responsabilidades relativas das emissões de combustíveis fósseis ____	129
Figura 5.10 – Responsabilidades relativas das emissões de combustíveis fósseis, CH ₄ e N ₂ O _____	130
Figura 5.11 – Responsabilidades relativas das emissões de combustíveis fósseis, CH ₄ , N ₂ O e mudança do uso da terra do IVIG/MEMUT-2A _____	131
Figura 5.12 – Responsabilidades relativas das emissões de combustíveis fósseis, CH ₄ , N ₂ O e mudança do uso da terra de Houghton _____	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Balanço do carbono (Gt C ano ⁻¹) _____	10
Tabela 1.2 – Bases de dados de emissões históricas de GEE _____	27
Tabela 2.1 – Estoques de Carbono na Vegetação e Solos até 1 metro de profundidade _____	35
Tabela 2.2 – Taxa anual média de desmatamento e florestamento das áreas florestais segundo o Relatório de Avaliação de Florestas da FAO entre 1990-2005 _____	41
Tabela 2.3 – Comparação das estimativas florestas tropicais e desmatamento por ACHARD <i>et al.</i> (2004) e estudos da FAO _____	41
Tabela 2.4 – Emissões resultantes da mudança do uso da terra nos anos 80 e 90 __	43
Tabela 2.5 – Fatores de densidade de carbono e tempo de regeneração acima e abaixo do solo por bioma da classificação A _____	60
Tabela 2.6 – Fração e tempo de decaimento da biomassa acima e abaixo do solo utilizados no modelo IVIG/MEMUT na classificação de bioma A _____	61
Tabela 2.7– Fatores de densidade de carbono e tempo de regeneração acima e abaixo do solo por bioma da classificação B _____	62
Tabela 2.8 – Fração e tempo de decaimento da biomassa acima e abaixo do solo utilizados no modelo IVIG/MEMUT na classificação de bioma B _____	63
Tabela 2.9 – Fatores de densidade de carbono acima e abaixo do solo por bioma da classificação B-ISAM _____	64
Tabela 3.1 – Constantes para o cálculo das concentrações _____	74
Tabela 3.2 – Constantes para o cálculo do forçamento radiativo de 3 GEE _____	79
Tabela 3.3 – Constantes para o cálculo do aumento da temperatura _____	80
Tabela 3.4 – Anos onde as responsabilidades das emissões de combustíveis fósseis dos países em desenvolvimento se equivalerão às dos países desenvolvidos _____	82
Tabela 3.5 – Cálculo da incerteza das estimativas de emissões dos maiores emissores de CH ₄ e N ₂ O em relação aos inventários da UNFCCC _____	100
Tabela 4.1 – Classificações de formações vegetais _____	114

Tabela 5.1 – Fatores de Decaimento do CO₂ _____ 118

Tabela 5.2 – Maiores 25 responsabilidades relativas para o aumento da temperatura em 2000, considerando emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis, CH₄, N₂O e CO₂ da mudança do uso da terra entre 1750-2000 (%) _____ 123

NOMENCLATURA

- ALM – Região da classificação utilizada no relatório especial do IPCC sobre Cenários de Emissões correspondente aos países da África, América Latina e Oriente Médio
- ASIA – Região da classificação utilizada no relatório especial do IPCC sobre Cenários de Emissões correspondente aos países da Ásia
- CDIAC – Centro de Análise de Dióxido de Carbono do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, cdiac.ornl.gov
- CH₄ – Metano
- CO₂ – Dióxido de Carbono
- COP – Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
- GEE – Gás de Efeito Estufa
- GIS (Geographic Information System) – Sistema de informação geográfica
- ha – hectare
- Hectare – Unidade de área equivalente a um quadrado com 100m de lado e perfazendo, portanto 10.000 m², e correspondendo a 2,47 acres.
- HYDE – Banco de dados de informações ambientais globais da Agência de Meio Ambiente da Holanda.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) – Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
- IVIG/COPPE – Instituto Virtual Internacional sobre Mudanças Globais no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
- JCM5 – Java Climate Model, versão cinco, www.climate.be/jcm
- MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia
- MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
- IVIG/MEMUT – Modelo de Emissões da Mudança do Uso da Terra do IVIG
- N₂O – Óxido Nitroso
- OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- OECD – Região da classificação utilizada no relatório especial do IPCC sobre Cenários de Emissões correspondente aos países integrantes da OCDE em 1990
- PIBE-GEE – Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões de Gases de Efeito Estufa
- PQ – Protocolo de Quioto
- PRODES – Estimativa de Desflorestamento da Amazônia do INPE
- REF – Região da classificação utilizada no relatório especial do IPCC sobre Cenários de Emissões correspondente aos países do leste europeu e ex União Soviética
- SBSTA (Subsidiary Body on Scientific and Technological Advice) – Corpo Subsidiário de Conselho Técnico e Científico da Convenção do Clima
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change – Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
- USEPA – United States Environmental Protection Agency

INTRODUÇÃO

Diversos países se mobilizaram para combater a Mudança do Clima em 1992 com o estabelecimento da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, doravante **Convenção do Clima** (CONVENÇÃO DO CLIMA, 1992). Os países listados no Anexo I da Convenção do Clima (países industrializados) deveriam estabilizar suas emissões nos níveis de 1990. Entretanto, em 1995, verificou-se que estes países não estavam estabilizando seus níveis de emissões e, portanto, em 1997, redigiram um Protocolo de compromissos em Quioto (Japão), onde foram determinadas, entre outros itens, metas de redução de emissões dos gases causadores de efeito estufa para os países industrializados (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997).

Dentre diversas propostas apresentadas à Convenção do Clima, a delegação brasileira apresentou em 1997 uma proposta de repartição do ônus da redução das emissões de gases de efeito estufa proporcional às contribuições dos países para o aumento da temperatura média global. Para tal fim, a proposta estabeleceu um modelo simples para formuladores de políticas de atribuição de causa e efeito entre emissões de CO₂ oriundas do uso de combustíveis fósseis e aumento da temperatura média global, sugerindo que a mesma metodologia fosse aplicada às emissões de CO₂ oriundas da mudança do uso da terra, CH₄, N₂O e outros gases de efeito estufa quando possível.

O PROTOCOLO DE QUIOTO (1997) estabeleceu metas de redução de emissões para os países listados no seu Anexo B, sem, no entanto, adotar a Proposta do Brasil. Entretanto, a Proposta vem sendo analisada pelo Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico da Convenção do Clima nos seus aspectos científicos e metodológicos, conferindo uma área de estudo a ser analisada de maneira idônea com a inclusão de cientistas de países em desenvolvimento através de reuniões de especialistas. Este esforço se estabeleceu em diversas reuniões (UNFCCC, 1998, 1999, 2001a, 2002b) e se consolidou na formação do grupo *Ad Hoc* sobre Modelagem e Avaliação das contribuições para a mudança do clima (doravante grupo *Ad Hoc* MATCH) em 2003 com a missão de apresentar resultados e relatórios sobre a proposta do Brasil para a Convenção do clima. Esta tese é fruto de uma linha de pesquisa do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais –

UFRJ/COPPE/IVIG, que participa do grupo *Ad Hoc* MATCH com um modelo de contribuição para o aumento da temperatura e o modelo de emissões de CO₂ da mudança no uso da terra.

Em maio de 2001 o IVIG iniciou com o Ministério de Ciência e Tecnologia a elaboração de bancos de dados de emissões históricas por país de 3 gases de efeito estufa (CO₂, CH₄ e N₂O) para ser usado no modelo matemático da Proposta Brasileira e no modelo desenvolvido por ROSA e RIBEIRO (2001). O projeto foi finalizado em dezembro de 2001, com resultados das emissões de N₂O e CH₄ do manejo de esterco e fermentação entérica de animais domésticos por país, respectivamente, e um banco de dados preliminar de emissões de CO₂ devido à mudança no uso da terra (MCT, 2001). De janeiro de 2002 à metade de 2003, o grupo de pesquisa no IVIG foi mantido com recursos próprios possibilitando a manutenção da equipe e do modelo de emissões da mudança do uso da terra, que se mostrou ser a maior incerteza para o cálculo das contribuições para o aquecimento global (de CAMPOS, MUYLEAERT e ROSA, 2005).

Em novembro de 2002, durante a COP-8 (Índia), o IVIG assessorou a delegação brasileira na negociação da continuidade da proposta do Brasil sob a supervisão do Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico da Convenção do Clima (SBSTA). Da metade de 2003 até agosto de 2004 a Eletrobrás SA, a pedido do MCT, financiou um projeto para a compilação e informatização do banco de dados de emissões históricas por país de gases de efeito estufa (IVIG-SCE, 2004).

No mês de dezembro de 2003, o IVIG enviou uma missão para a COP-9 (Itália), onde participou de um evento paralelo sobre o “Artigo 2 da Convenção, Estabilização, Incertezas e o engajamento de cidadãos” (MATTHEWS e van YPERSELE, 2003), organizado pelo Professor Jean-Pascal van Ypersele e o Dr. Ben Matthews do Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade Católica de Louvain, Bélgica (UCL-ASTR). Na época, estabelecemos contato e interesse de trabalhar em parceria, frutificando no doutorado sanduíche no período de 2005-2006, com bolsa do tipo balcão do CNPq.

Ao longo de 2005 acoplamos o modelo de emissões da mudança do uso da terra ao modelo climático simples Java Climate Model e desenvolvemos metodologias de análises da Proposta do Brasil em conjunto com o grupo MATCH. O grupo MATCH

deveria ter encerrado suas metas em outubro de 2006, mas diante das dificuldades de realizar estudos internacionais sem financiamento específico, em maio de 2006 o SBSTA reconheceu os esforços e estendeu o prazo para a entrega de relatórios até 30 de outubro de 2007, com uma apresentação no evento do 27º SBSTA em dezembro de 2007, comentários dos governos até 7 de março de 2008; tendo como metas apresentar e finalizar o processo por volta de junho de 2008 (UNFCCC, 2006).

Atualmente tem crescido a atenção internacional sobre a Proposta do Brasil e a sua validação metodológica e científica, pois tem possibilidades de ser usado no modelo de repartição do ônus da mitigação da mudança do clima no segundo período de compromisso do Protocolo de Quioto. Outras propostas também estão sendo discutidas para este fim (BAUMERT *et al.*, 1999; CCAP, 1998; CLAUSSEN e NEILLY, 1998; den ELZEN *et al.*, 1999; MEYER, 2000), mas suas análises não estão no escopo desta dissertação.

A Proposta do Brasil enfatizou a idéia de um modelo simples para tomadores de decisão, que maximizasse a transparência e permitisse que qualquer pessoa pudesse fazer os cálculos num computador pessoal. Os modelos usados para o diálogo das políticas globais deveriam ser explorados pelas pessoas de forma a se verificar a sensibilidade das incertezas científicas e os valores de julgamento. Entretanto, reduzir o modelo a poucas fórmulas diferenciais também pode reduzir a credibilidade do mesmo na comunidade científica. Ainda assim, o modelo de contribuições para a mudança do clima sempre poderá ser usado para simulações e análises de sensibilidade ilustrando as propriedades de políticas ótimas num conjunto de alternativas e parâmetros.

A importância do conceito de um modelo simples de clima para formuladores de políticas pode ser notada no desenvolvimento de ferramentas utilizando o mesmo conceito como o CAIT (2003) e o FAIR (2004). A participação do Brasil nesta área conta apenas com o grupo da Universidade Federal do Rio de Janeiro com apoio do Ministério de Ciência e Tecnologia e carece da consolidação de mais modelos.

Sabendo-se que é possível elaborar modelos simples de clima como descrito por HARVEY *et al.* (1997), a hipótese desta tese é de que atualmente é possível avaliar cientificamente as responsabilidades das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O para o aumento da temperatura média global através de um modelo simples de clima por país.

Portanto, esta tese analisa e avalia as contribuições para o aumento da temperatura média global aperfeiçoando e aplicando o modelo numérico de MEIRA FILHO e MIGUEZ (2000) e o modelo numérico de ROSA e RIBEIRO (2001) programado em linguagem STELLA® para treze regiões e inova no cálculo da atribuição de causa e efeito das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O em escala nacional, através do estabelecimento da parceria com a Universidade Católica de Louvain, com o modelo Java Climate Model (www.chooseclimate.org, jcm.chooseclimate.org). Como fruto de um trabalho realizado pelo IVIG para o MCT, desenvolvemos um modelo de emissões históricas da mudança do uso da terra, pois era o setor com maiores incertezas e importância para os cálculos das responsabilidades históricas.

No Capítulo 1 apresentamos a revisão bibliográfica e contextualização: 1.1 Efeito Estufa e Mudança do Clima, 1.2 Convenção do Clima, 1.3 Proposta do Brasil. Nos capítulos 2, 3 apresentamos o modelo de emissões históricas da mudança do uso da terra (IVIG/MEMUT), o modelo de ROSA e RIBEIRO (2001) programado no STELLA® e o modelo Java Climate Model 5.

Nos Capítulos 4 e 5 apresentamos os resultados dos modelos apresentados com resultados dos modelos de emissões da mudança do uso da terra e contribuição para o aumento da temperatura média global dos países. As conclusões e avaliações científicas e metodológicas da validação da Proposta do Brasil estão apresentadas no Capítulo 6.

1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E CONTEXTO GLOBAL DA MUDANÇA DO CLIMA

Vejamos a parábola do barco:



Tem duas pessoas num barco prestes a afundar por excesso de peso, um obeso de 150 kg e um magro de 40 kg. Os dois tripulantes chegam ao acordo de que ambos não devem exceder o peso de 200 kg. A questão que se torna fundamental é quanto cada um pode engordar dos 10 kg restantes ou quanto que cada um deveria estar pesando.

Figura 1.1 – Caricatura utilizada na publicação “Global Warming in an unequal World”. (Agarwal e Narain, 1998)

Nesta parábola o que é mais justo? A divisão igual do peso entre os tripulantes? Mas será que é possível o obeso reduzir drasticamente seu consumo calórico diário até pesar 100 kg? Seria necessário o magro engordar até 100 kg? Seria justo o obeso aumentar seu peso em 5 kg e o magro outros 5 kg ou coibir o magro a ganhar peso? E se fosse uma criança em fase de crescimento? Infelizmente não existe resposta exata para a divisão no barco.

A divisão do ônus da mitigação da mudança do clima tem sido discutida há muitos anos e tem muitos pontos em comum com a parábola do barco. Conceitos de justiça e equidade se tornam muito evidentes e têm sido explorados por estudiosos (e.g. ARAUJO, 2000). Este conceito também pode ser aplicado para a divisão dos custos da adaptação e impactos da Mudança do Clima, o princípio do poluidor pagador.

Assim, esta tese procura calcular a contribuição para o aquecimento global dos países, portanto, os próximos subitens vão estabelecer bases fundamentais das esferas científicas e políticas da Mudança do Clima.

1.1 EFEITO ESTUFA E MUDANÇA DO CLIMA

Noventa e nove por cento da atmosfera terrestre é composta predominantemente de nitrogênio (N₂), oxigênio (O₂) e argônio (Ar). Se houvesse apenas estes três gases na atmosfera, a temperatura média da Terra seria inferior a 18 °C e os oceanos seriam congelados. Entretanto, a presença de gases traços, ou gases de efeito estufa, impede que parte da transmissão do calor da atmosfera escape para o espaço exterior. Portanto, a temperatura média global pré-industrial da superfície da terrestre é de 15 °C. Este controle natural da temperatura terrestre é conhecido como efeito estufa.

O efeito estufa é um processo terrestre natural, mas a intervenção humana nos ciclos biogeoquímicos está o intensificando. Nesta tese se usa a expressão “efeito estufa” e “Mudança do Clima” para descrever o efeito estufa acentuado pela ação antrópica.

O efeito estufa foi postulado pela primeira vez em 1824 por Joseph Fourier como sendo “devido à transparência das águas e o grau de calor adquirido, o calor luminoso (ondas curtas) penetra facilmente no interior da massa, e o calor obscuro (ondas longas) foge com mais dificuldade”. Desta forma, Fourier descreveu o balanço global de energia, onde a atmosfera e os oceanos transportam calor do equador para os pólos, no qual a atmosfera é transparente à radiação solar (calor luminoso) e a temperatura da superfície terrestre aumenta com a radiação de alta frequência (calor escuro), portanto a atmosfera dificulta a transmissão de ondas longas ao espaço. Fourier conclui que o clima afeta a temperatura da superfície terrestre, pois os movimentos do ar e das águas, a extensão dos oceanos, a elevação e forma da superfície, os efeitos da indústria e todas mudanças acidentais da superfície terrestre modificam a temperatura e o clima (BONAN *et al.*, 1992; BETTS, 2000; CHASE *et al.*, 2000; GOVINDASAMY *et al.*, 2001 ; PEREIRA, 2002).

Os gases responsáveis pelo efeito estufa são denominados Gases de Efeito Estufa – **doravante GEE**. Estes gases geralmente são compostos de moléculas que se encontram naturalmente na atmosfera e os mais importantes para o balanço energético terrestre são: vapor de água (H₂O); dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); ozônio (O₃) e óxido nitroso (N₂O) (IPCC, 1995). O vapor d’água é o mais importante gás causador do efeito estufa devido a sua abundância. Com o céu claro, em torno de 60-70% do efeito estufa natural é provocado pelo vapor d’água (IPCC,

1995), mas as suas emissões de origem antropogênicas são negligenciáveis. As emissões de vapor d'água antropogênica, principalmente irrigação, correspondem a menos de 1% das fontes naturais (IPCC, 2007).

Estes gases retêm energia térmica; a energia emitida pelo sol atinge a atmosfera (342 W m^{-2}) na forma de ondas curtas, principalmente radiação visível, mas também infravermelho e ultravioleta. Parte desta radiação é refletida para o espaço (77 W m^{-2}) e parte é absorvida (67 W m^{-2}) pela atmosfera, porém cerca da metade atravessa a atmosfera alcançando a superfície terrestre (168 W m^{-2}). A superfície terrestre reflete um pouco da radiação incidente (30 W m^{-2}), mas a radiação absorvida participa de importantes processos físicos e é irradiada para a atmosfera sob forma de radiação térmica, (390 W m^{-2}), pelas térmicas de ar (24 W m^{-2}) e pela evapotranspiração (78 W m^{-2}). Esta energia é então absorvida pelos gases de efeito estufa que emitem a energia em direção ao espaço (235 W m^{-2}), mas também de volta para a superfície terrestre (324 W m^{-2}), aquecendo a atmosfera e retornando calor à superfície terrestre. Deve-se ressaltar que 40 W m^{-2} é emitida diretamente para o espaço devido a janela atmosférica (Figura 1.2).

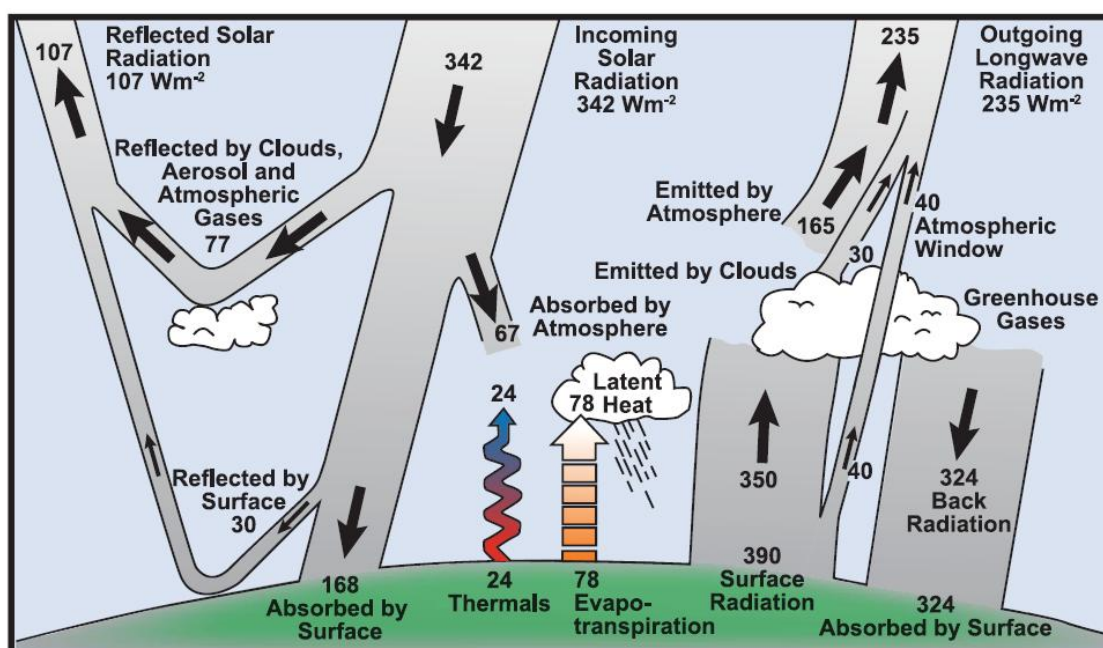


Figura 1.2 – Balanço médio global de energia

A Terra irradia para o espaço a mesma quantidade de energia que recebe do sol, mas com a presença dos GEEs na atmosfera, a temperatura média da superfície terrestre é cerca de $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ maior do que seria sem a presença dos gases de efeito estufa.

Fonte: IPCC (2007).

A cobertura terrestre influencia na refletividade terrestre da radiação visível, o albedo, pois a energia luminosa que atinge uma área escura tem um albedo menor do que uma área clara, pois reflete menos luz visível e irradia mais calor. Grande parte do albedo terrestre é causado pelas nuvens, pois as superfícies brancas refletem grande parte da radiação visível, impedindo a transformação desta energia em energia térmica. Os aerossóis também interferem na entrada de radiação solar e têm um efeito resfriador no balanço de energia terrestre, mas as suas fontes estão ligadas à degradação da qualidade do ar e deposição de ácidos e têm decaído nos últimos anos (IPCC, 2001a).

Dentre os GEEs de origem antropogênica, o CO₂ é o mais importante em termos de emissões (Figura 1.3), de concentrações e de absorção de energia. O consumo de combustíveis fósseis foi responsável por cerca de três quartos das emissões antropogênicas de CO₂ para a atmosfera durante os últimos 20 anos e cerca de um quarto foi devido às mudanças no uso do solo – desmatamento/reflorestamento (IPCC, 2001a).

O CH₄ é outro importante GEE de origem antrópica, mas as fontes individuais de CH₄ não são bem quantificadas, havendo uma diferença de 6 vezes entre as maiores e menores estimativas, pois são na maioria biogênicas (térmitas, pântanos, tundras e águas doces e salgadas). Relativo às emissões antropogênicas destaca-se a agricultura de arroz, a criação de ruminantes, vazamentos de gás natural, resíduos, mineração de carvão e queima de biomassa (ROTMANS e SWART, 1990). O N₂O é o terceiro GEE mais importante em termos de emissões antropogênicas, principalmente tendo como fontes o manejo agrícola, combustão de combustíveis fósseis, manejo de esterco animal.

As emissões de gases sintéticos resultantes de atividades exclusivamente humanas também intensificam o efeito estufa e contribuem com 14% do forçamento radiativo¹ total, principalmente: hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆), clorofluorcarbonos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonos (HCHFCs) (IPCC, 2001). A Figura 1.3 apresenta proporcionalmente os setores que emitem estes gases.

¹ Forçamento radiativo é definido como a diferença entre o balanço de radiação pré-industrial na tropopausa (limite entre troposfera e estratosfera) e o balanço de radiação em equilíbrio térmico como resultado da mudança das concentrações de GEEs (IPCC, 2001).

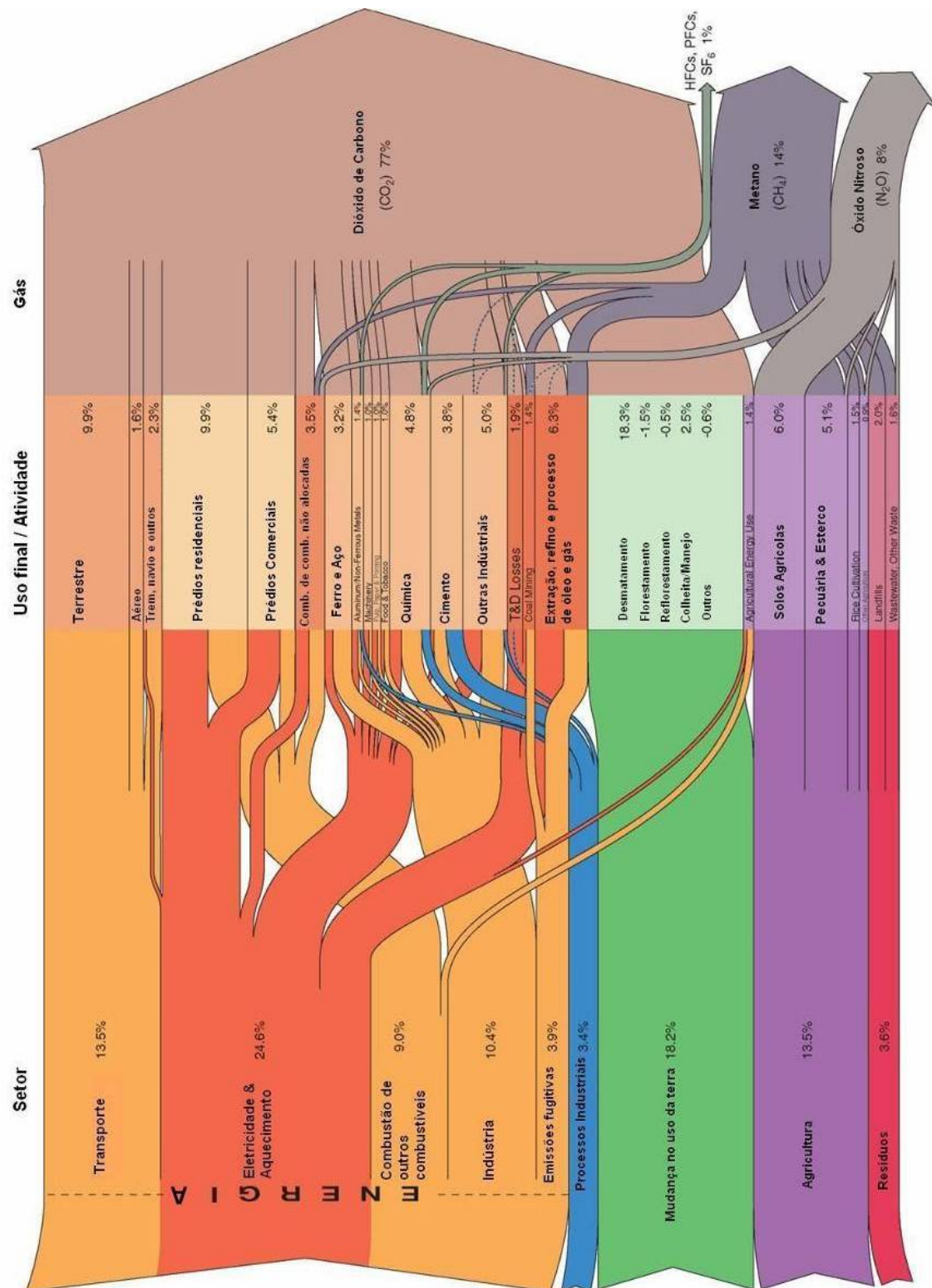


Figura 1.3 – Setores e fontes das emissões dos GEEs
 O CO₂ é o GEE de maior emissão em termos de CO₂ equivalente, onde a geração de energia, mudança do uso da terra, transporte e indústria são os setores que mais emitem CO₂. A agricultura emite igual ao setor de transporte em termos de CO₂ equivalente.
 Fonte: PERSHING (2003).

Na década 90, as emissões anuais médias de CO₂ oriundas do uso de combustíveis fósseis e da produção de cimento foram de 6,4 ± 0,4 Gt C ano⁻¹ e as emissões devido à mudança no uso da terra foram de 0,5 a 2,7 Gt C ano⁻¹ (20% das emissões totais). No período de 2000 a 2005 as emissões de CO₂ aumentaram para 7,2 ± 0,3 Gt C ano⁻¹ (IPCC, 2007). A incerteza das emissões dos combustíveis fósseis é de 6,25%, enquanto nas emissões devido à mudança do uso da terra é da ordem 47%. Nos anos 90, houve uma absorção líquida de carbono no ciclo respiração/fotossíntese de cerca de 0,7 ± 1,0 Gt C ano⁻¹, apesar das emissões devido ao desmatamento terem sido da ordem de 1,7 ± 0,8 Gt C ano⁻¹. Entretanto, é importante ressaltar que a margem de incerteza deste ciclo é muito grande (142%), podendo transformá-lo em uma fonte líquida de 0,3 Gt C anuais, conforme será visto na Figura 3.2. O resultado das fontes menos as remoções do ciclo do carbono deu um incremento líquido anual de 3,3 ± 0,2 Gt C ano⁻¹ nos estoques atmosféricos durante a década de 90 (WATSON *et al.*, 2000; IPCC, 2001) e 4,1 ± 0,1 Gt C ano⁻¹ no período de 2000 a 2005 (IPCC, 2007). A tabela abaixo apresenta o balanço do carbono nas últimas décadas.

Tabela 1.1 – Balanço do carbono (Gt C ano⁻¹)

	1980s	1990s	2000–2005
Aumento atmosférico	3.3 ± 0.1	3.2 ± 0.1	4.1 ± 0.1
Emissões de CO ₂ dos combustíveis fósseis	5.4 ± 0.3	6.4 ± 0.4	7.2 ± 0.3
Fluxo líquido do oceano para atmosfera	-1.8 ± 0.8	-2.2 ± 0.4	-2.2 ± 0.5
Fluxo líquido de biomas terrestres-atmosfera	-0.3 ± 0.9	-1.0 ± 0.6	-0.9 ± 0.6
<i>Partição dos fluxos dos biomas terrestres</i>			
Fluxo da Mudança do Uso da Terra	1.4 (0.4 to 2.3)	1.6 (0.5 to 2.7)	ND
Sumidouro residual dos biomas terrestres	-1.7 (-3.4 to 0.2)	-2.6 (-4.3 to -0.9)	ND

Obs.: Por convenção os fluxos positivos para a atmosfera são positivos e negativos são as remoções da atmosfera. ND indica não disponíveis. Fonte: IPCC, 2007.

O efeito estufa é resultado da resposta do clima em função do forçamento radiativo gerado pelas concentrações de GEE. As concentrações de GEEs são resultado de suas concentrações iniciais somadas às suas emissões antropogênicas e naturais menos suas transformações/remoções da atmosfera ao longo do tempo, como é visto na equação seguinte.

$$C_n = C_0 + \sum_1^n E - \sum_1^n S$$

Onde :

n = ano

C_n = concentração do GEE no ano n

C_0 = concentração inicial do GEE

E = emissões do GEE

S = sumidouros do GEE

Equação 1.1

Para se calcular a concentração é importante saber as emissões históricas, por exemplo, a Figura 1.4 compara as emissões acumuladas de 1850 a 1998 dos combustíveis fósseis e da mudança no uso da terra. Cerca de 270 (± 30) Gt C foram emitidos pela queima de combustíveis fósseis, outros 136 (± 55) Gt C foram emitidos pela mudança no uso da terra, principalmente de biomas florestais. O resultante destas emissões menos as absorções dos oceanos e biosfera é o acréscimo de 176 \pm 10 Gt C no carbono atmosférico (IPCC, 2001).

Em 2004 as concentrações de CO₂ alcançaram o patamar de 377,1 ppm, 35% maior que os níveis pré-industriais (WMO, 2006) e 379 ppm em 2005 (IPCC, 2007). Conforme exposto na Figura 1.3, o CH₄ e o N₂O são os outros gases mais importantes em termos de emissões equivalentes de CO₂ de origem antropogênica, suas concentrações médias em 2005 foram, respectivamente, de 1774 ppb e 318,6 ppb ou, 155 e 18% maior do que os níveis pré-industriais (*id.*).

As emissões históricas dos combustíveis fósseis caracterizam o problema mais grave para o aumento da concentração atmosférica de CO₂. Estas são em média 198% maiores que as emissões da mudança no uso da terra (podendo chegar a 370% e a 125%, usando as incertezas máximas e mínimas das estimativas). Segundo IPCC (2007), desde 1750 dois terços das emissões de CO₂ vieram da queima de combustíveis fósseis e um terço da mudança do uso da terra, onde cerca de 45% permanece na atmosfera, 30% foram absorvidos pelos oceanos e 25% foi absorvido pela biosfera terrestre.

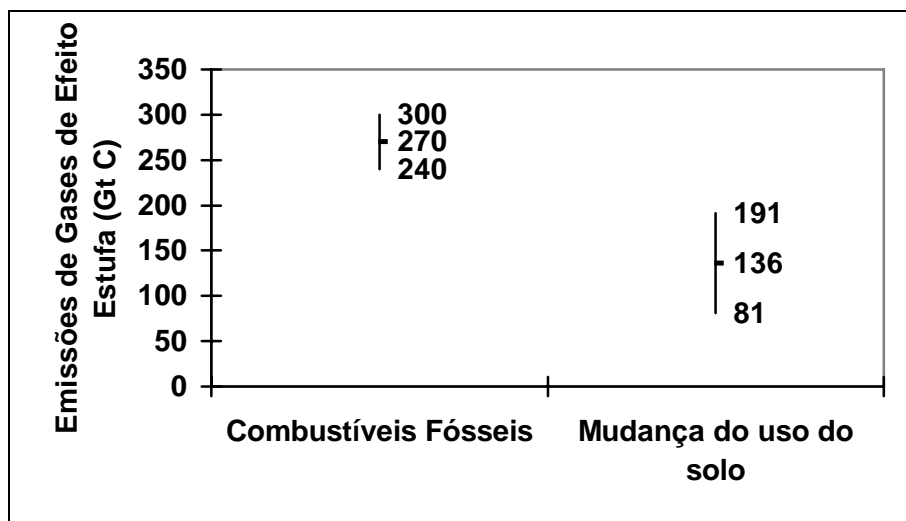


Figura 1.4 – Emissões acumuladas de CO₂ de 1850 a 1998
Emissões em Gt C.

Fonte: elaboração própria a partir de Watson *et al.* (2000).

Segundo HOUGHTON (2001), as emissões devido ao desmatamento das florestas tropicais da América Latina e Ásia no período de 1850 a 1998 foram de $50 \pm 7,5$ Gt C, ou seja, 12% das emissões totais antrópicas. Das emissões totais da mudança no uso da terra o desmatamento tropical é responsável por 37%, os outros 63% das emissões históricas da mudança no uso da terra seriam da Europa, América do Norte, Oceania e África.

Quanto maior a concentração dos GEEs, maior é a absorção de calor e o aquecimento global, mas de forma não linear. A grandeza que mede esta absorção é o forçamento radiativo em $W m^{-2}$; o CO₂, CH₄ e N₂O são os gases de origem antropogênica com maiores níveis de absorção das ondas infravermelhas correspondendo, respectivamente, a 62%, 20% e 6% do forçamento radiativo (WMO, 2006).

O efeito estufa já se intensificou, a temperatura superficial média global aumentou em $0,6 \pm 0,2^{\circ} C$ e as médias globais das marés indicam um aumento de 0,1 a 0,2 metros durante o século XX (IPCC, 2001). As épocas quentes das oscilações do *El Niño* têm se tornado mais freqüentes, persistentes e intensas desde a metade da década de 70, comparado com os 100 anos anteriores. Algumas imagens de satélite mostram que as extensões das camadas de neve se reduziram em 10% (confiabilidade de 90-99%) desde a década de 60. Nos próximos 100 anos deverão ocorrer mudanças climáticas regionais, incluindo temperatura média global entre 1,5 °C e 6 °C (Figura 1.5), invernos mais quentes, mudança no ciclo hidrológico global,

aumento da média do nível dos mares em 0,09 a 0,88 metros, alterações na biodiversidade e no ciclo de carbono. Isto ocorrerá principalmente devido à expansão térmica dos mares e ao derretimento de geleiras e placas de gelo (IPCC, 2001).

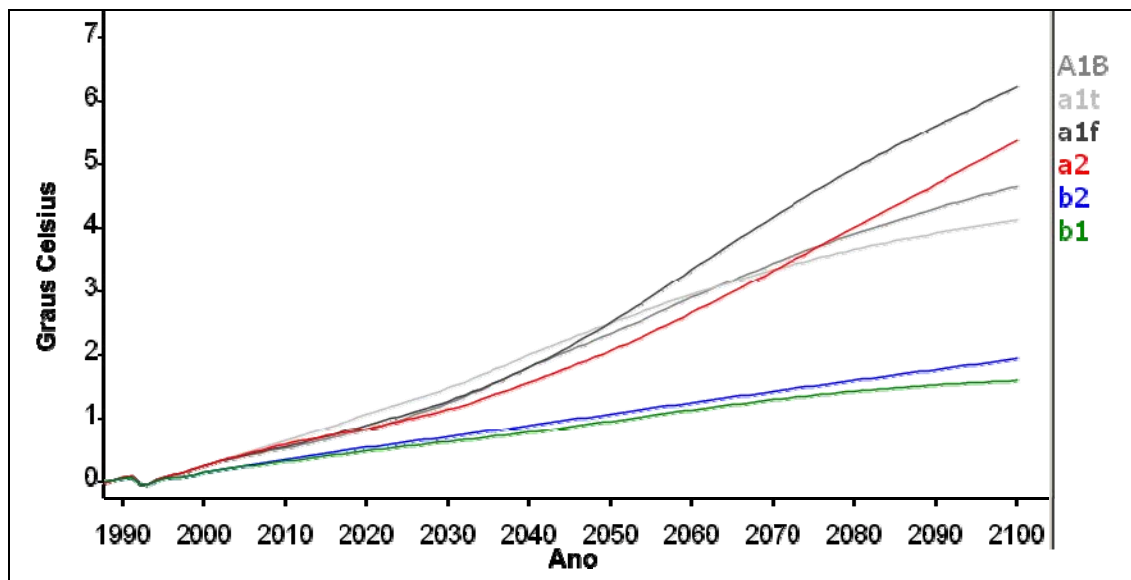


Figura 1.5 – Cenários de aumento da temperatura média global
Resultados do modelo JCM5 das projeções de temperatura média global de seis cenários ilustrativos do IPCC-SRES - variando a sensibilidade climática entre 1.7 para os cenários de menores emissões e 4.2 °C para os cenários de maiores emissões.
Fonte: Elaboração própria a partir do JCM5 (MATTHEWS, 2006).

Poucas áreas da Terra não se aqueceram nas últimas décadas, tais como a maior parte nos oceanos do Hemisfério Sul e partes da Antártica. Não houve nenhuma tendência de aquecimento dos mares de gelo antárticos desde 1978, período com medidas confiáveis de satélite. Não é evidente, nas áreas analisadas, uma ligação da mudança do clima com as mudanças sistemáticas na frequência de tornados, dias chuvosos, ou chuvas de granizo (IPCC, 2001). Os estudos de vulnerabilidade às mudanças climáticas afirmam que ocorrerá branqueamento dos corais para um aumento médio de 1 a 2 °C; haverá um declínio regional na produção de grãos para um aumento médio inferior a 2 °C; desestabilizará a camada de gelo da Groenlândia entre 2-3 °C e as camadas de gelo do Oeste Antártico entre 2 e 4 °C, e circulação termoalina se reduzirá para temperaturas superiores à 3 °C (LEEMANS e EIKHOUT, 2004; OPPENHEIMER e ALLEY, 2004 e 2005; SCHELLNHUBER *et al.*, 2006).

Este conjunto de evidências de mudanças globais presentes e futuras, que possam ser direta ou indiretamente atribuídas às atividades humanas e que se somem àquelas provocadas pela variabilidade climática natural, são conhecidos por **Mudança do Clima** (CONVENÇÃO DO CLIMA, 1992).

Em resposta às diversas evidências científicas sobre a Mudança do Clima, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – **IPCC**, em 1988. O IPCC² é o órgão responsável em fornecer informações sobre a ciência, os impactos e a economia, além de opções para mitigação e adaptação, da mudança do clima. O trabalho do IPCC representa o consenso científico da Mudança do Clima. Seus métodos de obtenção de consenso são endossados por várias academias de ciência mundiais segundo a declaração do documento THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE (2001)³ de 17 de maio de 2001.

Desde 1990, o IPCC elabora Relatórios de Avaliação quinquenais onde são compilados o conhecimento científico mundial publicado em periódicos indexados: 1) Bases Científicas – WG1; 2) Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade – WG2 e; 3) Mitigação – WG3. Para esta tese o terceiro relatório é considerado a melhor fonte de informações existente (IPCC, 2001). Em 2007, foi lançado o quarto relatório e algumas informações foram incluídas. Além destes relatórios, o IPCC produz Relatórios Especiais, Artigos Especiais, metodologias, entre outros.

Existem interesses que levantam dúvidas a respeito do consenso científico estar utilizando predições de mudança do clima, questionando a necessidade de mitigar os riscos afirmados pela ciência da mudança do clima. A declaração THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE (2001) não considera tais dúvidas justificáveis. O próprio governo norte-americano encomendou à Academia Norte-Americana de Ciências um parecer sobre os trabalhos do IPCC no início de 2001. O parecer foi favorável ao trabalho do IPCC.

O tema da Mudança do Clima é necessariamente global, uma vez que a atmosfera pertence a todos e, com ou sem a participação dos países, as gerações presentes e futuras estão sendo impactadas. Como conciliar as visões diferentes e até antagônicas de países e sociedades que estão negociando o destino da humanidade?

² Do inglês: Intergovernmental Panel on Climate Change.

³ São elas: Academia Australiana de Ciências, Academia Real Flamengo da Bélgica para Ciências e Artes, Academia Brasileira de Ciências, Sociedade Real do Canadá, Academia Caribenha de Ciências, Academia Chinesa de Ciências, Academia Francesa de Ciências, Academia Alemã de Ciências Naturais Leopoldina, Academia Nacional Indiana de Científica, Academia da Indonésia de Ciências, Academia Real Irlandesa, Academia Nacional de Lincei (Itália), Academia de Ciências da Malásia, Conselho Academia da Sociedade Real da Nova Zelândia, Academia Real Sueca de Ciências e Sociedade Real (Reino Unido).

Para isto foi criada a Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima, doravante **Convenção do Clima**.

1.2 CONVENÇÃO DO CLIMA

Em 1990 a Assembléia Geral das Nações Unidas estabeleceu o Comitê Inter-Governamental de Negociação para a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima (CIN/CQMC) recomendando a redação de uma convenção-quadro e de qualquer instrumento jurídico relacionado que fosse considerado necessário. Em 1992, foi adotada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima na Sede das Nações Unidas, doravante Convenção, Convenção do Clima ou UNFCCC⁴ (CONVENÇÃO DO CLIMA, 1992).

A Convenção do Clima foi assinada pelo Brasil durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento⁵, também conhecida como RIO-92 e entrou em vigor em 21 de março de 1994 com o objetivo de estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera (*ibid.*).

A Convenção é baseada em princípios básicos, dos quais se destacam: “responsabilidades comuns, mas diferenciadas e respectivas capacidades” e “precaução”. O princípio da precaução refere-se ao fato de que a ausência de “plena certeza científica não deve ser usada como razão para postergar” medidas “para prevenir, evitar ou minimizar as causas da mudança do clima e mitigar seus efeitos negativos” (*ibid.*).

O princípio das responsabilidades comuns, mas diferenciadas, refere-se ao reconhecimento de que “a maior parcela das emissões globais, históricas e atuais, de gases de efeito estufa é originária dos países desenvolvidos, que as emissões per capita dos países em desenvolvimento ainda são relativamente baixas e que a parcela das emissões globais originárias dos países em desenvolvimento crescerá, satisfazendo suas necessidades sociais e de desenvolvimento” (*ibid.*). Com base

⁴ Do inglês United Nations Framework Convention on Climate Change.

⁵ Realizada no Rio de Janeiro, de 3 a 14 de junho de 1992. Dessa Conferência resultaram outros quatro documentos: a Agenda 21, a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Declaração de Princípios sobre o Uso de Florestas, Convenção das Nações Unidas sobre Diversidade Biológica; e Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

neste princípio foram estabelecidos dois grupos de países: as Partes do Anexo I⁶ (países que são listados no Anexo I do texto da Convenção do Clima) e as Partes não listadas no Anexo I (países partes da Convenção do Clima que não estão listadas no referido Anexo). O Anexo I da Convenção do Clima inclui os países industrializados que eram membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em 1992, a Comunidade Européia e os países industrializados da ex-União Soviética e do Leste Europeu.

É reconhecido pela Convenção do Clima que os países listados no Anexo I têm, em geral, emissões per capita maiores do que os países em desenvolvimento, além de, como se mostrará nesta tese, terem níveis de emissões acumuladas e contribuições para o aumento da temperatura maiores. No caso do Brasil, atualmente as emissões per capita são consideravelmente altas por causa do desmatamento, mas, assim como os EUA que têm emissões negativas da mudança do uso da terra, este padrão deverá se inverter nas próximas décadas. Portanto, podemos constatar na Figura 1.6, que em 1994⁷ cerca de 1/5 das emissões de CO₂ dos EUA são absorvidas pela regeneração de suas florestas desmatadas no passado e que cerca de 2/3 das emissões do Brasil são da mudança do uso da terra.

⁶ São as Partes do Anexo I: Alemanha, Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária, Canadá, Comunidade Européia, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos da América, Estônia, Federação Russa, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, República Tcheca, Romênia, Suécia, Suíça, Turquia e Ucrânia (Convenção do Clima, 1995).

⁷ Ano em que a maioria dos países declararam seus inventários de emissões de gases de efeito estufa para a Convenção do Clima.

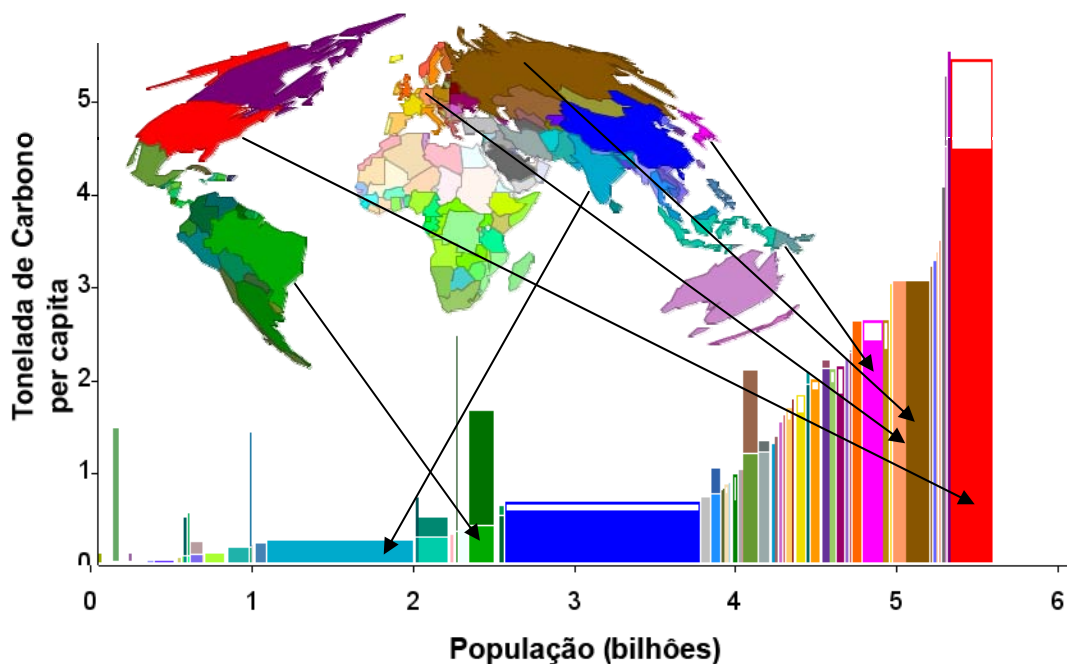


Figura 1.6 – Emissão per capita de combustíveis fósseis e mudança do uso da terra versus população

Emissões dos Inventários Nacionais de Emissões de CO₂ e população em 1994. A cor de cada país é representada no mapa; a barra inferior representa as emissões de combustíveis fósseis, a barra superior as emissões da mudança do uso da terra (cor cheia quando positivas e branca quando negativas). As emissões de CO₂ totais da China se equivaleram às dos EUA em 2007, mas podemos notar que ainda são muito inferiores em termos per capita.

Fonte: elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

As nações que assinaram a Convenção do Clima se comprometeram na criação de mecanismos que diminuíssem as emissões dos gases de efeito estufa no próximo século. Estes mecanismos abordaram, primeiramente, a capacidade das fontes de energia que emitem baixos níveis dos gases causadores do efeito estufa, bem como, mecanismos alternativos de absorção de CO₂. Além disso, os países desenvolvidos estabeleceram intenções de estabilizar suas emissões de GEE no ano de 2000 aos níveis de 1990. Meta até hoje não alcançada pelo conjunto países desenvolvidos.

Em 1995 realizou-se a primeira Conferência das Partes⁸ em Berlim (COP-1, Alemanha⁹) e estabeleceu-se uma fase piloto para Atividades Implementadas Conjuntamente¹⁰ para redução de emissões de GEE sem, no entanto, receberem

⁸ Do inglês Conference of Parties.

⁹ Também foi quando se definiu que a cidade de Bonn seria a sede do Secretariado da Convenção.

¹⁰ Conhecida como "A Pilot Program for Activities Implemented Jointly (AIJ)", foi estabelecida no Artigo 4.2(a) da Convenção do Clima e representa o período compreendido entre a COP-1 e 31 de dezembro de 1999.

créditos fungíveis¹¹ e aplicáveis ao cumprimento das metas de redução das Partes Anexo I. Ainda, constatou-se que as Partes Anexo I não conseguiriam honrar suas intenções de terem emissões de GEE no ano de 2000 nos mesmos níveis de 1990¹². Portanto, estabeleceu-se o Mandato de Berlim (1995), uma resolução apoiando o parecer do IPCC, alertando para o grande risco potencial da mudança climática e a justificativa para a tomada imediata de medidas preventivas. O quarto relatório do IPCC trouxe novos indícios do grande risco da Mudança do Clima.

O Mandato de Berlim estabeleceu que os países do Anexo I deveriam definir limitações quantificadas e objetivos de redução das emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de todos os gases de efeito estufa não controladas pelo Protocolo de Montreal¹³, bem como, descrever as políticas e as medidas que seriam necessárias para alcançar essas metas. Para tal fim, o grupo Ad Hoc de Berlim reuniu-se diversas vezes para elaborar uma proposta para o Protocolo de Quioto antes da COP-3, realizada em 1997. A COP-2 (Genebra, Suíça) foi uma preparação da COP-3, concentrando-se no estabelecimento e na aprovação de compromissos de redução das emissões de GEE.

Em 1997, o senado norte-americano adotou uma resolução expressando que os EUA não deveriam assinar nenhum acordo em Quioto que pudesse estabelecer compromissos de redução de emissões aos países desenvolvidos, mas não aos países em desenvolvimento, pois poderia prejudicar a economia norte-americana (ACKERMAN, 2004) e as emissões dos países não Anexo I estariam a ponto de se equiparar às emissões dos países Anexo I.

Enquanto isto, o governo brasileiro apresentou uma proposta ao Grupo *Ad Hoc* do Mandato de Berlim, na qual cada país do Anexo I assumiria em Quioto o compromisso de redução de emissões, de modo que o ônus para a sua economia seria proporcional à respectiva contribuição para a mudança global do clima, estimada de forma objetiva de acordo com a fração da elevação da temperatura média global resultante de suas emissões, onde mostrava-se que as responsabilidades pelo aumento da temperatura devido as emissões de GEE do uso de combustíveis fósseis

¹¹ São créditos que são consumidos após o uso e não podem ser substituídos.

¹² Com exceção do Reino Unido (devido a significativas alterações na sua matriz energética), a Alemanha (pela reestruturação do seu parque industrial após a unificação com a ex-Alemanha Oriental) e os países industrializados da ex-União Soviética (devido à crise econômica).

¹³ Protocolo de Montreal, tratado que regula substâncias que destroem a Camada de Ozônio, adotado em Montreal em 16 de setembro de 1987 e com os ajustes e emendas adotados posteriormente.

entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento só se equiparariam na segunda metade do século XXI.

A proposta da delegação brasileira causou impacto no meio científico e político pela originalidade da divisão do ônus da redução das emissões entre os países desenvolvidos e do estabelecimento do Fundo de Desenvolvimento Limpo baseados nas contribuições passadas e futuras para o aumento da temperatura média global da superfície terrestre através de um modelo matemático simples. A Proposta foi original ao usar o princípio do poluidor pagador para solucionar a parábola do barco introduzida no início do capítulo, apresentando que a divisão do ônus da mitigação da mudança do clima deveria ser proporcional à causa do problema: a contribuição de cada país para o aumento da temperatura média da superfície terrestre. Esta proposta ficou conhecida como **Proposta do Brasil** (UNFCCC, 1997), também conhecida por *responsabilidades históricas* e a inspiração desta tese.

Ainda em 1997, durante a COP-3 (Quioto, Japão) as partes da Convenção assinaram o **Protocolo de Quioto**, um acordo de compromissos onde os países desenvolvidos deverão reduzir suas emissões conjuntas anuais em 5,2% entre os anos de 2008-2012 em relação ao ano de 1990. Ele deveria entrar a entrar em vigor 90 dias após a ratificação por pelo menos 55 Partes da Convenção, incluindo os países desenvolvidos que contabilizaram pelo menos 55% das emissões totais de dióxido de carbono em 1990 desse grupo de países industrializados. O Protocolo possui dois anexos: 1) Anexo A, com a definição dos seis gases de efeito estufa¹⁴ controlados, os setores e categorias de fontes e, 2) Anexo B, com a lista dos países que possuem compromissos de limitação ou redução de emissões, onde estas Partes do Anexo B são as mesmas Partes Anexo I da Convenção do Clima menos Belarus e Turquia. (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997)

O Protocolo de Quioto foi o começo de uma negociação, consenso internacional do que pode ser feito para reduzir as emissões e como isto pode ser implementado. O reconhecimento e a ratificação do Protocolo de Quioto é um pequeno passo, mas essencial, no sentido de estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera (THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE, 2001).

¹⁴ Dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆).

No contexto do Protocolo de Quioto, a adoção de metas pelos países em desenvolvimento seria um retrocesso, pois contraria os Artigos 10 e 11. Entretanto, para a estabilização das concentrações de GEE é inevitável a adoção de compromissos pelos países em desenvolvimento, que provavelmente participarão de qualquer sistema por volta de 2020/2030, levando em conta um sistema de equidade¹⁵ das emissões entre os países. Como se verá ao longo desta tese, neste sentido a Proposta do Brasil ainda é uma métrica coerente para a repartição dos esforços entre os países.

As COPs seguintes concentraram esforços para regulamentar o Protocolo de Quioto¹⁶, que após sua ratificação no dia 16 de fevereiro de 2005, integrou na 11ª Conferência das Partes (Montreal/Canadá, 2005) a primeira Reunião das Partes para a implementação do Protocolo – COP-11/MOP-1¹⁷.

A Proposta do Brasil não foi implementada para a divisão do ônus da mitigação das emissões de GEE, mas inspirou o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto¹⁸, influenciado pelo Fundo de Desenvolvimento Limpo da Proposta do Brasil. Além disto, a Proposta continua nas esferas científicas e políticas relativas à Mudança do Clima.

Em 1997 o SBSTA¹⁹ – Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico da Convenção do Clima – decidiu que produziria recomendações em relação aos aspectos científicos e metodológicos da Proposta do Brasil, com apoio de cientistas, academia, governos e organizações não governamentais. Várias reuniões técnicas foram organizadas pelo SBSTA para analisar os aspectos científicos e metodológicos da Proposta do Brasil (UNFCCC, 1998, 1999, 2001a, 2002ae 2006).

¹⁵ Relativo ao tema Equidade nas negociações da Mudança do Clima ver tese de doutorado “Ética, Equidade e Mudança do Clima”, escrita por Maria Silvia Muylaert (ARAUJO, 2000).

¹⁶ COP-4, Buenos Aires/Argentina, 1998. COP-5, Bonn/Alemanha, 1999. COP-6 Haia/Holanda, 2000. COP-7 Marraqueshe/Marrocós, 2001. COP-8, Nova Deli/Índia, 2002. COP-9, Milão/Itália, 2003. COP-10, Buenos Aires/Argentina, 2004.

¹⁷ Do inglês Meeting of Parties.

¹⁸ Definido no Artigo 12 do Protocolo, o MDL é um mecanismo econômico capaz assistir as Partes do Anexo I a diminuir seus custos da redução de emissões, investindo em projetos que gerem desenvolvimento sustentável e redução de emissões nas Partes não incluídas no Anexo I. (Artigo 12.1 e 12.2, PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997) O MDL tem limitações; o “hot air” tropical que é a desvalorização monetária, onde destacam-se o metano de aterros e tochas e o HFC23 de processos industriais. Os custos de transação são altos para projetos de pequena escala, além de não haver metodologias para projetos de eficiência energética e substituição de combustíveis de larga escala. As linhas de base são plausíveis apenas para atividades marginais. (WOFYSY, 2005)

¹⁹ Do inglês, Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice e funciona como um elo entre as informações científicas e as necessidades de orientações políticas da COP. O SBSTA trabalha junto com o IPCC, solicitando, às vezes, estudos específicos e contratando grupos *Ad Hoc* para assuntos específicos (MCT, 2004).

Em 1998 é organizado um evento paralelo para discutir a proposta do Brasil durante a COP-4 e em 1999 é realizado um encontro de especialistas em Cachoeira Paulista. Fruto dos trabalhos realizados anteriormente, a delegação do Brasil apresenta uma nota de correção do modelo de cálculo de temperatura.

O relatório produzido em 2001 do encontro de especialistas em Bonn – Alemanha – afirma que existe uma série de questões metodológicas e científicas a serem investigadas (UNFCCC, 2001a):

- Indicadores: para calcular a responsabilidade pela mudança do clima existem outros indicadores além da temperatura como: emissões, concentrações, forçamento radiativo, taxas de mudança de temperatura, nível dos mares etc. Diferentes indicadores podem gerar diferentes atribuições relativas;
- Não linearidades: emissões em diferentes pontos no tempo têm diferentes efeitos na concentração, no forçamento radiativo e temperatura. Se esta questão não for incluída, as atribuições serão diferentes;
- Modelos climáticos: é essencial a validação dos modelos num processo aberto e transparente;
- Incerteza dos modelos: as incertezas totais é uma função das incertezas individuais de cada etapa do modelo (ex. emissão, concentração, forçamento radiativo etc.).
- Incerteza dos inventários históricos de emissões de gases de efeito estufa: quanto mais antigos os dados, maiores as incertezas. O estabelecimento da data inicial deve ser calculado com base em uma incerteza tolerável;
- Cenários: diferentes cenários futuros influenciam nos resultados das estimativas de atribuições. Os cenários do Relatório Especial do IPCC sobre Cenários de Emissões será usado para se estimar os modelos (NAKICENOVIC *et al.*2001);

O SBSTA elaborou outro relatório sobre o seminário de especialistas sediado em setembro de 2002 em Bracknell, Inglaterra. Treze modelos climáticos foram apresentados e comparados²⁰ concluindo (UNFCCC, 2002a):

- Que é possível estabelecer um modelo climático simples e robusto e uma ferramenta de atribuições usando o Terceiro Relatório Especial do IPCC (2001);
- Tal modelo deve incluir todos gases de efeito estufa, ozônio troposférico e seus precursores, aerossóis naturais e antropogênicos, representando as importantes não linearidades no sistema climático;
- Tais modelos devem ser extensivamente validados com estudos de sensibilidades e deve ser assegurado a compatibilização entre os mesmos;

²⁰ Centre for International Climate and Environment Research (CICERO); Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO); Climate Change Advisory Team of the Danish Energy Agency (DEA-CCAT); ECOFYS Energy and Environment Hadley Centre; Institute of Applied Energy (GRAPE); Université catholique de Louvain (JCM); Lawrence Berkley National Laboratory (LBLN); National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA); Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE); University of Illinois at Urbana Champaign using the Integrated Science Assessment Model (ISAM); University of Illinois at Urbana Champaign (UIUC).

- A escolha do período de emissões, da data de início do modelo, do indicador de contribuição à mudança do clima, da forma de cálculo de atribuição para a mudança do clima mudam as responsabilidades de cada país na mudança do clima.

Todos modelos usados pelo grupo do SBSTA são resolvidos de forma numérica, tornando-os difíceis de verificar, mas ROSA e RIBEIRO (2001) resolveram o modelo de forma analítica.

Em 2002, durante a COP-8, na 17ª Reunião do SBSTA, a delegação brasileira manteve os aspectos científicos e metodológicos da Proposta do Brasil na agenda do SBSTA (UNFCCC, 2002b), contra a forte oposição da Arábia Saudita e oposição da China e Índia, contando com o tímido apoio da União Européia, Estados Unidos da América, Canadá, Austrália e Nova Zelândia²¹. A continuidade da tutela da Proposta Brasileira sob o SBSTA é fundamental para o reconhecimento dos desafios científicos da proposta para a discussão sobre divisão das responsabilidades históricas para a mudança do clima.

Desde então, o SBSTA vem periodicamente promovendo seminários e avaliações relativas aos aspectos científicos e metodológicos. Aspectos científicos estão relacionados com a representação do sistema climático num modelo para o propósito de calcular as atribuições da mudança do clima e sensibilidade da escolha de bancos de dados de emissões históricas por país. Aspectos metodológicos se referem às necessidades que devem ser consideradas quando calculadas as atribuições à mudança do clima (UNFCCC, 2002a).

Após o terceiro encontro técnico do SBSTA em Berlim – Alemanha – os especialistas concordaram em continuar estes trabalhos através do estabelecimento do grupo *Ad Hoc* para estudar a Modelagem e Pesquisa das Contribuições para a Mudança do Clima – MATCH²². O grupo MATCH tem o propósito de aprimorar os resultados preliminares relativo às contribuições para a mudança do clima baseado na Proposta do Brasil para o cálculo das contribuições dos GEE na mudança do clima e explorar as incertezas e sensibilidade dos resultados com diferentes parâmetros. O seu mandato deveria ter encerrado e entregue um relatório na COP-11, no final de 2005, mas tal objetivo não foi alcançado e seu prazo foi prolongado até outubro de 2007 (UNFCCC, 2006). Os modelos utilizados pelos membros do grupo MATCH têm

²¹ Fonte: Christiano Pires de Campos como observador pela delegação do Brasil na Convenção do Clima, enviado em missão pelo Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais – IVIG.

²² www.match-info.net

como característica serem modelos simples de atribuição de causa – emissões nacionais - para o cálculo do efeito – temperatura média global.

Enquanto muitos estudos sobre a proposta Brasileira desenvolveram-se no mundo e.g. CSIRO-Austrália, CICERO-Noruega, RIVM-Holanda, ECOFYS-Alemanha (den ELZEN e SCHAEFFER, 2002; HOHNE e BLOK, 2005, TRUDINGER e ENTING, 2004), no Brasil e nos países em desenvolvimento, apenas a COPPE/UFRJ vem seguindo esta linha de pesquisa (ROSA e RIBEIRO, 1997, 2001; ROSA, *et al.*, 2004; de CAMPOS, ARAÚJO e ROSA, 2005).

Este trabalho de tese baseia-se nesta lacuna científica e é inovador no desenvolvimento de um modelo em escala nacional com a atribuição das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O de diversos setores, através da parceria com a Universidade Católica de Louvain, o modelo Java Climate Model (jcm.chooseclimate.org, www.climate.be/jcm).

1.3 PROPOSTA DO BRASIL PARA A CONVENÇÃO DO CLIMA

Em 30 de maio de 1997, o Governo brasileiro apresentou ao Grupo *Ad Hoc* do Mandato de Berlim uma proposta onde os países do Anexo I assumiriam compromissos de redução de emissões entre 2000 e 2020 proporcionais às respectivas contribuições para a mudança global do clima, estimada de acordo com a elevação da temperatura média global resultante de suas emissões. Esta abordagem introduz objetividade, estabelecendo uma relação quantitativa entre emissões de GEE e Mudança do Clima antropogênica (UNFCCC, 1997).

A mudança do clima tem uma distribuição geográfica complexa, mas é possível ter uma variável simples de mudança do clima: o aumento da temperatura média superficial. Como a Mudança do Clima não pode ser associada à emissão de um ano individual, a Proposta do Brasil sugere o uso de um modelo simples de clima²³, reconhecido entre as Partes da Convenção e define o termo *emissões efetivas* num período de tempo, considerando-se os níveis iniciais de concentrações. As *emissões efetivas* seriam expressas em termos de temperatura ou Gt C ano⁻¹ e seriam

²³ Modelos simples de clima, geralmente modelos de caixa de difusão, foram descritos pelo Grupo de Trabalho I do IPCC no Relatório Técnico II: “Uma Introdução aos Modelos Simples de Clima Usados no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC” (HARVEY *et al.*, 1997). Estes modelos são capazes de calcular com exatidão suficiente a dependência funcional entre emissões e temperatura.

calculadas como o aumento da temperatura média global provocado pelas emissões de GEEs dos países num período de tempo levando em consideração as concentrações antropogênicas dos GEEs no início do período (*ibid.*).

O critério de divisão dos esforços de redução de emissões de GEEs entre os países do Anexo I seria consequência natural das suas *emissões efetivas*, estabelecendo um critério objetivo de diferenciação entre os países do Anexo I. Para tanto, o modelo simples calcularia as *emissões efetivas de referência*²⁴ da soma e de cada país do Anexo I e as *emissões efetivas máximas*²⁵ da soma dos países do Anexo I, onde a diferença entre as duas definiria as *metas de redução de emissões efetivas* em quatro períodos entre 2001 e 2020. A *meta de redução de emissões efetivas* de cada país seria proporcional à *responsabilidade relativa*²⁶ de cada país do Anexo I em relação a sua totalidade para períodos de 5 anos entre 2001 e 2020. As *emissões efetivas máximas* individuais seriam calculadas pela diferença entre as *emissões efetivas de referência* e as *metas de redução de emissões efetivas* de cada parte (*ibid.*).

Neste esquema, se não levarmos em conta as concentrações de GEEs no início do período de cálculo das *emissões efetivas*, estaremos ignorando as *responsabilidades relativas* o que equivaleria a aplicação de uma taxa de redução igual a todas partes participantes do regime de redução de emissões (*ibid.*).

Clamando o princípio do poluidor pagador, a Proposta do Brasil propôs a criação de um mecanismo financeiro onde os países do Anexo I que não mantivessem suas *emissões efetivas* abaixo de suas *emissões efetivas máximas*, contribuiriam para o Fundo de Desenvolvimento Limpo. Este Fundo seria aplicado em projetos de mitigação e adaptação nos países não-Anexo I, alocados proporcionalmente às *emissões efetivas* dos países não-Anexo I em 5 períodos entre 2001 e 2020. Portanto, o Fundo seria aplicado nos países em desenvolvimento com maior contribuição para a mudança do clima, permitindo-os crescer seguindo um caminho mais limpo do que aquele que os países desenvolvidos adotaram no passado (*ibid.*).

²⁴ Calculando-se as emissões efetivas das emissões de GEE equivalentes aos níveis de emissões em 1990 para o período entre 1990 e 2020.

²⁵ Calculando-se as emissões efetivas das emissões de GEE equivalentes aos níveis de emissões de 1990 entre 1990 e 2000, mais as emissões entre 2000 e 2020 decrescendo progressivamente a 30% das emissões de 1990.

²⁶ Calculada para os períodos de 1990-2000, 2001-2005, 2006-2010 e 2011-2015 equivalente à fração relativa das emissões efetivas do país considerando as suas emissões de GEEs constantes e iguais às do início do período mais as concentrações respectivas no início do período.

A Proposta do Brasil formulou o modelo matemático esquematizado na Figura 1.7, onde calculava as concentrações de CO₂ a partir das emissões históricas do consumo de combustíveis fósseis e o decaimento do CO₂ de acordo com o modelo simplificado de Berna e a integral das concentrações em termos de temperatura.

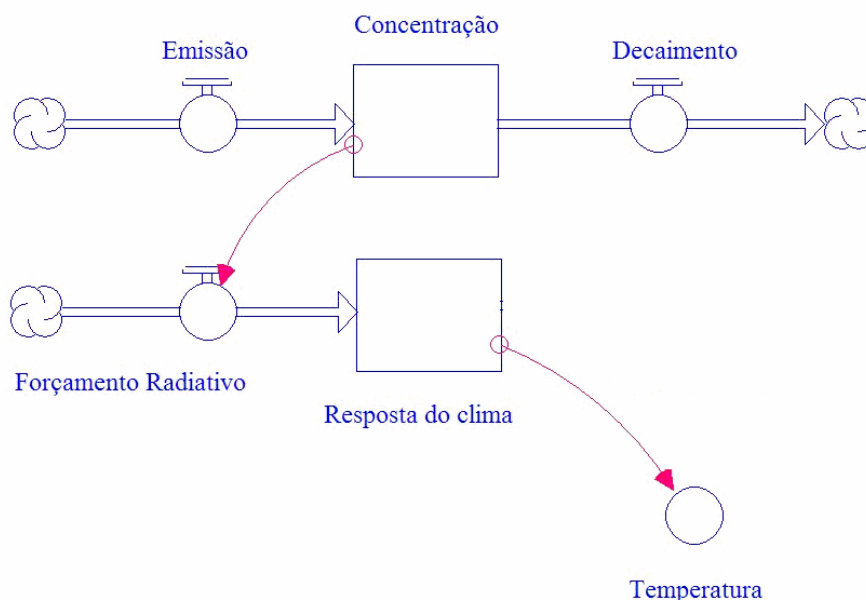


Figura 1.7 – Representação esquemática do modelo sugerido pela Proposta do Brasil
A concentração é resultado da integral das emissões menos e o decaimento do gás
calculado por uma exponencial simples. No modelo linear, as concentrações são
diretamente proporcionais ao forçamento radiativo. Nesta concepção (errônea), a
temperatura seria a simples integral do forçamento radiativo.

Fonte: elaboração própria utilizando o software STELLA® a partir de UNCCC (1997).

Apesar das emissões de combustíveis fósseis dos países não-Anexo I estimadas pelo cenário do IPCC IS92a se assemelham às dos países Anexo I em 2037, a Proposta do Brasil estimou que aquelas contribuições para o aumento da temperatura média somente se equivaleriam em 2162 a estas emissões (*ibid.*). Entretanto, veremos adiante que esta data deverá mudar em cerca de uma centena de anos com a reformulação do modelo e inclusão de outros setores.

Não se pode aplicar o GWP²⁷ para comparar as contribuições históricas dos países, porque este índice não leva em conta a resposta do clima e compara o efeito cumulativo do forçamento radiativo ao longo de um período futuro do efeito de um

²⁷ Global Warming Potential é calculado como emissões de CO₂ equivalentes ao longo de um período de tempo futuro. Desde a introdução do conceito de GWP em 1990, ele tem sido debatido cientificamente se é uma medida adequada para combinar diferentes efeitos de GEEs no sistema climático (ROSA e SCHAEFFER, 1995; SHINE *et al.*, 2005). Este conceito é problemático para comparar gases com tempos de vida muito diferentes, e.g. CH₄ e PFCs.

pulso de emissões de um gás em relação ao efeito de um pulso de CO₂ em uma atmosfera de composição constante. O GWP é sensível à composição atmosférica, levando em consideração apenas o efeito futuro, sendo mudado ao longo do tempo e não leva em conta o relaxamento do sistema climático. Neste sentido, ao contrário do GWP, um modelo simples de clima pode ser usado para avaliar o aquecimento passado, presente e futuro das emissões e o conceito de *emissões efetivas* substitui completamente o conceito do GWP, com a vantagem que evita a necessidade de escolhas arbitrárias como o horizonte de tempo.

A Proposta do Brasil não levou em conta a influência dos aerossóis na temperatura média global, retirando a credibilidade das *emissões efetivas* como indicador verificável, pois não torna comparável o aumento de temperatura simulado com o observado. Entretanto, para o cálculo das contribuições relativas tem pouca interferência, pois o efeito é regional e de curta duração.

A Proposta do Brasil foi criticada principalmente porque usou um modelo de carbono linear calibrado para 1990-2020, o qual não considerava a resposta do clima e não incorporava as emissões de CH₄, N₂O e CO₂ da mudança do uso da terra. Por exemplo, ENTING (1998) calculou, usando um com um modelo não linear, que a proposta brasileira estimou uma responsabilidade 3 vezes maior para o Reino Unido. Reconhecendo esta crítica, a delegação brasileira apresentou à Convenção do Clima um novo modelo na nota técnica da dependência temporal entre emissões de GEE e mudança do clima (MEIRA FILHO e MIGUEZ, 2000), onde incorporou uma segunda integral com o “relaxamento do clima” e utilizou sobreposições de exponenciais para representar o decaimento no modelo do carbono. A Figura 1.8 esquematiza o modelo revisado da Proposta do Brasil.

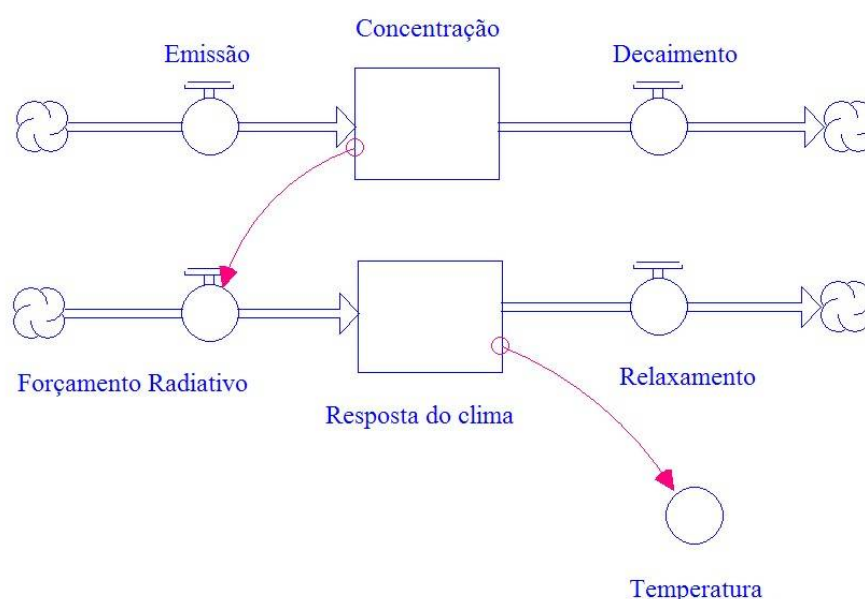


Figura 1.8 – Representação esquemática do modelo proposto pela nota técnica do Brasil
Mesmo conceito da Figura 1.7, mas com a adição do relaxamento do sistema climático, ou seja, a
temperatura é a integral do forçamento radiativo menos o relaxamento do sistema climático. O
modelo de decaimento do carbono foi aprimorado com a sobreposição de exponenciais.
Fonte: Elaboração própria utilizando o software STELLA® a partir de MEIRA FILHO e MIGUEZ
(2000).

Quanto à segunda crítica da não inclusão de outros gases e setores, em 1997 não existiam dados disponíveis, mas este fato foi abertamente declarado na proposta, salientando que o exercício na proposta era apenas para fins ilustrativos e que para os fins do Protocolo deveriam ser considerados, inclusive tempos de vida médio para o CH₄ e N₂O (UNFCCC, 1997). Esta lacuna de dados fomentou a criação de diversas fontes de dados listadas na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Bases de dados de emissões históricas de GEE

Fonte	Gás	Setor	Período	Escala
CDIAC*	CO ₂	Combustível fóssil	1750 → 2002	Países
		Mudança do uso da terra	1850 → 2000	13 regiões
EDGAR**	CO ₂	Todos os setores	1890 → 1990	13 regiões
	CH ₄			
	N ₂ O			
IVIG***	CO ₂	Mudança do uso da terra	1700 → 2002	Países
	N ₂ O	Pecuária	1700 → 2002	Países
	CH ₄			
UNFCCC	CO ₂ , N ₂ O e CH ₄	Todos os setores	1990 → 2003	Todos países do Anexo I e alguns países não Anexo I

Obs.: * MARLAND *et al.* (1999) e HOUGHTON e HACKLER (2002). ** van AARDENNE *et al.* (2001). *** de CAMPOS *et al.* (2005) e ARAÚJO *et al.* (2007a)

A formulação matemática de MEIRA FILHO e MIGUEZ (2000) é a que vem sendo utilizada pelo grupo de especialistas do SBSTA. Alguns modelos incluem a não linearidade das concentrações do CO₂, CH₄ e N₂O para o forçamento radiativo que foi expressa na página 358 do IPCC (2001). Esta não linearidade representa um efeito de sombreamento entre as moléculas, por exemplo para o CO₂, o incremento de 1 ppmv de CO₂ numa concentração de 300 ppmv adiciona 0,018 W m⁻² de forçamento radiativo, enquanto a adição de 1 ppmv de CO₂ numa concentração de 600 ppmv, adiciona 0,009W m⁻², conforme observado na Figura 1.9 (den ELZEN *et al.*, 2005a).

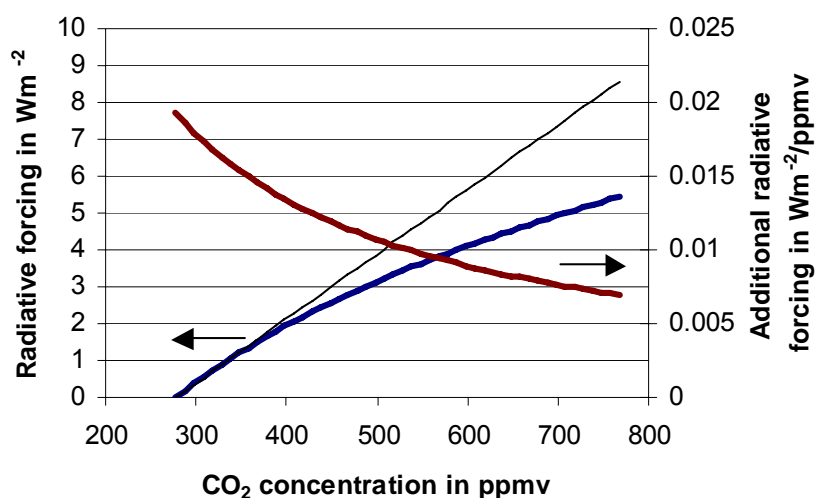


Figura 1.9 – Relação não linear entre concentração de CO₂ e forçamento radiativo
O modelo utilizado na Proposta do Brasil considerou um modelo linear que superestima o forçamento radiativo do aumento de 1 ppm em concentrações mais elevadas.
Fonte: HOHNE e BLOK (2005).

A Figura 1.10 apresenta esquematicamente a inclusão da não-linearidade das concentrações para o forçamento radiativo. Como o aumento do forçamento radiativo de uma unidade de concentração diminui em maiores concentrações, uma unidade de concentração no passado tem uma contribuição maior do que uma no presente.

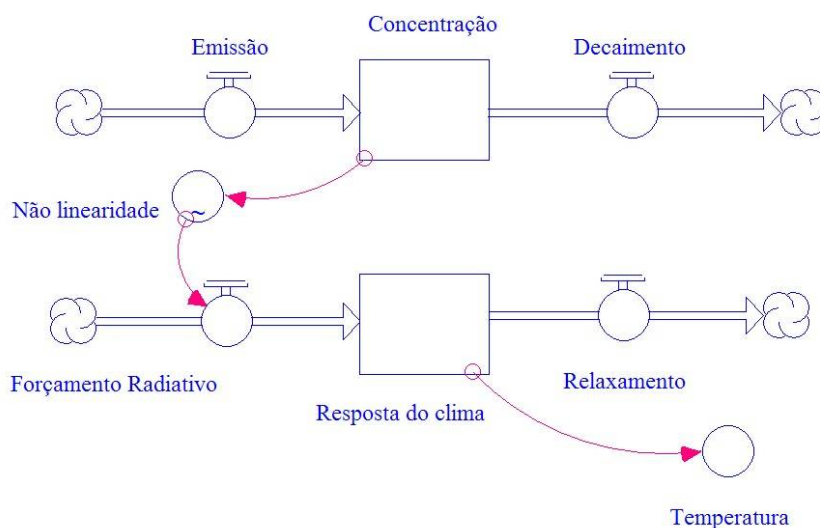


Figura 1.10 – Representação do modelo climático simples
Mesmo conceito da Figura 1.8, mas com a adição da não linearidade do forçamento radiativo
apresentado no IPCC (2001).

Fonte: Elaboração própria utilizando o software STELLA®.

O modelo simplificado de Berna linear, utilizando a sobreposição de exponenciais de decaimento do carbono atmosférico, não leva em consideração a não linearidade de saturação do sistema de remoção terrestre de carbono, e.g. saturação do efeito de fertilização do CO₂ e a saturação das águas oceânicas superficiais, que só poderia ser calculada por um modelo completo de carbono. Isto significa que o aumento atmosférico de CO₂ de uma unidade de emissão no passado é menor do que o de uma unidade numa atmosfera com altas concentrações. MEIRA FILHO e MIGUEZ (2000) calcularam a diferença entre o modelo de carbono linear e o completo de Berna e concluíram que a diferença em 2100 não é maior do que 3% para emissões que ocorreram em 1770 e 0,2% para emissões em 1990.

A introdução das não linearidades no modelo matemático introduz complicações no cálculo das responsabilidades relativas de cada parte, pois a soma das contribuições das partes ou de diferentes gases não é igual à contribuição para o aumento da temperatura do todo. Portanto, temos que tomar uma decisão em como dividir o efeito, ou a soma dos efeitos parciais seria maior do que a total (ENTING, 1998). Para isto métodos de atribuição têm de ser considerados nos cálculos de contribuições históricas por região ou gás, e.g. marginal, residual, proporcional (UNFCCC, 2002a; TRUDINGER e ENTING, 2004). Entretanto, den ELZEN *et al.* (2005a) demonstraram que a escolha do método de atribuição tem pouca influência nas responsabilidades relativas às regiões e gases e den ELZEN e SCHAEFFER (2002) avaliaram que as influências da não linearidade do ciclo de carbono e do

forçamento radiativo têm efeitos que praticamente se cancelam. Portanto, o modelo revisado da proposta do Brasil permanece válido para atribuição das responsabilidades relativas.

Além do aumento da temperatura, outros indicadores de contribuições para a Mudança do Clima têm sido propostos e analisados (UNFCCC, 2002a):

- Emissões cumulativas: é a integral das emissões históricas de uma fonte num período;
- Emissões cumulativas ponderadas pelo GWP: é a integral das emissões históricas de diferentes GEEs ponderadas pelo GWP;
- Concentrações: é aumento das concentrações devido as emissões históricas e as remoções naturais dos GEEs;
- Forçamento radiativo: é o forçamento radiativo num respectivo ano decorrente ao aumento das concentrações num período;
- Forçamento radiativo histórico integrado: é a integral do forçamento radiativo devido ao aumento das concentrações num período anterior ao ano de avaliação;
- Forçamento radiativo futuro integrado: é a integral do forçamento radiativo devido ao aumento das concentrações num período posterior ao ano de avaliação;
- Aumento da temperatura: é o aumento da temperatura decorrente ao aumento do forçamento radiativo. Este é o indicador sugerido pela Proposta do Brasil, reconhecido e relevante para os impactos;
- Taxa de aumento da temperatura: é a derivada do aumento da temperatura;
- Temperatura integrada: é a integral do aumento da temperatura num período posterior ao período das emissões;
- Aumento no nível do mar: é o cálculo do aumento do nível do mar devido ao aumento da temperatura média global.

Os indicadores que calculam até as concentrações não incluem efeitos que ocorrerão após as emissões, uma vez que os GEEs ficam na atmosfera por um longo período contribuindo para o forçamento radiativo, aumento da temperatura e do nível do mar (ROSA *et al.*, 2004). A escolha dos indicadores é política e os modelos são utilizados para calcular e comparar a mudança de responsabilidades para a mudança do clima na escolha de diferentes indicadores. Idealmente, o indicador deve ser facilmente entendível e o mais próximo possível dos impactos da mudança do clima. No capítulo 3 apresentamos a comparação quantitativa entre alguns indicadores.

Na economia do meio ambiente, baseada na economia do bem estar, o princípio do poluidor-pagador, clamado pela Proposta do Brasil, é bem sedimentado e SWART *et al.* (1989, apud PERMAN e MCGILVRAY, 1997) já havia sugerido o aumento da temperatura média global e as taxas de aumento do nível do mar como indicador para a alocação de cotas de emissão. Entretanto, economistas vêem pouca

validade em ajustar objetivos de longo-prazo em indicadores ambientais por si, sem considerar o bem estar; nenhum aumento no nível do mar pode ser comparado em relação a outro. Apesar de ser um bom indicador de como o objetivo está sendo alcançado, não poderiam ser os objetivos por si só (PERMAN e MCGILVRAY, 1997). Se por um lado, é possível elaborar modelos simples de clima para estimar o aumento da temperatura (HARVEY *et al.*, 1997, UNFCCC, 1997), por outro lado não se mostrou a existência de modelos de bem estar robustos. Apesar destas restrições, PERMAN e MCGILVRAY (1997) afirmam que tal abordagem pode ser usada para simulações e análises de sensibilidade que servirão para ilustrar as propriedades de políticas ótimas num conjunto de alternativas e parâmetros.

Outras questões são suscitadas pelos críticos da Proposta do Brasil. Como que os emissores do passado são moralmente responsáveis pelos efeitos que causaram? A justificativa será que estas gerações não sabiam das conseqüências de suas emissões. Como que os emissores do presente são moralmente responsáveis pelas atividades de seus antecessores? Portanto, os países desenvolvidos não poderiam ser responsáveis pela contabilidade histórica (GRUBB, 1995), porém a primeira descrição do aquecimento global data do século IXX por ARRHENIUS (1896). GOSSERIES (2004) afirma que se utilizar destes argumentos é ter uma postura de caroneiro²⁸ entre gerações, uma vez que as gerações do presente estão usufruindo do bem estar gerado por atividades passado. NEUMAYER (2000) também defende a contabilização histórica por que suporta o princípio da igualdade e ignorá-la é dar licença retrospectiva aos emissores do passado de países desenvolvidos, o que viola o princípio 21 da Declaração da ONU sobre Meio Ambiente em Estocolmo de 1972 (MOLITOR, 1991, p.83 apud NEUMAYER, 2000).

A Proposta do Brasil seguiu a recomendação do Grupo Ad Hoc de Berlim e sugeriu que a repartição do ônus da redução das emissões de GEEs fosse aplicada aos países do Anexo I. Entretanto, a sua metodologia tem sido usada extensivamente para a repartição dos compromissos entre todos países, neste caso ela deixou uma lacuna, qual critério deveria ser utilizado para a entrada de novos países? Den ELZEN *et al.* (2005b) propõe que seja um nível de paridade do poder de compra per capita, mas outros indicadores devem ser propostos e analisados.

²⁸ Tradução livre de Free-riding.

Neste contexto polêmico, a validação e o reconhecimento internacional dos dados de emissões históricas e dos modelos climáticos são fundamentais para a aceitação internacional da proposta. A Proposta do Brasil tem motivado o debate científico pelas suas simplificações, parametrizações, transparência, formulação simples, rapidez nos cálculos e inclusão da relação entre causa e efeito no debate político. As críticas surgem das dificuldades da complexidade do sistema climáticos na definição de repartição das responsabilidades, baseada no aumento calculado das emissões e concentrações atmosféricas (ROSA *et al.*, 2004). Entretanto, a comunidade científica respondeu com muitas análises de sensibilidade e demonstrando que a proposta não tem gargalo científico, mas apenas político (den ELZEN *et al.*, 2005a).

2 EMISSÕES HISTÓRICAS DA MUDANÇA DO USO DA TERRA

Durante a elaboração da Proposta do Brasil, existiam estimativas das emissões de CO₂ do consumo de combustíveis fósseis por país estimadas pelo Laboratório Norte-Americano Oak Ridge (ORNL) para o período de 1950-1990. Dado o longo tempo de decaimento do dióxido de carbono na atmosfera e o curto intervalo de tempo das estimativas das emissões de combustíveis fósseis, a referida proposta utilizou regressões das emissões de CO₂ até 1750, haja vista que não existiam estimativas das emissões da mudança no uso da terra e outros gases, porém poderiam ser incluídas posteriormente (UNFCCC, 1997).

Atualmente as estimativas das emissões de CO₂ do consumo de combustíveis fósseis e produção de cimento por país estão consolidadas (MARLAND et al., 1999). Entretanto, as emissões de CO₂ do setor de mudança no uso da terra por país ainda não são consenso para décadas mais recentes que possuem imagens satelitais, e são menos consensuais para períodos históricos. Alguns modelos sócio-econômicos analisam os padrões atuais de desmatamento, e.g. SHERRIL (1999), FEARNSSIDE (2000) e RODRIGUES (2004) e demonstraram a complexidade dos vetores do desmatamento. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui um dos sistemas mais modernos de monitoramento de desmatamento através de imagens satelitais, produzindo muitos trabalhos que estão aprimorando a técnica de monitoramento de mudança do uso da terra, e.g. LORENA (2003), mas apenas para o Brasil e para as 3 últimas décadas.

Uso da terra define-se como a utilização de uma área (e.g. pastagem, agricultura, urbano) ou a característica de seu bioma (e.g. floresta, deserto, savana). Os biomas são regiões ecológicas caracterizadas pela vegetação e clima similares e todos os organismos vivos contidos nela (e.g. região polar, florestas tropicais, florestas temperadas, floresta de monções, floresta de coníferas, desertos e savanas).

Os padrões globais de vegetação são derivados de aglomerações de funções das plantas (temperatura, precipitação e solo), e.g. Figura 2.1 com a classificação de HOLDRIDGE (1967). Os biomas terrestres têm destacada importância nos ciclos

biogeoquímicos, criando diversas fontes e sumidouros²⁹ de CO₂, CH₄ e N₂O e estão sujeitos à influência humana com a mudança no uso da terra, além de práticas de uso da terra e silvicultura.

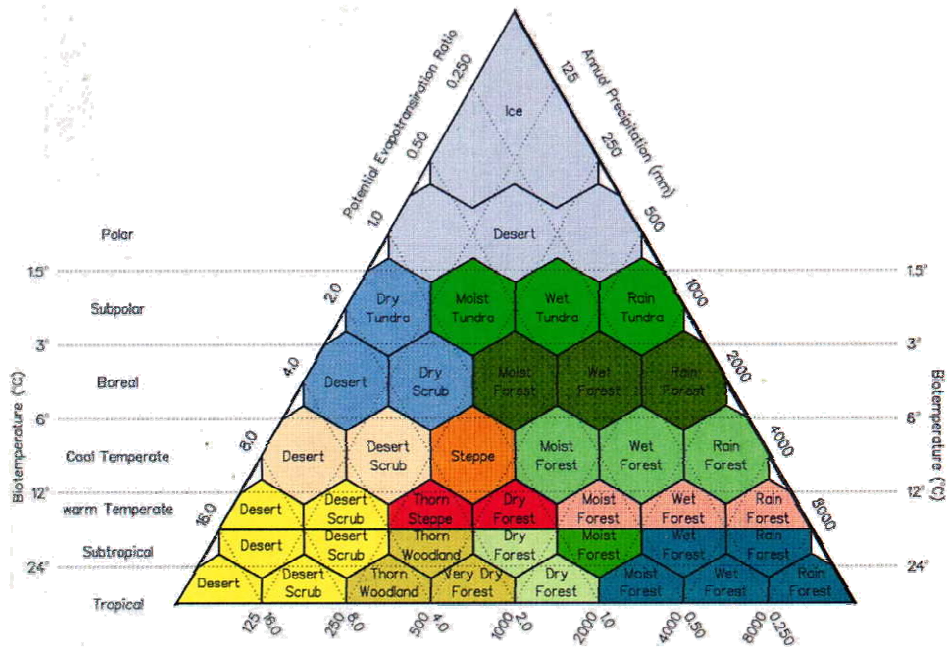


Figura 2.1 – Sistema de classificação de biomas
Os biomas são definidos pela combinação de temperatura e precipitação.
Fonte: por HOLDRIDGE (1967).

Para cada uso da terra existe uma biomassa associada que é diretamente proporcional a um estoque de carbono. Diferentes biomas apresentam diferentes taxas de crescimento, absorção e estoques de carbono, tanto acima quanto abaixo do solo. O estoque de carbono de cada uso da terra depende do seu bioma e condição, variando de acordo com a composição das espécies, estrutura e idade, além das condições locais, como solo e clima, perturbações naturais e manejo. Os grandes reservatórios de carbono terrestres são os solos, sendo responsáveis pelo estoque de 80% do carbono (Tabela 2.1).

²⁹ Segundo a Convenção do Clima, sumidouros são quaisquer processos, atividades ou mecanismos, incluindo a biomassa e, em especial, florestas e oceanos, que têm a propriedade de remover um gás de efeito estufa, aerossóis ou precursores de gases de efeito estufa da atmosfera. Podem constituir-se também de outros ecossistemas terrestres, costeiros e marinhos.

Tabela 2.1 – Estoques de Carbono na Vegetação e Solos até 1 metro de profundidade

Bioma	Área (10⁹ ha)	Vegetação (Gt C)	Solo (Gt C)	TOTAL (Gt C)
Florestas tropicais	1,76	212	216	428
Florestas temperadas	1,04	59	100	159
Florestas boreais	1,37	88	471	559
Savanas tropicais	2,25	66	264	330
Campos temperados³⁰	1,25	9	295	304
Desertos e semi-desertos	4,55	8	191	199
Tundras	0,95	6	121	127
Terras alagáveis	0,35	15	225	240
Plantações	1,60	3	128	131
Total	15,12	466	2011	2477

Obs.: Existem incertezas nos números acima, devido à ambigüidade de definições de bioma, mesmo assim, nos fornece uma visão da magnitude dos estoques de carbono nos sistemas terrestres.

Fonte: elaboração própria a partir de tradução e adaptação de WATSON *et al.* (2000).

As florestas tropicais estocam mais carbono por hectare na biomassa acima do solo (120 t C ha⁻¹) do que as florestas boreais (64 t C ha⁻¹), porém o quadro se inverte quando se estuda o carbono orgânico do solo. As florestas boreais têm mais carbono por hectare no solo (344 t C ha⁻¹) do que as florestas tropicais (123 t C ha⁻¹) como pode ser visto na Figura 2.2. Isto faz com que as florestas boreais tenham mais carbono estocado em menos áreas florestais. Isto ocorre porque as baixas temperaturas combinadas, geralmente, com a umidade excessiva, produzem baixas taxas de decomposição; matéria orgânica e turfa tendem a se acumular nos solos florestais do hemisfério norte. Deve-se ressaltar que a Amazônia corresponde a 21% das florestas tropicais, 4% da área da superfície terrestre e 11% dos estoques de carbono terrestres do mundo, 70 Pg C (HOUGHTON *et al.* 2000).

³⁰ Ecossistema terrestre (bioma) típico em regiões com média anual pluviométrica moderada (250 a 760 mm) suficiente para suportar o crescimento de gramíneas, mas não o suficiente para suportar grandes árvores (USEPA, 2000).

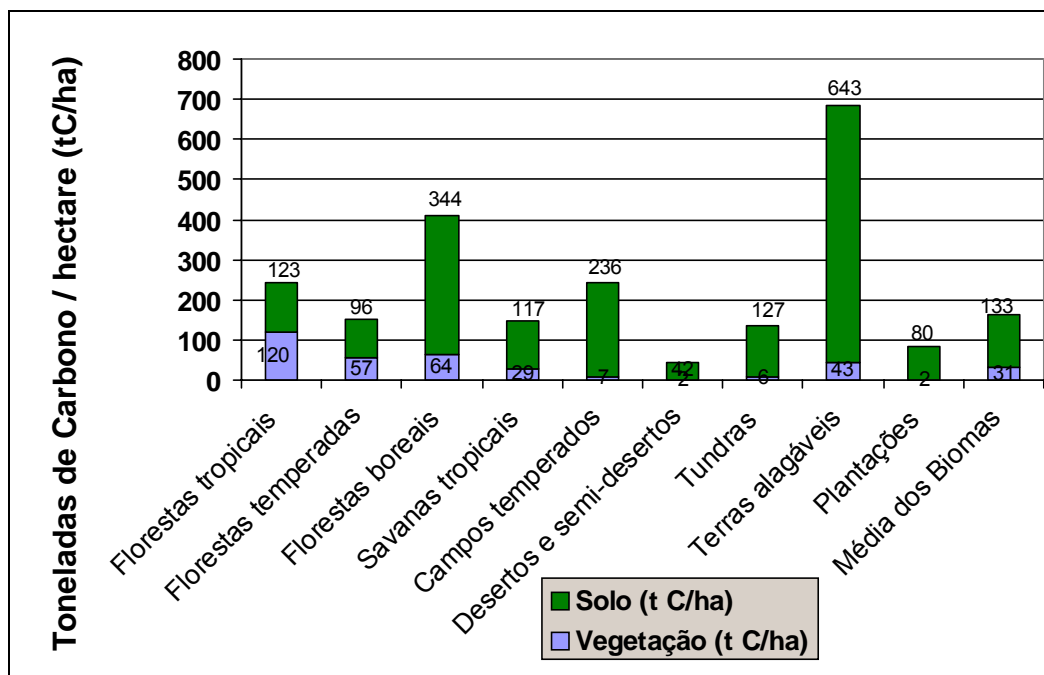


Figura 2.2 - Densidade de Carbono por hectare nos diversos biomas

Fonte: Elaboração própria a partir da Tabela 2.1

A Figura 2.3 e a Figura 2.4 apresentam a participação de cada bioma na superfície terrestre e a sua respectiva participação nos estoques de carbono terrestres. As florestas boreais ocupam menos áreas que as florestas tropicais, 9% *versus* 12%, mas as florestas boreais possuem mais carbono do que as florestas tropicais, 24% *versus* 17%. As terras alagáveis apresentam um baixo índice de ocupação da superfície terrestre (2%), mas possuem um grande estoque de carbono (10%), enquanto que as plantações possuem uma taxa de ocupação relativamente alta (11%), mas apresentam a menor participação dos estoques terrestres de carbono (5%), junto com as tundras.

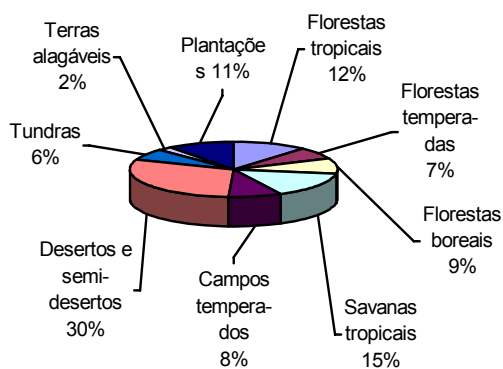


Figura 2.3 – Área percentual dos biomas terrestres
 Fonte: de Campos (2001).

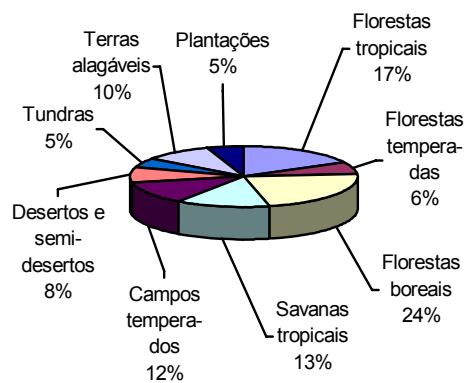


Figura 2.4 – Percentagem de carbono estocado nos biomas terrestres
 Fonte: de Campos (2001).

A maior parte das emissões da mudança do uso da terra é gerada pela conversão de florestas em plantações e pastagem (desmatamento), pois geralmente têm menos carbono do que florestas. Portanto, é possível estimar as emissões da mudança do uso da terra a partir das diferenças dos estoques de carbono dos diferentes usos da terra, ou, num contexto global, a partir da soma das derivadas dos estoques de carbono de cada uso da terra. O carbono do solo varia pouco na mudança do uso da terra (entre 5 e 20% na pastagem e agricultura). Entretanto, qualquer conversão permanente de áreas florestais para outros usos (e.g. agropecuária) irá causar uma perda líquida de carbono do solo e a liberação do carbono da vegetação para a atmosfera.

Apesar da ênfase dada às regiões tropicais no que diz respeito ao desmatamento recente, o mesmo processo ocorreu nos países industrializados séculos atrás. Os Europeus removeram suas florestas vigorosamente durante a idade média. A população crescente precisava de mais comida e usava partes da floresta para criar terras agricultáveis e pastagem. A demanda por lenha estava aumentando devido à fundição de ferro, produção de carvão vegetal, mineração e construção de navios. Na Rússia o desmatamento aconteceu nos séculos XVI e XVII, quando o sistema agrícola sedentário e intensivo substituiu a agricultura de corte e de queima (“slash-and-burn”) (klein GOLDEWIJK, 2001).

Na Europa o desmatamento atingiu seu auge há 100 anos atrás. Excluindo Finlândia e Suécia, 23% da União Européia é coberta por florestas, mas apenas 2% são florestas virgens. A Finlândia e Suécia são os maiores exportadores de produtos de madeira do mundo, com mais de 60% de sua superfície coberta por florestas, mas apenas 1% são florestas virgens, hoje fragmentadas e sujeitas à degradação. Na América do Norte cerca de 30% de sua área é coberta por floresta, mas, excluindo o Alasca, as florestas virgens são menos do que 5%. As florestas virgens que cobrem o Reino Unido são menores que 1% de área fragmentada e as florestas, na maior parte plantações florestais, cobrem menos de 10% do país. Situação similar se encontra a Dinamarca, Holanda, Irlanda e outros países europeus. Agora estes países industrializados estão revertendo a sua perda de florestas, principalmente através do estabelecimento de florestas para proteção de bacias hidrográficas, recomposição de áreas degradadas, áreas de recreação e produção de madeira. As plantações florestais estão presentes em 65% do Japão, ocupando quase todas as áreas aptas para tal fim (CENTENO, 2001).

Malásia, Indonésia e Brasil, entre outros países tropicais, são atualmente chamados como os vilões do meio ambiente, devido suas altas taxas de desmatamento. Mas, apesar dos seus níveis de desmatamento, estes países ainda são cobertos por 60% de florestas e perderam 16% de suas florestas, entretanto levará cerca de 10 a 20 anos para que se possam controlar as taxas de desmatamento. Cinco milhões de quilômetros quadrados são de áreas degradadas nos trópicos e continuam a se expandir. Em 2000, o consumo de lenha nos países tropicais foi cerca de 1,6 bilhões de metros cúbicos, 50% maior do que o consumo de madeira de todos os países industrializados, sendo atualmente responsável por 20% da energia consumida nos trópicos (CENTENO, 2001).

Cerca de 1,8 bilhões de pessoas, dos quais 1,3 bilhões nos trópicos, fazem parte para sua subsistência o uso de florestas e árvores; 500 milhões pessoas são dependentes diretamente de recursos florestais em seus modos de vida; e cerca de 50 milhões vivem dentro de florestas. A produção florestal, em particular a produção de madeira, gera 250 bilhões de dólares anualmente, ou 2% da produção mundial (BLASER, 2006).

Nem todo desmatamento é indesejável, pois pressões sociais e econômicas são inevitáveis em áreas que ainda são florestas naturais e serão convertidas para

outros usos. O desmatamento é geralmente intencional tendo motivos técnicos e políticos: gerenciamento de recursos implementados por operadores econômicos e grupos econômicos e políticos normalmente se beneficiam quando florestas são desmatadas e trazem um uso mais econômico para a terra.

A dinâmica do padrão de desmatamento é diversa localmente, geograficamente, com flutuações anuais significantes em resposta à economia interna, demanda do mercado e economia internacional. O desmatamento é um processo racional do proprietário e também beneficia a economia nacional. Existe uma causalidade reversa, pois alguns desmatamentos “corporativos” de grande escala destroem os modos de vida rurais, mas criam mais empregos. A relação entre pobreza e desmatamento é bidirecional e ambígua: reduzindo a pobreza não significa reduzir necessariamente o desmatamento.

Os principais vetores de desmatamento na Amazônia são 70 e 80% a pecuária extensiva (demanda de pastagem) e 20% a agricultura (expansão da soja). Fatores menos importantes seriam: grilagem de terras públicas, indústria madeireira, desenvolvimento de infra-estrutura, reforma agrária e corte ilegal de madeira. Atualmente a produção de soja é um vetor para o desmatamento devido à crescente demanda por soja nos mercados internacionais, preço barato da terra na Amazônia e falta de internalização dos custos sociais e ambientais pelo setor privado. O padrão de uso na Amazônia é de curtos períodos de plantação para culturas anuais de 2-3 anos, onde 20% das terras convertidas se tornam florestas secundárias e 80% tornam-se pastagens, das quais, 90% são abandonadas e se regeneram tornando-se florestas secundárias, voltando a serem desmatadas depois de 4 à 6 anos e 10% tornam-se campos improdutivos.

Na China e Sudeste da Ásia, a agroindústria (*oil palm*) e celulose (China) são as atividades causadoras do desmatamento. Na África Ocidental, verifica-se que estes vetores seriam a agricultura temporária, conflitos e extração de madeira, na Bacia do Congo a extração de madeira; estradas e agricultura temporária; enquanto na América Central seria a agricultura temporária e especulação. Portanto, o desmatamento é um processo complexo temporário. (KRUG, 2006, BLASER, 2006)

Os preços dos produtos da terra mudam: maiores preços de produtos agrícolas tendem a aumentar o desmatamento. Políticas em favor da agricultura favorecem, na maioria dos casos, o desmatamento. Mesmo a intensificação da agricultura pode gerar

mais perdas de florestas. A extração de madeira tem efeito similar, entretanto o vínculo com o desmatamento é mais fraco, pois as florestas podem ser deixadas como secundárias para a regeneração. Observa-se que as políticas alteram os custos diretamente, pois as estradas em áreas florestais diminuem os custos e encorajam o desmatamento. Maiores salários rurais e empregos fora das fazendas reduzem o desmatamento. Já créditos agrícolas geralmente promovem o desmatamento, mas nem em todos os casos. Um exemplo interessante é que subsídios para fertilizantes limitaram o desmatamento em alguns casos na África. Regras de propriedade claras ajudam aos usuários das terras a adotarem soluções rentáveis de longo prazo favorecendo desta maneira o manejo florestal em algumas circunstâncias, mas também acelerando a conversão para usos alternativos. A limpeza da floresta normalmente ajuda a estabelecer direito de propriedade, promovendo assim o desmatamento excessivo além do economicamente racional (WUNDER, 2006).

Os fatores que desfavorecem o desmatamento são: 1) inacessibilidade (topografia acidentada, poucas estradas e mal conservadas, combustível caro); 2) assentamentos e riscos (doenças tropicais, violência rural, instabilidade do solo e clima); 3) viés anti agrônômico (preços baixos, moeda valorizada); 4) viés urbano (absorção da mão de obra pelas indústrias e êxodo rural); 5) ausência de políticas expansionistas (falta de programas de colonização, altas taxas de mineração/madeireiras); e, 6) baixa densidade populacional (poucas pessoas para alimentar e empregar). Portanto, desmatamento e desenvolvimento dividem os mesmos inimigos (*ibid.*).

Apesar das altas taxas de desmatamento tropical (Tabela 2.2), nas últimas duas décadas as atividades de mudança do uso da terra deixaram de ser uma fonte líquida de CO₂, em cerca de 11 % das emissões de CO₂ do uso de combustíveis fósseis, como serão apresentados posteriormente no subitem sobre os modelos de ciclo do carbono (Figura 3.2). Os biomas terrestres tiveram uma absorção líquida de carbono (0,7 ± 1,0 Gt C) devido à mudança nas práticas do uso da terra e a regeneração natural das florestas em médias e altas latitudes (WATSON *et al.*, 2000) e pelos sumidouros naturais que quando em maiores concentrações atmosféricas absorvem mais carbono, processo conhecido por fertilização de CO₂.

Tabela 2.2 – Taxa anual média de desmatamento e florestamento das áreas florestais entre 1990-2005

País	Taxa anual (km²)		País	Taxa anual (km²)
Brasil	-28.219		China	26.766
Indonésia	-18.715		EUA	2.961
Sudão	-5.890		Espanha	2.957
Mianmar	-4.665		Índia	2.508
RD do Congo	-4.614		Vietnam	2.379
Zâmbia	-4.448		Itália	1.064
Tanzânia	-4.123		França	677
Nigéria	-4.097		Chile	572
México	-3.185		Portugal	456
Zimbábue	-3.129		Cuba	437
Outros 82 países com taxas negativas	-48.882		Outros 59 países com taxas positivas	5.621
Total das taxas negativas	-129.907		Total das taxas positivas	46.397
			Taxa global líquida	-83.511

Fonte: Relatório de Avaliação de Florestas da FAO (2005).

Entretanto, as taxas de desmatamento das últimas duas décadas são ainda muito incertas. A FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – efetua avaliações nacionais da evolução das áreas florestais através de pesquisas diretas com os países e também por imagem de satélites por regiões (FAO, 2001a e 2001b). Entretanto, as estimativas nacionais da FAO (2001a) não se mostram confiáveis quando comparadas aos estudos satélites executados por DEFRIES *et al.* (2002) e ACHARD *et al.* (2004) e com as estimativas da própria FAO por imagens de satélites, conforme observado na Tabela 2.3 (FAO, 2001b).

Tabela 2.3 – Comparação das estimativas florestas tropicais e desmatamento por ACHARD *et al.* (2004) e estudos da FAO

Região	Áreas Florestais 1990 (10³ km²)			Taxa anual de desmatamento - 1990-1997 (10³ km²)		
	ACHARD <i>et al.</i> (2004)	FAO pesquisa por país	FAO imagens satelitais	ACHARD <i>et al.</i> (2004)	FAO pesquisa por país	FAO imagens satelitais
Sudeste da Ásia	2.830 ± 310	3.020	2440 ± 410	-20 ± 8	-25	-20 ± 12
África	1.980 ± 130	2.180	506 ± 720	-7 ± 3	-12	-22 ± 8
América Latina	6.690 ± 570	6.520	8080 ± 1020	-22 ± 12	-27	-41 ± 22
Total	11500 ± 540	11.720	15580 ± 1310	-49 ± 13	-64	-83 ± 26

Fonte: FAO (2005).

Verifica-se que mesmo quando não há mudança no uso da terra, estudos realizados em florestas boreais comprovaram que existe uma taxa líquida de absorção de carbono nestas florestas (JOYCE *et al.*, 1995; NILSSON *et al.*, 2001) devido à

deposição de nitrogênio, fertilização de CO₂, mudança da temperatura e precipitação. Porém, esta absorção pode ser compensada pelo derretimento dos solos congelados (“permafrost”) e suas conseqüentes emissões de carbono na forma de CO₂ e CH₄ devido ao aquecimento global (CHRISTENSEN e COX, 1995). A magnitude dos sumidouros naturais está estimada em $3,2 \pm 1,6 \text{ Gt C ano}^{-1}$, entretanto as incertezas ainda são grandes, cerca de 50%. Uma comparação entre oito resultados de estudos usando diferentes ajustes de estações de amostras, anos e métodos de cálculo, sugere que, na década de 90, o fluxo líquido anual de carbono da atmosfera para os sistemas biológicos terrestres foi de $1,3 \text{ Gt C ano}^{-1}$ nas florestas temperadas e regiões boreais e $0,2 \pm 1,2 \text{ Gt C ano}^{-1}$ nas florestas tropicais (IPCC, 2001).

O Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA³¹ (um consórcio entre o Brasil e governos estrangeiros) tem realizado estudos dos fluxos de carbono na região Amazônica, e.g. SANTOS (1999) mediu fluxos horários de CO₂ atmosférico e o sistema vegetação-solo em pastagens e florestas próximas a Manaus com torres e balão. Um estudo dos resultados da maioria de amostras de florestas tropicais em estágio maduro sugere que estas florestas estão aumentando em peso de biomassa, resultando num sumidouro de carbono de $0,85 \pm 0,25 \text{ Gt C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (PHILLIPS *et al.*, 1998). Os resultados do LBA ainda não são conclusivos, mas apontam para uma absorção líquida de carbono nas florestas da Amazônia Ocidental e uma fonte líquida das áreas com florestas da Amazônia Oriental.

O terceiro relatório do IPCC (2001) estimou que as emissões médias da década de 80 da mudança do uso da terra foi $1,7 (0,6 \text{ a } 2,5) \text{ Gt C ano}^{-1}$ e o quarto relatório do IPCC (2007) alterou suas estimativas para $1,4 (0,4 \text{ a } 2,3) \text{ Gt C ano}^{-1}$. Para a década de 90 o quarto relatório do IPCC estima que as emissões médias foram cerca de $1,6 (0,5 \text{ a } 2,7) \text{ Gt C ano}^{-1}$ (Tabela 2.4)

³¹ Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônica (Large-scale Biosphere-Atmosphere Amazon), página da Internet <http://lba.inpa.gov.br/lba/>, visitada em maio de 2007.

Tabela 2.4 – Emissões resultantes da mudança do uso da terra nos anos 80 e 90

	Américas Tropical	África Tropical	Ásia Tropical	Pan- Tropical	Não- trópicos	Total Mundial
1980 (GtC ano⁻¹)						
HOUGHTON (2003)	0,8 ± 0,3	0,3 ± 0,2	0,9 ± 0,5	1,9 ± 0,6	0,06 ± 0,5	2,0 ± 0,8
DEFRIES <i>et al.</i> (2002)	0,4 (0,2 a 0,5)	0,1 (0,08 a 0,14)	0,2 (0,1 a 0,3)	0,7 (0,4 a 1,0)
MCGUIRE <i>et al.</i> (2001)				0,6 a 1,2	-0,1 a +0,4	(0,6 a 1,0)
JAIN e YANG (2005)	0,22 a 0,24	0,08 a 0,48	0,58 a 0,34	1,33 a 2,06
IPCC (2001)						1,7 (0,6 a 2,5)
IPCC (2007)	0,6 (0,3 a 0,8)	0,2 (0,1 a 0,3)	0,6 (0,3 a 0,9)	1,3 (0,9 a 1,8)	0,06 (-0,4 a +0,6)	1,4 (0,4 a 2,3)
1990 (GtC ano⁻¹)						
HOUGHTON (2003)	0,8 ± 0,3	0,4 ± 0,2	1,1 ± 0,5	2,2 ± 0,6	-0,02 ± 0,5	2,2 ± 0,8
DEFRIES <i>et al.</i> (2002)	0,5 (0,2 a 0,7)	0,1 (0,1 a 0,2)	0,4 (0,2 a 0,6)	1,0 (0,5 a 1,6)
ACHARD <i>et al.</i> (2004)	0,3 (0,3 a 0,4)	0,2 (0,1 a 0,2)	0,4 (0,3 a 0,5)	0,9 (0,5 a 1,4)
IPCC (2007)	0,7 (0,4 a 0,9)	0,3 (0,2 a 0,4)	0,8 (0,4 a 1,1)	1,6 (1,0 a 2,2)	-0,02 (-0,5 a +0,5)	1,6 (0,5 a 2,7)

Fonte: IPCC (2007). Obs.: ...dado numérico ausente.

O estudo dos sumidouros naturais é importante para a compreensão do ciclo do carbono, mas não são considerados nas estimativas das contribuições históricas para a mudança do clima, pois são efeitos indiretos das emissões de CO₂. HOUGHTON (1996) estimou que as emissões líquidas devido ao desmatamento tropical foram de 1,2 Gt C ano⁻¹ durante o período de 1980-1990 e HOUGHTON (2001) estimou em 2,1 Gt C ano⁻¹. Entretanto, os acréscimos nas concentrações atmosféricas de CO₂ não confirmam estas magnitudes de estimativas de emissões, apontando para questões sobre a magnitude dos sumidouros de carbono tropicais (KOSKELA *et al.*, 2000) ou questões em relação às estimativas de emissões da mudança do uso da terra. Estudos recentes estimam estas emissões entre 0,6 e 2,4 Gt C ano⁻¹ (IPCC, 2007).

Segundo (HOUGHTON, 1991, 1991a), de 1850 a 1985, as emissões líquidas das florestas latino-americanas foram de 26 ± 9 Gt C, enquanto as emissões líquidas das florestas asiáticas tropicais do sul e sudeste ficaram em 24 ± 6 Gt C. No caso da América Latina 42% das emissões foram devido à pecuária, 34% para agricultura,

19% áreas degradadas e 5% para culturas rotativas, mas dados do sul e sudeste da Ásia são mais imprecisos devido à ausência de dados históricos.

Portanto, as estimativas das emissões de CO₂ da mudança do uso da terra ainda estão longe de serem conclusivas. Vários autores têm revisado as estimativas da década de 90; ARCHARD *et al.* (2004) e DEFRIES *et al.* (2002) estimaram que as emissões da mudança do uso da terra são, respectivamente, da ordem de 1 GtC ano⁻¹ e 0,9 GtC ano⁻¹. BROVKIN *et al.* (2004) utilizou um modelo climático de complexidade intermediária para estimar as forçantes da mudança do clima analisando os bancos de dados históricos SAGE (RAMANKUTTY e FOLEY, 1999), HYDE 2.0 (KLEIN GOLDEWIJK, 2001) e as emissões da mudança do uso da terra HOUGHTON e HACKLER (2002). Duas conclusões se destacam no estudo destes autores: 1) as concentrações de CO₂ calculadas com as emissões de mudança do uso da terra de HOUGHTON e HACKLER (2002) estão longe das concentrações medidas de CO₂ (Figura 2.5), e 2) que mesmo com a contribuição da mudança do uso da terra para o aumento das concentrações de CO₂, a contribuição líquida entre emissões e mudança de albedo tiveram um efeito negativo na temperatura média global (Figura 2.6).

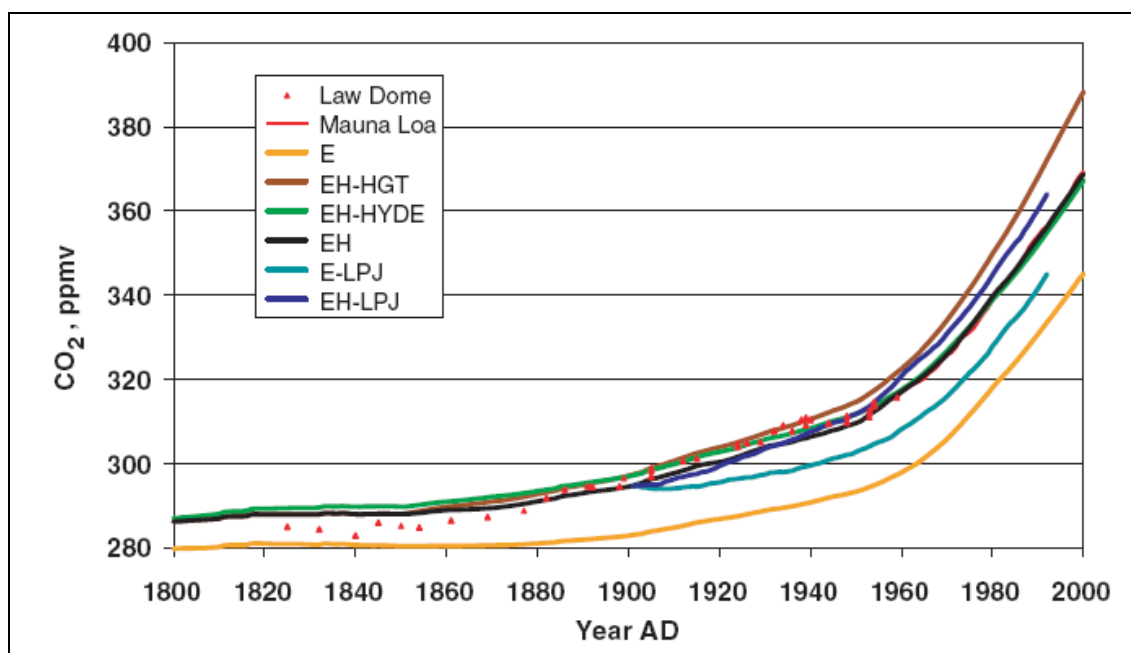


Figura 2.5 – Concentrações atmosféricas utilizando diferentes estimativas de mudança do uso da terra ou emissões de CO₂ da mudança do uso da terra

As concentrações medidas (law Dome e Mauna loa) diferem consideravelmente das modeladas utilizando apenas emissões de combustíveis fósseis (E), mais emissões do uso da terra do SAGE ou HYDE, (EH e EH-HYDE), as emissões da mudança do uso da terra de HOUGHTON e HACKLER (2002) (EH-HGT), ou utilizando um modelo de vegetação complexo (E-LPJ, EH-LPJ).

Fonte: BROVKIN *et al.* (2004).

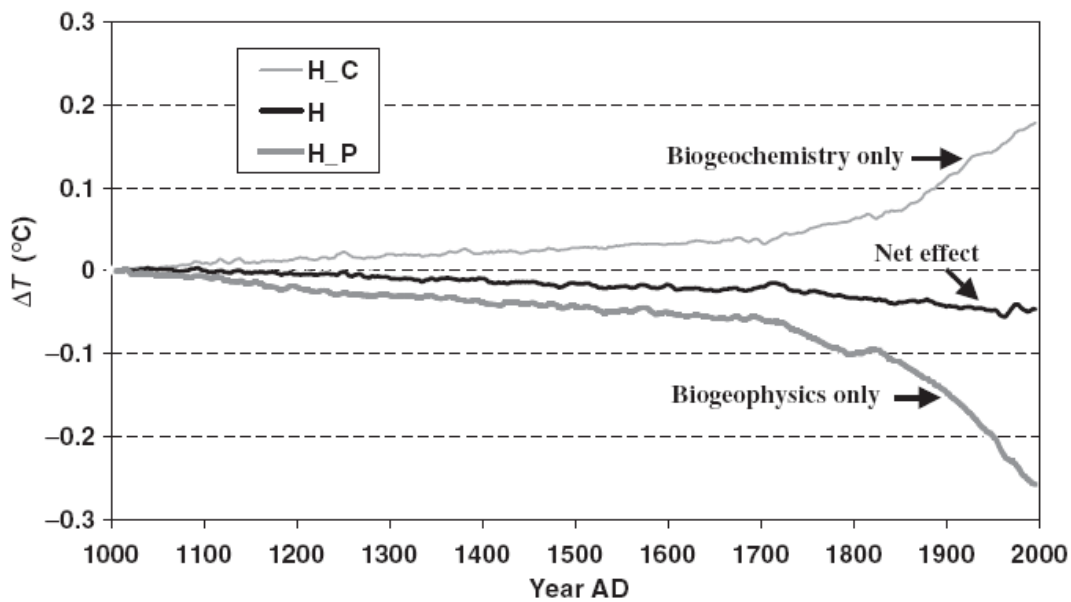


Figura 2.6 – Efeito líquido da mudança do uso da terra na temperatura
 O efeito de resfriamento da mudança de albedo da mudança (H_P) do uso da terra na temperatura média global foi maior do que o efeito de aquecimento do aumento das concentrações (H_C).
 Fonte: BROVKIN et al. (2004).

2.1 ESTIMATIVAS DE EMISSÕES HISTÓRICAS DA MUDANÇA DO USO DA TERRA

Existem modelos de mudança do uso da terra espaciais e não espaciais, dinâmicos ou estáticos, descritivos ou prescritivos, dedutivos ou indutivos. A escolha do modelo depende da pergunta que necessitamos responder. Um modelo não espacial é suficiente para saber o porquê e como acontecem mudanças, enquanto o espacial também diz onde aconteceu. Os modelos estáticos analisam os vetores e usam extrapolações lineares, enquanto os modelos dinâmicos explicitam atenção à dinâmica temporal, retroalimentações e dependências. Os modelos descritivos visam estimular o funcionamento do sistema de uso da terra e gerar previsões de padrões espaciais para o curto prazo, enquanto que os modelos prescritivos visam o cálculo otimizado de configurações de uso da terra que melhor atendam certos objetivos. Já os modelos dedutivos partem de uma série de relações conceituais e dedutivas e, mais tarde, testes empíricos alcançam uma conclusão, enquanto os modelos indutivos baseiam-se no uso de séries de observações de forma a alcançar uma conclusão (VERBURG, 2005).

Modelos de diferentes escalas têm diferentes representações espaciais, temáticas, processos e objetivos. Modelos não podem operar somente numa escala, onde os modelos globais devem considerar efeitos “bottom-up”, enquanto que os modelos locais devem considerar influências “top-down”. Fatores endógenos em modelos globais são geralmente exógenos em modelos locais, mas a conexão entre escalas geralmente é fraca. Portanto, cada modelo tem suas virtudes e aplicações típicas (VERBURG, 2005).

As estimativas das emissões da mudança do uso da terra são relativamente simples; haja vista que as emissões são as diferenças entre os estoques de carbono de cada uso da terra. Por exemplo, uma floresta de um hectare (1 ha), com um estoque de 80 toneladas de carbono (t C), é transformada em pasto, com um estoque de 3 t C. As perdas do estoque de carbono da floresta foram de 77 t C e as emissões gasosas correspondentes a esta mudança no uso da terra de 282 t CO₂, pois cada tonelada de carbono liberado corresponde a 3,67 toneladas de dióxido de carbono.

Pode-se notar que existe uma simplificação nas transferências de carbono entre o reservatório florestal e o atmosférico, cuja fundamentação está no princípio de que toda a matéria orgânica se decompõe aerobicamente gerando CO₂ de forma imediata, o que não corresponde à realidade. Parte da biomassa da floresta deixada se decompõe no local, e parte é usada na construção, em móveis etc. As mesmas simplificações são aceitas no caso da queima das florestas, que envolvem outras reações químicas, liberação de outros gases, produção de carvão vegetal, entre outras.

Outra simplificação na contabilização das emissões do desmatamento é que as florestas são tratadas como homogêneas³², gerando incertezas. De acordo com as escalas e classificações, pequenas variações podem provocar diferenças devido aos grandes números envolvidos. Somando-se a isto, existem poucos dados científicos sobre os estoques de carbono acima e abaixo do solo nas florestas, principalmente das florestas tropicais. As estimativas mais conhecidas são de Houghton e associados que tem estudos iniciados na década de 1980 com apresentado na Figura 2.7.

³² Existem vários fatores que tornam as florestas heterogêneas, *i.e.*, idade, umidade, solo e ecossistemas.

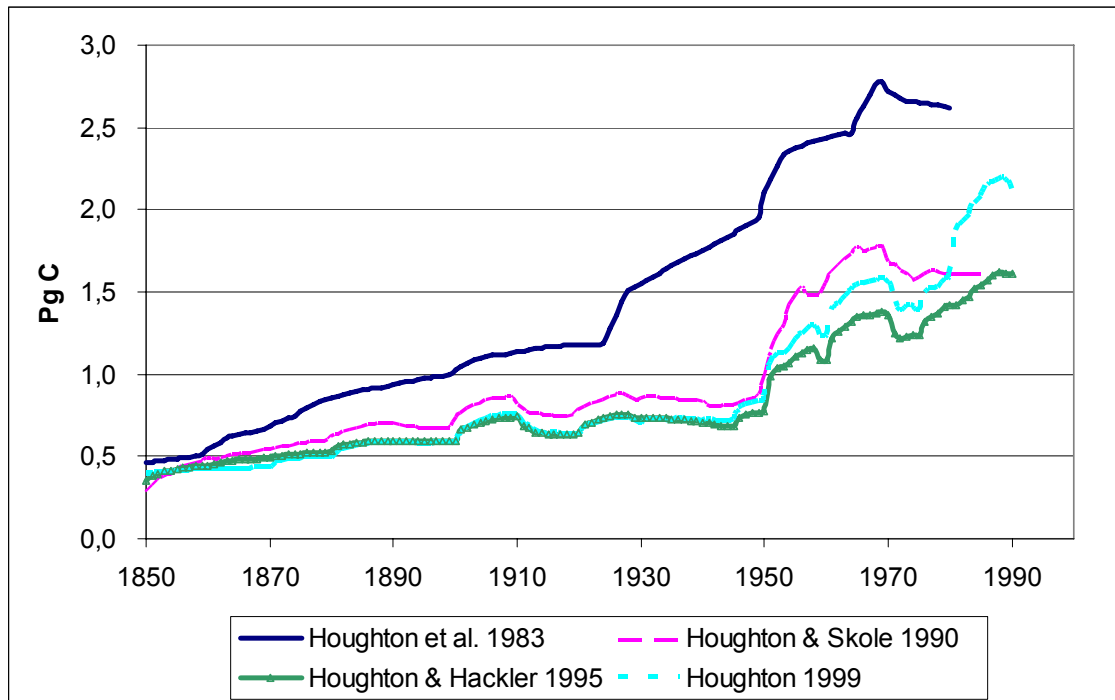


Figura 2.7 – Emissões da mudança do uso da terra de acordo com diferentes estudos de Houghton

Houghton fez sua primeira estimativa das emissões da mudança do uso da terra em 1983 e sucessivamente tem alterado sua metodologia enquanto atualiza os dados.

Fonte: HOUGHTON (1999).

A versão mais recente de emissões de CO₂ do setor de mudança no uso da terra é HOUGHTON e HACKLER (2002), onde estimaram as emissões por região³³ desde 1850, disponível na página de internet do CDIAC como visto na Figura 2.8 (Carbon Dioxide Information and Analysis Center www.cdiac.ornl.gov). Outro banco de dados também de alimentado por Houghton é o CAIT (2003) do World Resource Insititute que apresenta as emissões de CO₂ da mudança do uso da terra por país a partir de 1950.

³³ África do Norte e Oriente Médio, África Tropical, América Tropical, Antiga União Soviética, Ásia Tropical, Canadá, China, EUA, Europa e Região Desenvolvida do Pacífico.

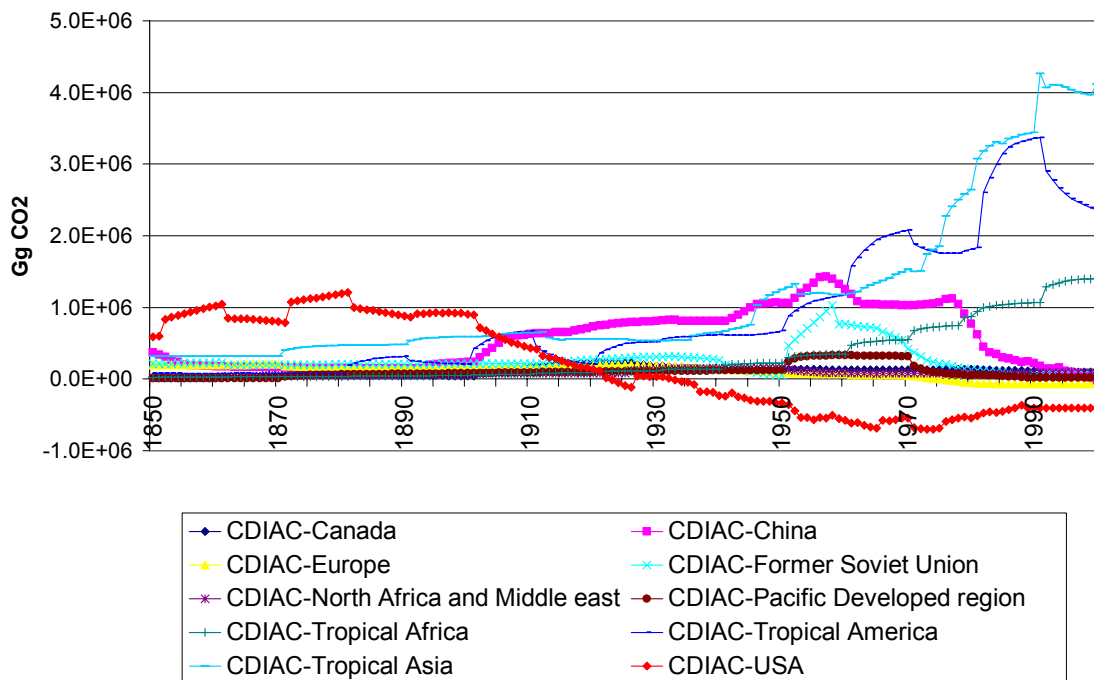


Figura 2.8 – Emissões históricas da mudança do uso da terra de Houghton
 Emissões estimadas pelo banco de dados CDIAC.
 Fonte: HOUGHTON e HACKLER (2002).

As estimativas de HOUGHTON e HACKLER (2002) foram publicadas posteriormente no artigo em HOUGHTON (2003), onde compilaram as emissões por regiões baseados em estudos próprios específicos (e.g. HOUGHTON, 1991, 1991a, HOUGHTON e HACKLER, 2003) utilizando o mesmo modelo de emissões de mudança do uso da terra, mas baseado em fontes de dados específicas, muitas vezes não compatíveis, de pastagem, agricultura, classificação de biomas, demanda por madeira e estimativas dos biomas desmatados. Para isto, criaram um modelo que para cada conversão existem diferentes tempos decaimento do carbono. Por um lado, esta abordagem resulta em estudos refinados para algumas regiões, mas por outro lado gera estimativas de emissões não comparáveis, pois levam em conta vetores diferentes da mudança do uso da terra.

Apesar das estimativas do modelo de emissões CO₂ da mudança no uso da terra de HOUGHTON (2003) ser o mais aceito internacionalmente, o IPCC (2007) ventila a hipótese de que suas emissões estejam superestimadas, pois modelos complexos do ciclo de carbono estimam menores emissões da mudança do uso da terra a partir das concentrações medidas de CO₂ (Figura 2.9).

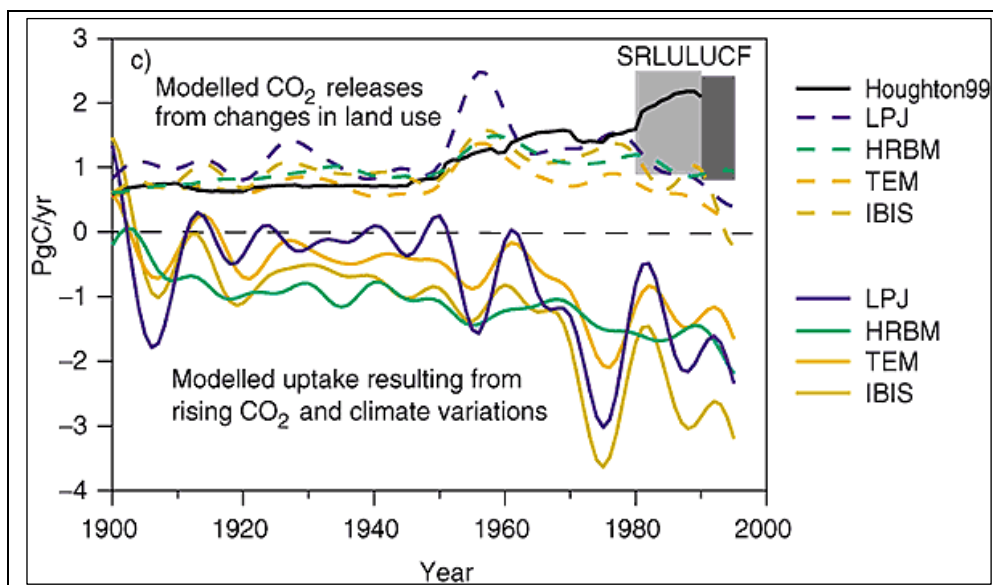


Figura 2.9 – Fluxos modelados das emissões antropogênicas de CO₂

Neste estudo foram utilizadas as concentrações de CO₂, variações climáticas e mudanças no uso da terra baseadas em RAMANKUTTY e FOLEY (1999). As emissões estimadas por Houghton são representadas pela linha preta contínua. As linhas tracejadas são as emissões estimadas líquidas e as linhas contínuas são as absorções modeladas. Conclusões similares foram obtidas por BROVKIN *et al.* (2004) mostrando que as estimativas de Houghton não são verificáveis nos modelos de carbono.

Fonte: MCGUIRE *et al.* (2001).

Outro banco de dados de emissões de GEE por regiões é o EDGAR 1.4 (2004) com emissões de CO₂ (Figura 2.10), CH₄ e N₂O dividido em 13 regiões³⁴ para o período de 1890-1990. Das emissões de CO₂ da mudança no uso da terra por região estão ilustradas na Figura 2.10, pode-se concluir que o EDGAR 1.4 tem emissões extremamente baixas para as regiões OECD (países da OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e REF (países do leste europeu e antiga União Soviética); a razão destas emissões nulas ou muito baixas é que o EDGAR 1.4 considera que as conversões de uso da terra ocorreram antes de 1890. Este banco de dados é usado como referência para as análises do grupo MATCH, mas requer análises preliminares ou estará enviesando os resultados das contribuições históricas por região para a temperatura média global.

³⁴ África, América Latina, Antiga União Soviética, Leste da Ásia, Sudeste da Ásia, Sul da Ásia, Canadá, EUA, Leste da Europa, Japão, Oceania, OECD da Europa e Oriente Médio.

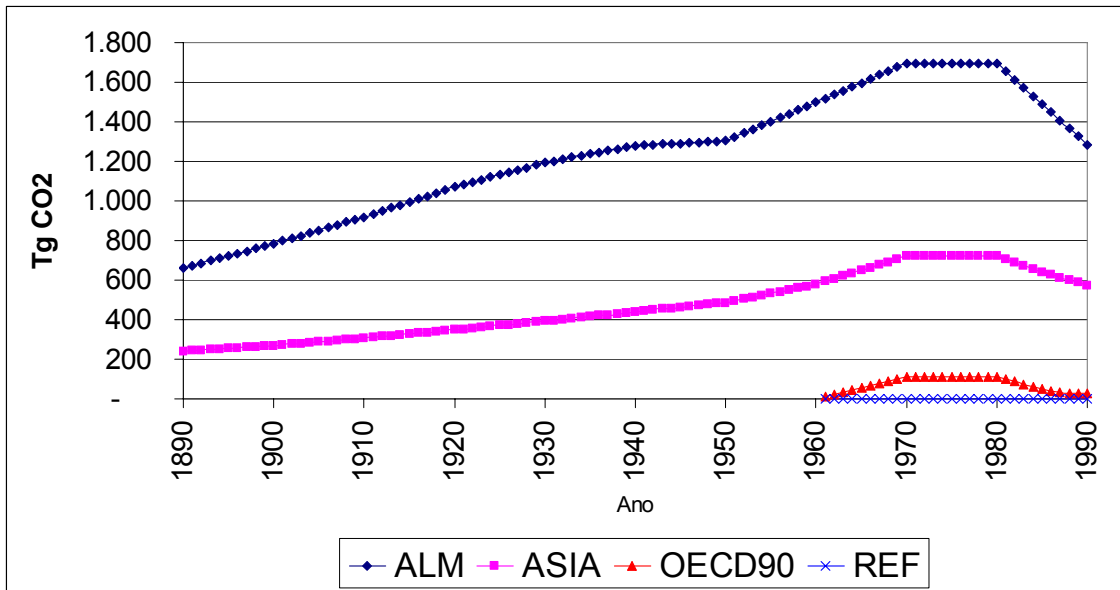


Figura 2.10 – Emissões regionais da mudança do uso da terra de EDGAR 1.4
As emissões nulas da região OECD90 e REF denotam uma falha na hipótese do modelo de emissões.

Fonte: Elaboração própria a partir de EDGAR (2004).

Na Figura 2.11 são comparadas as emissões de mudança no uso da terra entre HOUGHTON e HACKLER (2002) e EDGAR 1.4 (2004), onde podemos notar que as estimativas globais são completamente diferentes.

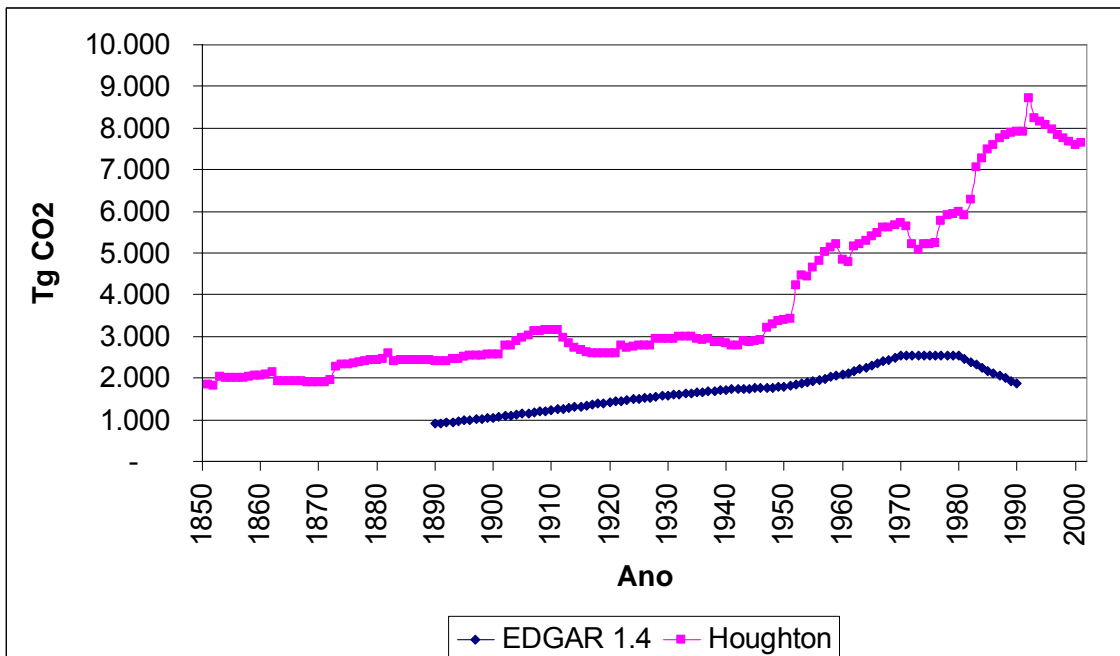


Figura 2.11 – Comparação das emissões da mudança no uso da terra de Houghton e EDGAR

Os modelos de emissões históricas de CO₂ não concordam em termos de escala nem tendência.
Fonte: elaboração própria a partir de HOUGHTON e HACKLER (2002) e EDGAR (2004).

O grupo *Ad Hoc* MATCH está usando o EDGAR 1.4 para calcular as contribuições para a mudança do clima, mas para “sincronizar” as emissões do EDGAR 1.4 com os cenários do IPCC-SRES (NAKICENOVIC *et al.*, 2000) em 1990 multiplicou-se as emissões de CO₂ da mudança no uso da terra e de N₂O (Figura 2.12) por um fator, desta forma, aumentando as emissões históricas dos países em desenvolvimento, pois, como visto na Figura 2.10, os países desenvolvidos tinham emissões nulas que não se alteraram com a multiplicação pelo fator. Esta correção alterou as emissões acumuladas de 174 Gt C para 338 Gt C.

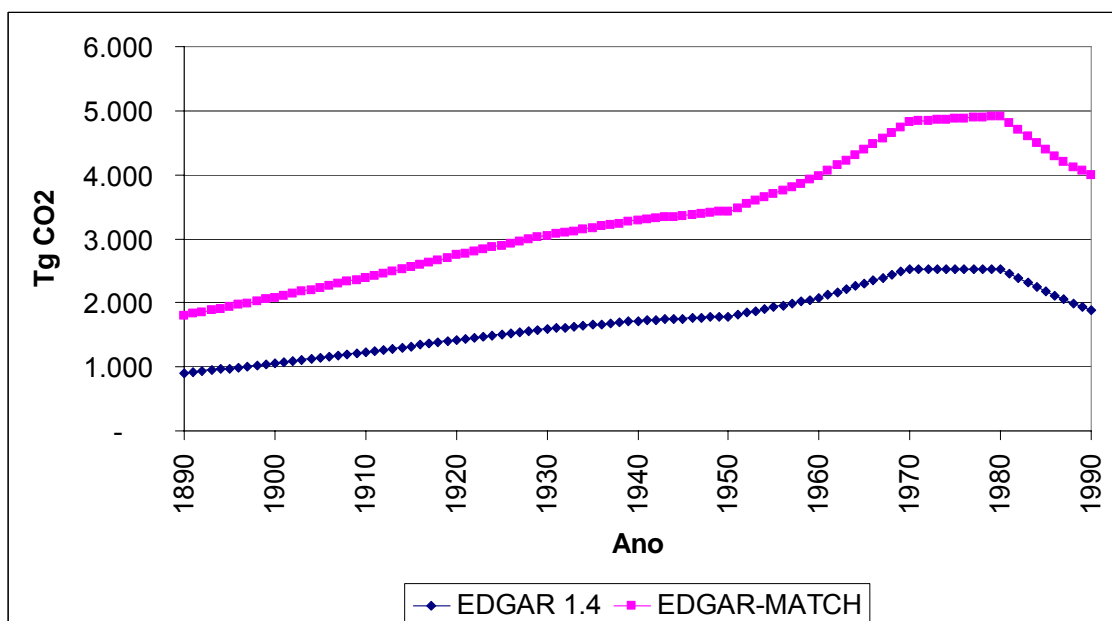


Figura 2.12 – Emissões do EDGAR 1.4 utilizadas no artigo do Grupo *Ad Hoc* MATCH
 Fonte: Elaboração própria a partir de EDGAR 1.4 e den Elzen *et al.* (2005a).

2.2 MODELO DE EMISSÕES DA MUDANÇA NO USO DA TERRA - IVIG/MEMUT

Fruto do projeto de três meses entre o Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG) e o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) em 2001, começamos o desenvolvimento de modelos de emissões de gases de efeito estufa por país. Nos anos seguintes, através do suporte do IVIG e depois da Eletrobrás SA, consolidamos o bando de dados de emissões através de um Sistema de Consultas de Emissões (IVIG/SCE, 2004) e desenvolvemos um modelo de emissões da mudança do uso da terra, um de emissões de CH₄ da fermentação entérica e de N₂O do manejo de esterco da pecuária. Durante o estágio de doutorado na Bélgica acoplamos o

Modelo de Emissões da Mudança do Uso da Terra – IVIG/MEMUT, ao Java Climate Model 5 – JCM5 (MATTHEWS, 2006), para estudos das contribuições históricas para a mudança do clima. Para tanto, neste capítulo analisaremos as bases de dados de emissões históricas e apresentaremos o modelo IVIG/MEMUT.

O modelo de mudança do uso da terra que desenvolvemos foi publicado no periódico *Science of Total Environment* (de CAMPOS *et al.*, 2005) e foi utilizado nos cálculos para as contribuições para a mudança do clima por ROSA *et al.* (2004) e den ELZEN *et al.* (2005a). Durante o estágio de doutorado na Bélgica em 2005 aprimoramos o modelo, doravante IVIG/MEMUT-2, com tempos de decaimento diferentes para diferentes frações por bioma e frações de carbono do solo diferentes que são emitidas quando convertidas para agricultura ou pastagem e incluímos no JCM5 (MATTHEWS, 2006).

2.2.1 Áreas do uso da terra

O modelo de emissões de mudança no uso da terra (de CAMPOS *et al.*, 2005) utiliza o banco de dados georeferenciado de uso da terra de Klein GOLDEWIJK (2001), **doravante HYDE 2.0**, para estimar a mudança de área de cada bioma por país e as suas respectivas emissões/absorções. Existem seis tipos básicos de mudança do uso da terra associados às emissões que são considerados no IVIG/MEMUT: (a) bioma natural para agricultura, (b) bioma natural para pastagem, (c) pastagem para agricultura, (d) agricultura para pastagem, (e) abandono de agricultura com regeneração do bioma natural, e (f) abandono de pastagem com regeneração do bioma natural (Figura 2.13). Existem outros tipos de conversão, mas não são considerados neste modelo, pois envolvem vetores complexos para serem estimados ou são pouco relevantes para o balanço líquido de emissões associados à mudança do uso da terra, *e.g.* corte seletivo de madeira, plantações rotativas, terras estéreis.

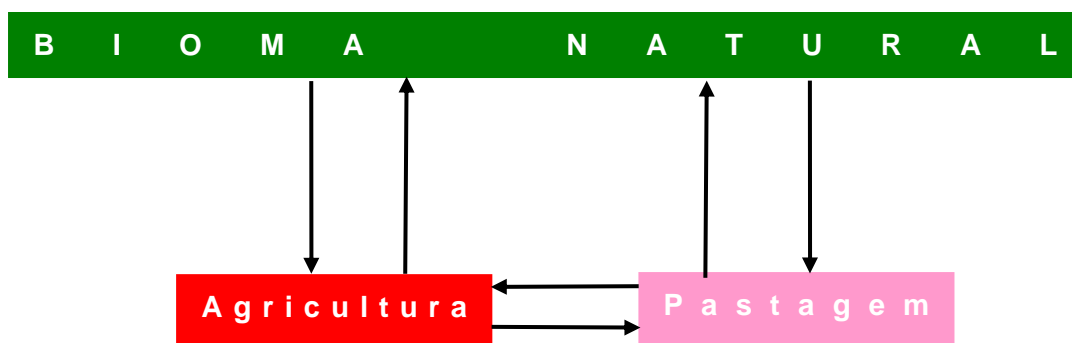


Figura 2.13 – Esquema da mudança do uso da terra considerada no IVIG/MEMUT
 Fonte: Elaboração própria a partir de Wunder (2006).

As áreas de uso da terra por bioma, agricultura e pastagem foram retiradas do HDYE 2.0 nos anos de 1700, 1750, 1800, 1850, 1900, 1950 e 1990. O HYDE 2.0 tem uma resolução de 30' x 30' e utiliza dois padrões potenciais de vegetação: (1) RAMANKUTTY e FOLEY (1999), **doravante bioma A**, apresentado na Figura 2.14, e (2) HAXELTINE e PRENTICE (1996) com algumas modificações apresentadas por LEEMANS e van den BORN (1994), **doravante bioma B**, apresentado na Figura 2.15. As áreas de agricultura e pastagem estão igualmente distribuídas nos biomas A e B. Recentemente o HYDE lançou a versão 3.0, que incorpora o mapa de 2000 e usa uma resolução de 5' x 5' (klein GOLDEWIJK *et al.*, submetido).

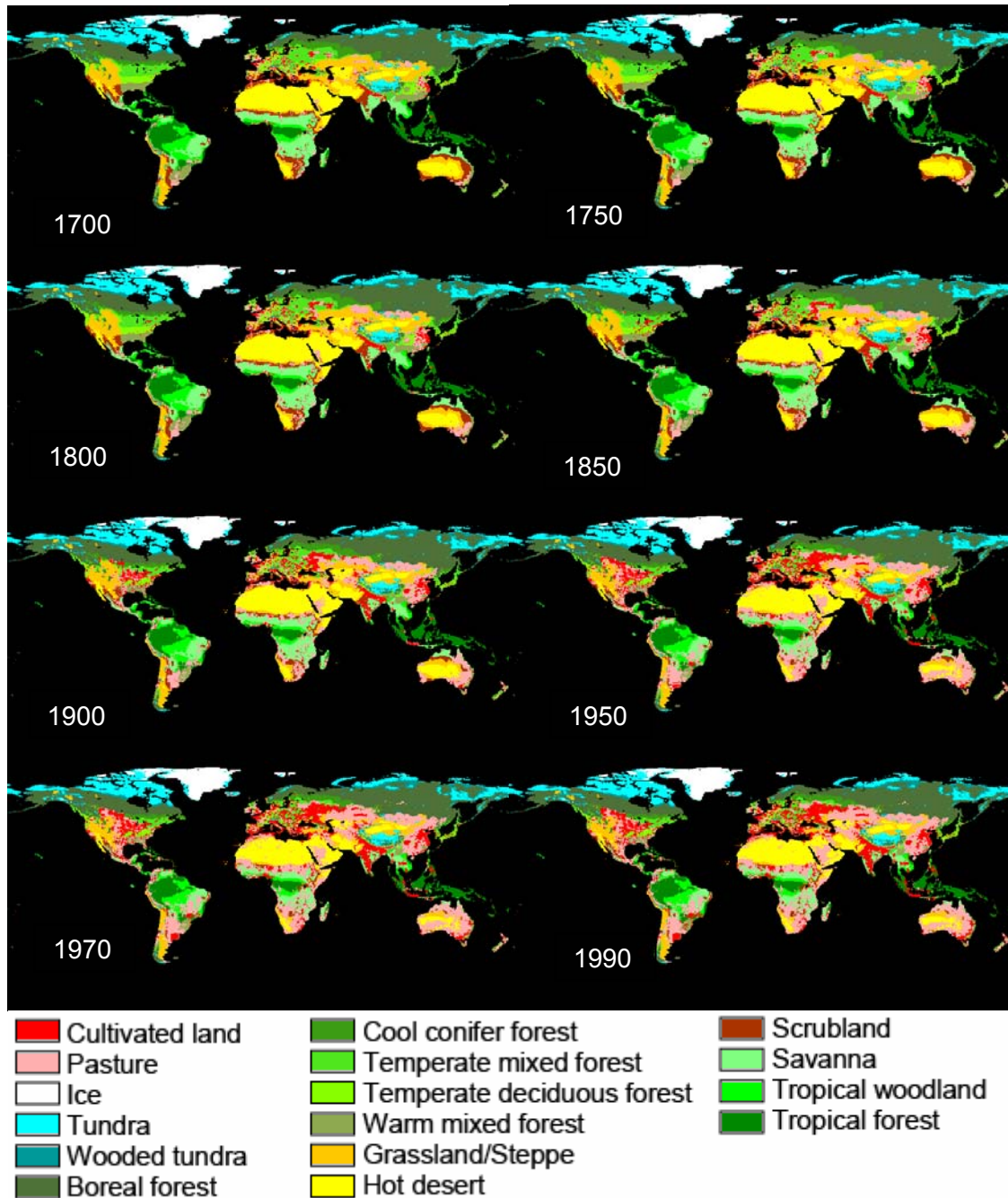


Figura 2.14 – Mapas de uso da terra com a classificação de biomas A
 Ao longo do tempo, biomas naturais são substituídos por agricultura e pastagem.
 Fonte: Adaptação própria a partir de HYDE 2.0.

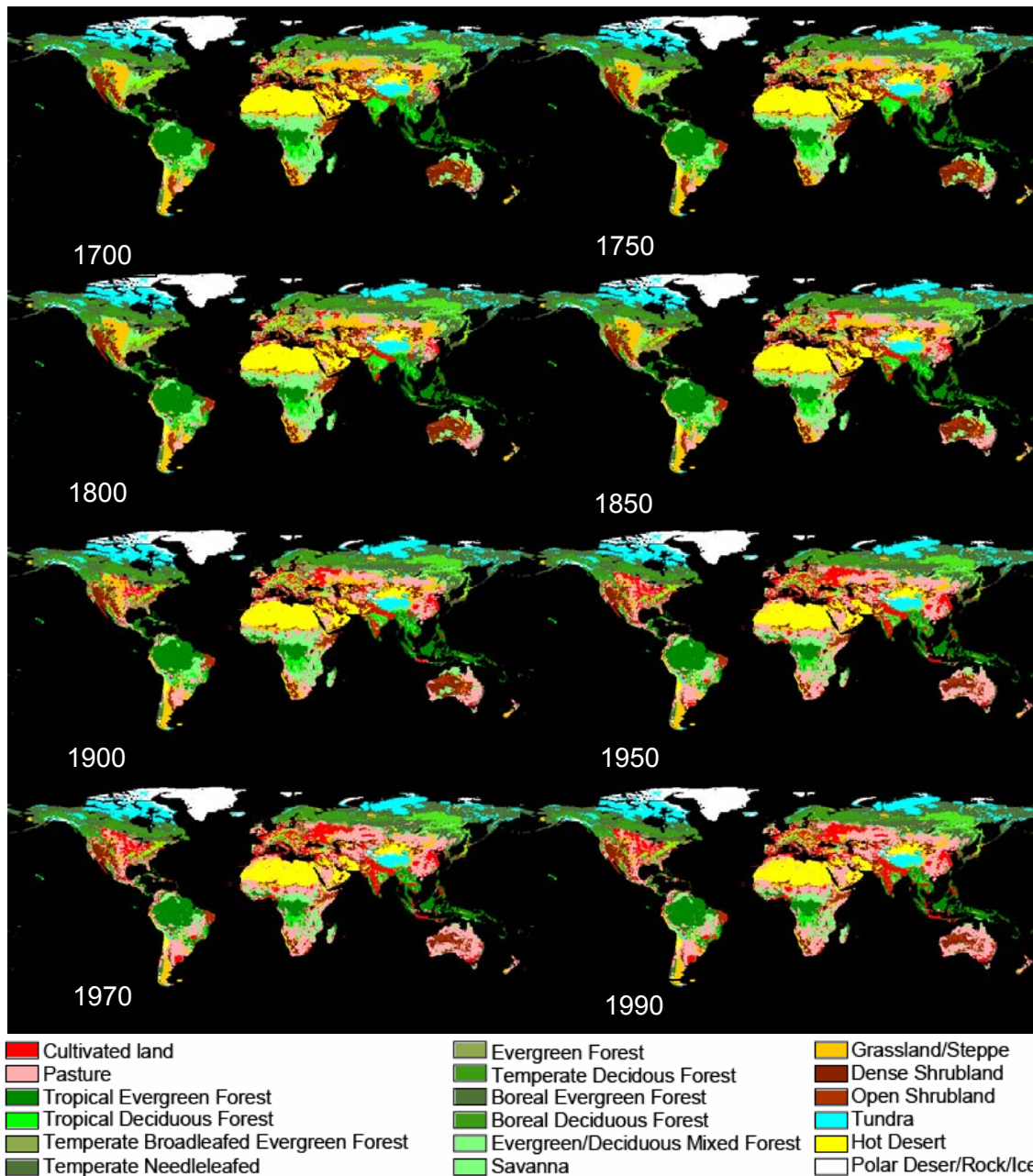


Figura 2.15 – Mapas de uso da terra com a classificação de biomas B
 Ao longo do tempo, biomas naturais são substituídos por agricultura e pastagem.
 Fonte: Adaptação própria a partir do HYDE 2.0.

Segundo o HYDE 2.0, as áreas de agricultura passaram de 265 Mha em 1700 para 1.471 Mha em 1990 e as de pastagens tiveram um aumento de 6 vezes de 524 para 3451 Mha. Em geral estas atividades tomaram mais lugar em áreas de pastos naturais do que em florestas. Existe uma diferença temporal de mudança no uso da terra entre as regiões, pois nas temperadas e desenvolvidas do Canadá, EUA, USSR e Oceania tiveram suas grandes mudanças durante o século 19, enquanto que as regiões tropicais e em desenvolvimento presenciaram mudanças no final do século 20.

Para estimar as áreas históricas de agricultura e pastagem, o HYDE 2.0 adotou um mapa populacional georeferenciado de 30' x 30' de latitude/longitude de 1994 de TOBLER *et al.* (1995) e calibrou com o banco de dados das NAÇÕES UNIDAS (1995) de população por país. Dados sub-nacionais de grandes países como Canadá, EUA, México, Brasil, Argentina, China e Austrália derivaram de estudos específicos, e.g. RICHARDS e FLINT (1994). Depois com estimativas históricas de população por país de estudos específicos, o HYDE 2.0 fez regressões espaciais do mapa populacional de 1994 até 1700.

No HYDE 2.0 distribuíram-se as áreas de agricultura e pastagem por país obtidas do banco de dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAOSTAT, 1996) de acordo com os mapas georeferenciados populacionais. Para calibração usou-se o critério de que os padrões geográficos de terras agricultáveis são constantes; para a cobertura inicial agrícola derivou dos dados de uso da terra do DISCover, classificado de acordo com o IGBP Global and Cover Legend (LOVELAND e BELWARD, 1997) compreendendo 17 classes, onde agricultura, cidades e construções têm o mesmo peso distribuídas com os dados de terras agricultáveis e plantações permanentes apresentadas pela FAOSTAT (1996). Se não houvesse terras agricultáveis suficientes foram usadas as classes de savanas e campos naturais do mosaico de vegetação para alocar o resto das plantações.

As estimativas das áreas de agricultura e pastagem em 1700 para as regiões da América Latina, Sul da Ásia, antiga USSR, China, Pacífico Desenvolvido e sudeste da Ásia foram escalonadas com os dados de RICHARDS (1990) (baseado no trabalho de HOUGHTON *et al.* (1983)) e Klein GOLDEWIJK e BATTJES (1997). O resto do mundo foi escalonado com as estimativas de RICHARDS (1990). Onde não havia dados específicos, assumiu-se que países e regiões seguiam tendências regionais. Os países da antiga União Soviética foram calibrados com a tendência da USSR, com a hipótese de que a parcela de agricultura relativa à área total permaneceu constante entre 1700 até o presente. A mesma hipótese foi usada para as repúblicas da Eslovênia, Croácia, Bósnia-Herzegovina, antiga República Iugoslávia da Macedônia e a República Federativa da Iugoslávia seguiram a antiga Iugoslávia. A República Tcheca e Eslováquia seguiram a Tchecoslováquia; a Etiópia DPR e Eritrea seguiram a tendência da antiga Etiópia. No caso das áreas de agricultura dos EUA, o HYDE 2.0 baseou-se no trabalho do RAMANKUTTY e FOLEY (1998) para o período de 1850-1990.

O IVIG/MEMUT-2 calcula as áreas por bioma de cada país somando o de número células correspondentes de 30' x 30' do HYDE 2.0³⁵ com a correção de área de acordo com a sua latitude. Para cada país foram usadas interpolações lineares para estimar a área anual de cada bioma entre os períodos disponíveis. As estimativas globais são apresentadas Figura 2.16. Cada bioma é considerado um uso da terra, assim como a agricultura e a pastagem.

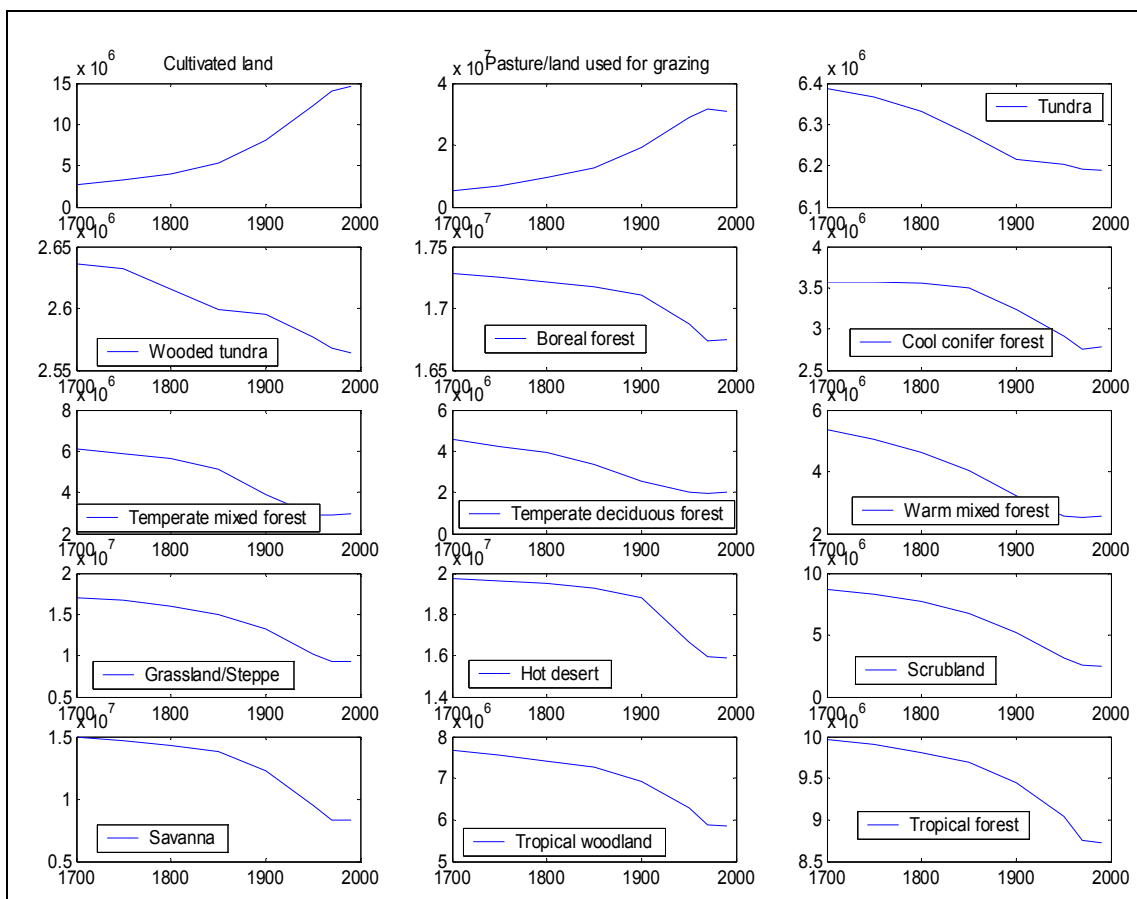


Figura 2.16 – Interpolação anual das áreas na classificação de bioma A
Fonte: Elaboração própria a partir do HYDE 2.0.

A partir de 1961 o banco de dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAOSTAT, 2006) tem dados anuais de áreas de agricultura e pastagem por país, portanto a partir deste ano aplicamos as taxas de mudança das áreas de agricultura e pastagem da FAOSTAT nas taxas de mudança de área dos biomas do HYDE 2.0.

³⁵ Correspondem a 259.200 células, 720 colunas por 360 linhas.

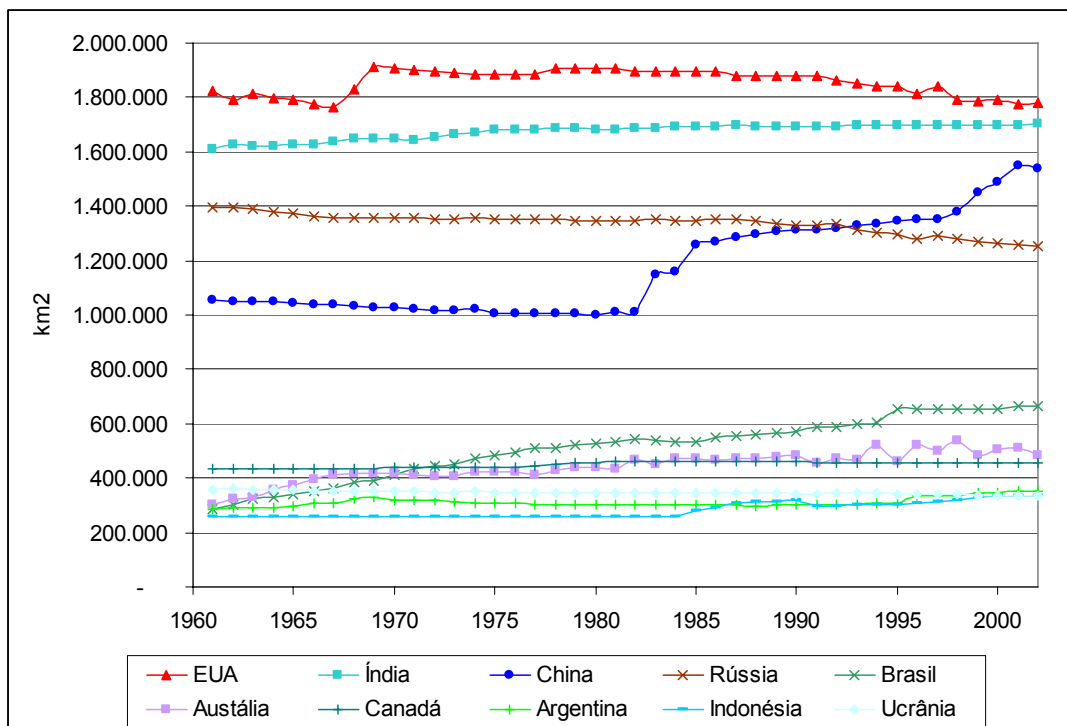


Figura 2.17 – Maiores áreas de agricultura por país entre 1960-2002
 Os EUA é o país com as maiores áreas de agricultura no mundo, seguido pela Índia, China, Rússia e Brasil.

Fonte: elaboração própria a partir de FAOSTAT (2006).

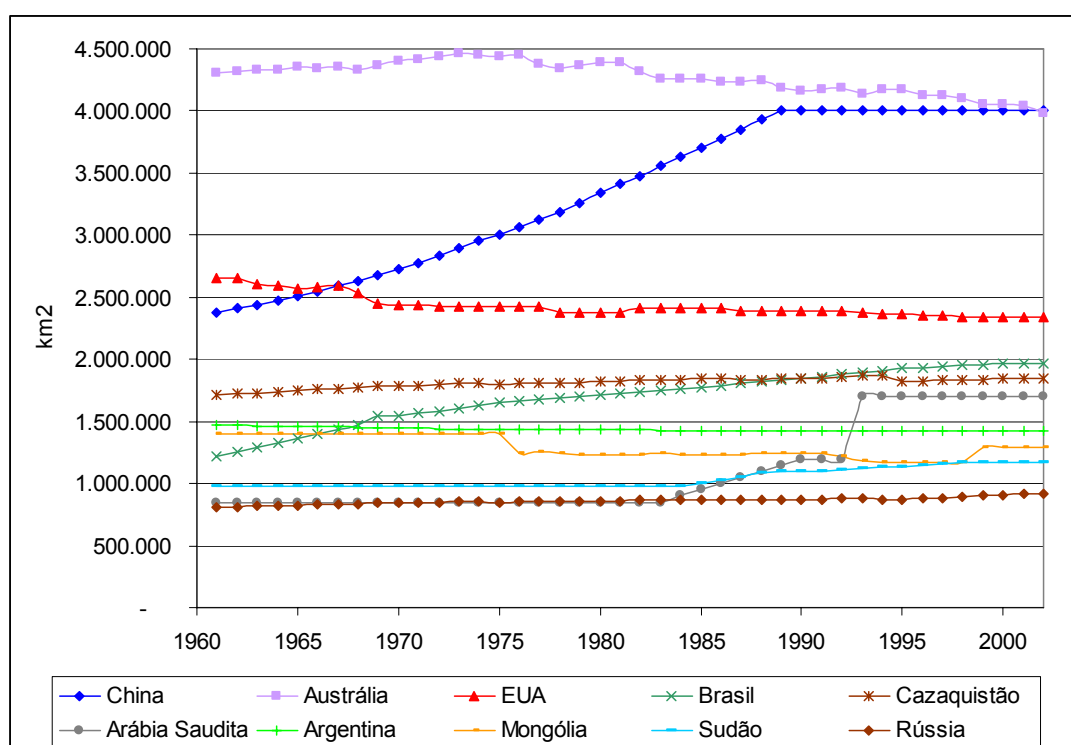


Figura 2.18 – Maiores áreas de pastagem por país entre 1960-2002
 A Austrália é o país com as maiores áreas de pastagem no mundo, seguida pela China, EUA, Brasil e Cazaquistão.

Fonte: elaboração própria a partir de FAOSTAT (2006).

Aplicou-se a mesma metodologia no banco de dados de uso da terra SAGE (RAMANKUTTY e FOLEY, 1999). Entretanto, este banco de dados considera apenas as áreas de agricultura e, como podemos notar na Figura 2.16, Figura 2.17 e na Figura 2.18, a utilização deste banco de dados para o cálculo de emissões ignoraria mudanças no uso da terra maiores do que o da própria agricultura.

2.2.2 Modelo de Emissões

A emissão e absorção de CO₂ da mudança do uso da terra resulta da oxidação da biomassa do bioma associado ao uso da terra antes da conversão e do ganho de biomassa do bioma associado posterior. A gaseificação da biomassa (oxidação) ocorre de várias formas, no caso do uso do fogo, parte é emitida instantaneamente durante a queima, parte é transformada para carvão vegetal que levará centenas de anos para gaseificar se ficar no local e a parte que não queima pode ser deixada no local, se decompondo vagorosamente. As frações de decomposição são definidas pelo tipo de desmatamento e pelo clima. Portanto, a mudança do uso da terra vai emitir o carbono da matéria orgânica presente no bioma anterior com diferentes tempos de decaimento, e uma fração do carbono orgânico presente no solo em 20 anos (Figura 2.19).

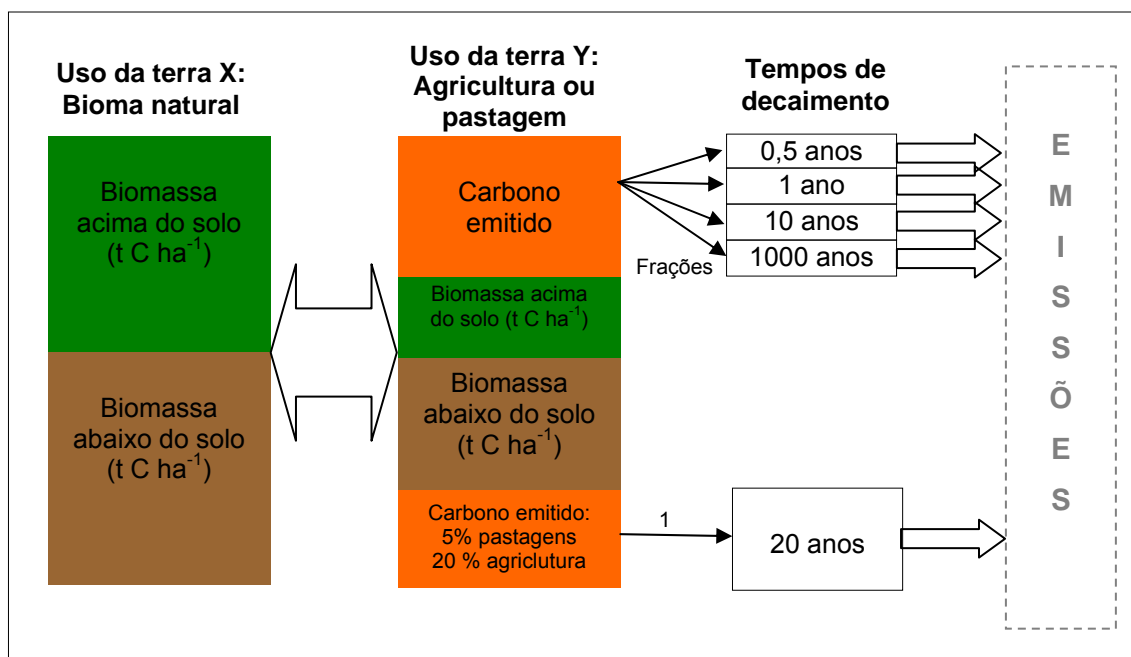


Figura 2.19 – Esquema do modelo de emissões da mudança do uso da terra
O carbono emitido acima do solo tem frações que decaem em tempos diferentes, variando de acordo com o bioma. O carbono do solo é emitido em 20 anos.

Fonte: elaboração própria.

No modelo, calculamos a emissão/absorção da mudança do uso da terra como sendo a soma das derivadas dos estoques de carbono de cada bioma, com frações com diferentes tempos de decaimento e biomas com diferentes tempos de regeneração e estoque de carbono. No caso do carbono do solo as emissões/absorções são conceitualmente diferentes entre agricultura e pastagem, pois a conversão para agricultura emite cerca de 20% do carbono por área do bioma anterior, enquanto a conversão para pastagem emite apenas 5%. Quando a conversão é de agricultura para pastagem ou vice-versa, temos uma absorção líquida ou emissão líquida de carbono, que é a diferença entre os 20 e 5%. Os conteúdos de carbono e tempo de regeneração acima e abaixo do solo da classificação de bioma A, são apresentados na Tabela 2.5, assim como as frações de decaimento por bioma na Tabela 2.6.

Tabela 2.5 – Fatores de densidade de carbono e tempo de regeneração acima e abaixo do solo por bioma da classificação A

<i>Biomassas</i>	<i>Densidade de carbono da biomassa acima do solo (t C ha⁻¹)</i>	<i>Tempo regeneração da biomassa acima do solo (anos)</i>	<i>Densidade de carbono abaixo do solo (t C ha⁻¹)</i>	<i>Tempo regeneração da biomassa abaixo do solo (anos)</i>
Cultivated land	5	2	80% *	2
Pasture/land used for grazing	5	2	95% *	2
Ice	0	0	0	0
Tundra	6	100	127	100
Wooded tundra	7	100	167	100
Boreal forest	64	80	206	80
Cool conifer forest	81	42	170	42
Temperate mixed forest	106	25	134	25
Temperate deciduous forest	117	25	134	40
Warm mixed forest	69	18	98	18
Grassland/Steppe	7	2	153	2
Hot desert	2	2	2	2
Scrubland	18	2	77	2
Savanna	29	2	153	2
Tropical woodland	80	20	63	20
Tropical forest	147	40	116	40

Obs.: * fração do bioma anterior. Fonte: Elaboração própria a partir de HOUGHTON e HACKLER (2002) e Watson et al. (2000).

Tabela 2.6 – Fração e tempo de decaimento da biomassa acima e abaixo do solo utilizados no modelo IVIG/MEMUT na classificação de bioma A

	<i>Acima do solo</i>				<i>Abaixo do solo</i>
	<i>0,5 anos</i>	<i>1 ano</i>	<i>10 anos</i>	<i>1000 anos</i>	<i>20 anos</i>
Cultivated land	0,5	0,48	0	0,02	20% do conteúdo de carbono do bioma anterior no caso da conversão para agricultura
Pasture/land used for grazing	0,5	0,48	0	0,02	
Ice	0,33	0,3	0,35	0,02	
Tundra	0,33	0,3	0,35	0,02	
Wooded tundra	0,33	0,3	0,35	0,02	
Boreal forest	0,33	0,3	0,35	0,02	
Cool conifer forest	0,33	0,3	0,35	0,02	
Temperate mixed forest	0,33	0,3	0,35	0,02	
Temperate deciduous forest	0,33	0,3	0,35	0,02	
Warm mixed forest	0,33	0,3	0,35	0,02	5% do conteúdo de carbono no caso da conversão para pastagem
Grassland/Steppe	0,5	0,48	0	0,02	
Hot desert	0,5	0,48	0	0,02	
Scrubland	0,5	0,48	0	0,02	
Savanna	0,5	0,48	0	0,02	
Tropical woodland	0,38	0,3	0,3	0,02	
Tropical forest	0,33	0,3	0,35	0,02	

Fonte: Adaptação a partir de HOUGHTON e HACKLER (2002).

Para analisarmos o impacto de diferentes classificações de bioma nas emissões de CO₂ da mudança do uso da terra utilizou-se dois mapas de vegetação natural: bioma A e bioma B. A escolha do mapa de vegetação deverá ser um dos fatores de maior impacto nas estimativas de emissões de CO₂, pois os mapas de bioma não concordam plenamente nas áreas de florestas e savanas. Os conteúdos de carbono e tempo de regeneração acima e abaixo do solo da classificação de bioma B, são apresentados na Tabela 2.7, assim como as frações de decaimento por bioma na Tabela 2.8.

Tabela 2.7– Fatores de densidade de carbono e tempo de regeneração acima e abaixo do solo por bioma da classificação B

<i>Biomass</i>	<i>Densidade de carbono da biomassa acima do solo (t C ha⁻¹)</i>	<i>Tempo regeneração da biomassa acima do solo (anos)</i>	<i>Densidade de carbono abaixo do solo (t C ha⁻¹)</i>	<i>Tempo regeneração da biomassa abaixo do solo (anos)</i>
Cultivated land	5	2	80% *	2
Pasture/land used for grazing	10	2	95% *	10
Tropical Evergreen Forest/Woodlan	114	30	89	30
Tropical Deciduous Forest/Woodland	100	11	130	11
Temperate Broadleafed Evergreen Forest/Woodland	110	21	150	29
Temperate Needleleafed Evergreen Forest/Woodland	100	22	160	22
Temperate Deciduous Forest/Woodland	117	25	134	33
Boreal Evergreen Forest/Woodland	64	61	206	61
Boreal Deciduous Forest/Woodland	81	80	70	80
Evergreen/Deciduous Mixed Forest/Woodland	84	49	170	49
Savanna	29	10	153	10
Grassland/Steppe	7	13	153	13
Dense Shrubland	18	5	77	5
Open Shrubland	10	6	60	6
Tundra	6	71	127	71
Hot Desert	2	2	2	2
Polar Deser/Rock/Ice	0	0	116	100

Obs.: * fração do bioma anterior. Fonte: Elaboração própria a partir de HOUGHTON e HACKLER (2002) e WATSON *et al.* (2000).

Tabela 2.8 – Fração e tempo de decaimento da biomassa acima e abaixo do solo utilizados no modelo IVIG/MEMUT na classificação de bioma B

	<i>Acima do solo</i>				<i>Abaixo do solo</i>
	<i>0,5 anos</i>	<i>1 ano</i>	<i>10 anos</i>	<i>1000 anos</i>	<i>20 anos</i>
Cultivated land	0,5	0,48	0	0,02	20% do conteúdo de carbono do bioma anterior no caso da conversão para agricultura
Pasture/land used for grazing	0,5	0,48	0	0,02	
Tropical Evergreen Forest/Woodland	0,33	0,3	0,35	0,02	
Tropical Deciduous Forest/Woodland	0,38	0,3	0,3	0,02	
Temperate Broadleafed Evergreen Forest/Woodland	0,33	0,3	0,35	0,02	
Temperate Needleleafed Evergreen Forest/Woodland	0,33	0,3	0,35	0,02	
Temperate Deciduous Forest/Woodland	0,33	0,3	0,35	0,02	
Boreal Evergreen Forest/Woodland	0,33	0,3	0,35	0,02	
Boreal Deciduous Forest/Woodland	0,33	0,3	0,35	0,02	
Evergreen/Deciduous Mixed Forest/Woodland	0,33	0,3	0,35	0,02	
Savanna	0,5	0,48	0	0,02	5% do conteúdo de carbono no caso da conversão para pastagem
Grassland/Steppe	0,5	0,48	0	0,02	
Dense Shrubland	0,5	0,48	0	0,02	
Open Shrubland	0,5	0,48	0	0,02	
Tundra	0,33	0,3	0,35	0,02	
Hot Desert	0,5	0,48	0	0,02	
Polar Deser/Rock/Ice	0,33	0,3	0,35	0,02	

Fonte: Adaptação a partir de HOUGHTON e HACKLER (2002).

Para analisarmos o impacto de diferentes parametrizações para as estimativas de conteúdo de carbono por bioma incluímos uma fator de erro de biomassa e uma segunda fonte de dados para o conteúdo de carbono do modelo de vegetação em equilíbrio da classificação do bioma B de acordo com JAIN e YANG (2005) (Tabela 2.9).

Tabela 2.9 – Fatores de densidade de carbono acima e abaixo do solo por bioma da classificação B-ISAM

<i>Biomass</i>	<i>Densidade de carbono da biomassa acima do solo (t C ha⁻¹)</i>	<i>Densidade de carbono abaixo do solo (t C ha⁻¹)</i>
Cultivated land	16	80%*
Pasture/land used for grazing	15	95%*
Tropical Evergreen Forest/Woodland	209	106
Tropical Deciduous Forest/Woodland	165	60
Temperate Broadleafed Evergreen Forest/Woodland	215	140
Temperate Needleleafed Evergreen Forest/Woodland	100	160
Temperate Deciduous Forest/Woodland	213	110
Boreal Evergreen Forest/Woodland	71	263
Boreal Deciduous Forest/Woodland	81	170
Evergreen/Deciduous Mixed Forest/Woodland	84	170
Savanna	20	192
Grassland/Steppe	3	47
Dense Shrubland	8	88
Open Shrubland	10	88
Tundra	7	127
Hot Desert	6	56
Polar Deser/Rock/Ice	0	116

Obs.: * fração do bioma anterior. Fonte: Elaboração própria a partir de HOUGHTON e HACKLER (2002), WATSON *et al.* (2000) e JAIN e YANG (2005).

Numa tentativa de aprimoramento das curvas de emissões, ao invés da interpolação linear das áreas dos biomas, utilizamos uma interpolação exponencial, spline e o polinômio de hermite, entretanto como as emissões/absorções são proporcionais às derivadas das áreas, estas funções retornam valores de derivadas extremamente altas ou baixas nos pontos de inflexão. No caso da interpolação linear, as derivadas no período são constantes, portanto as emissões/absorções são constantes, retornando um degrau de emissão nos pontos de inflexão, onde a derivada de um período é diferente do período seguinte.

3 MODELOS CLIMÁTICOS SIMPLES

Neste capítulo descrevemos os modelos simples de clima e realizamos uma revisão bibliográfica dos resultados dos modelos de contribuições para o aumento da temperatura. A seguir apresentamos os modelos climáticos simples que foram utilizados no cálculo das responsabilidades relativas nesta tese.

3.1 DESCRIÇÃO

O clima é composto por padrões de circulação atmosférica, regulados por movimentos de ar ascendentes e descendentes. Desta forma a atmosfera transporta energia térmica e água entre diferentes regiões. O sistema climático global é complexo e pode ser modelado através de modelos globais de circulação. Uma das primeiras formulações de circulação global foi proposta em 1735 por George Hadley, onde a diferença de temperatura entre os pólos e os trópicos criaria uma circulação térmica, fazendo o ar se mover equilibrando o sistema (OLIVER, 2005). Neste caso, a Terra, sem a rotação, seria composta por uma célula em cada hemisfério. Atualmente, esta representação evoluiu para três células de circulação em cada hemisfério (Figura 3.1).

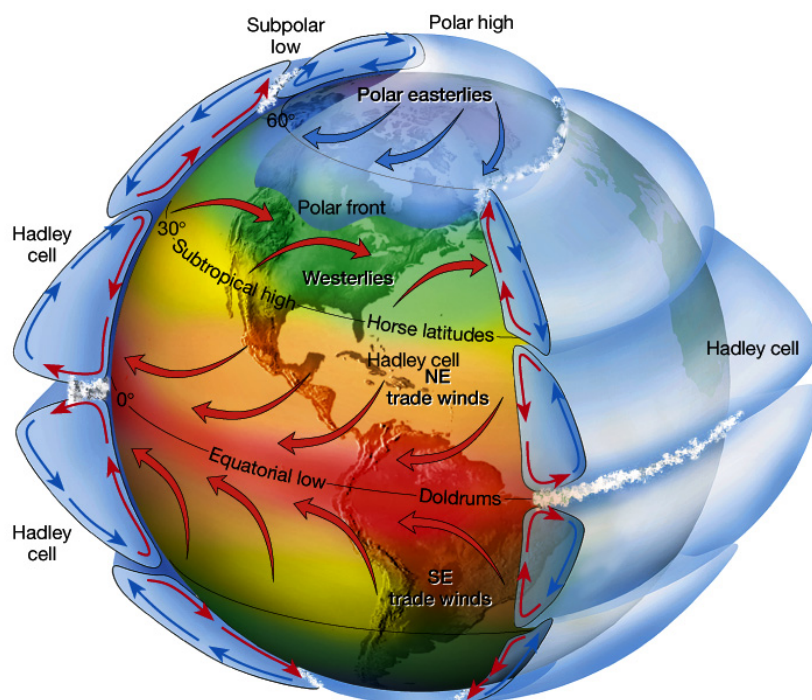


Figura 3.1 – Modelo de circulação geral de 3 células por hemisfério
Fonte: <http://www-unix.oit.umass.edu>, 2006.

Os modelos gerais de circulação (GCM – general circulation model) são representações numéricas da atmosfera, utilizando equações de movimento, incluindo radiação, fotoquímica, transporte de calor, dinâmica dos fluidos, vapor d'água e momento. Os GCMs utilizam uma malha, dividindo a atmosfera em caixas com dimensões horizontais e verticais, com fluxos verticais e horizontais de ar, energia e água. Atualmente a resolução destes modelos está na magnitude de caixas de 3° latitude/longitude, 20 camadas verticais e período de tempo de 20 minutos. Devido sua complexidade e escala, a construção de GCMs utilizam nomes institucionais (e.g. NCAR CAM – National Center for Atmospheric Research Community Atmospheric Model, Boulder, Colorado; ECHAM – European Center for Medium Range Weather Forecasting – Hamburg, Alemanha). Apesar dos modelos serem diferentes nos seus detalhes, existe uma concordância de que aumentando as concentrações de gases de efeito estufa irá causar uma intensificação no efeito estufa e de que será mais forte nas altas latitudes do norte (OLIVER, 2005).

Devido ao alto custo computacional, modelos gerais de circulação só podem ser utilizados para certo número de cenários. Portanto, modelos simples climáticos são calibrados de forma a representar a média global das respostas dos GCMs e são utilizados para executar centenas de cenários. Este é o caso da projeção de aumento de temperatura entre 1,4 e 5,8 °C do período de 1900 até 2100 apresentado na Figura 1.5. A Proposta do Brasil também utilizou um modelo climático simples para atribuir as contribuições para o aquecimento global, assim como nesta tese. Nos próximos sub-ítemos apresentaremos alguns conceitos básicos contidos em modelos simples.

3.1.1 Modelos do Ciclo do Carbono

O carbono faz parte de dois principais gases de efeito estufa, o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂) e é o elemento químico mais abundante dentre os elementos dos ciclos biogeoquímicos. Entender o ciclo do carbono é fundamental para compreender os processos reguladores e o tempo de residência do CO₂ atmosférico, portanto as concentrações que regulam o efeito estufa (Figura 3.2).

O CO₂ é considerado um gás traço devido à sua baixa concentração atmosférica – menos de 1% – e foi identificado por Joseph Black em 1754 como um gás produzido pela combustão, respiração e fermentação, comportando-se como um ácido e componente de carbonatos minerais. Em 1894, Arvid Högbom descreveu que

o CO₂ é fornecido para a atmosfera pelos seguintes processos: a) erupções vulcânicas e fenômenos geológicos, b) combustão de meteoritos carbonáceos nas altas regiões da atmosfera, c) combustão ou decaimento de corpos orgânicos, d) decomposição de carbonatos, e) liberação de CO₂ dissolvido em corpos d'água do mar por causa do aumento da temperatura ou redução da pressão parcial do CO₂, e e) liberação de ácido carbônico aprisionados mecanicamente em frações de minerais ou decomposição. Além disto, este autor identificou que o CO₂ presente no ar é consumido principalmente pela formação de carbonatos da precipitação de silicatos, pelo consumo do CO₂ por processos vegetais e absorção de CO₂ pelos mares (CALDEIRA, 2005).

Plantas, seja na terra ou nos oceanos, absorvem o carbono do CO₂, liberando o oxigênio (O₂) através da fotossíntese, onde a luz (fóton) é essencial para sintetizar biomassa³⁶. Através deste processo as plantas acumulam carbono e atualmente possuem três vezes e meio mais carbono que a atmosfera, cerca de 2.300 Gt C (Figura 3.2). A respiração é o processo inverso à fotossíntese, consumindo oxigênio e liberando dióxido de carbono e energia, mantendo animais, plantas e outros organismos vivos.

Dois outros processos são quase iguais à respiração: decomposição e combustão. Decomposição é a respiração, principalmente, das bactérias e fungos enquanto digerem a matéria morta. Já a combustão de matéria orgânica (*i.e.*, incêndios florestais), segue o mesmo caminho da respiração, onde as enzimas são substituídas pelo calor para acelerar o processo que libera energia e dióxido de carbono.

³⁶ As plantas do tipo C3 e C4 realizam fotossíntese durante o dia e as plantas do tipo CAM realizam durante a noite.

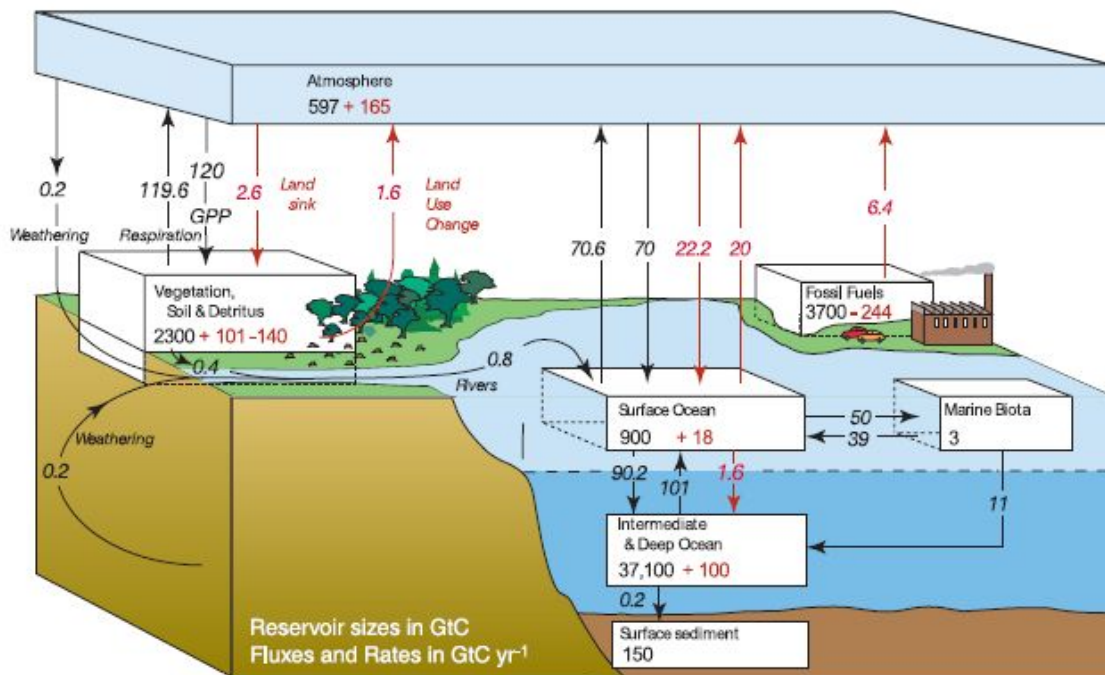


Figura 3.2 – Ciclo global do carbono nos anos 90
 Estoques de carbono (Gt C) em reservatórios e seus fluxos médios anuais em GtC ano⁻¹: fluxos em preto são os naturais e os antropogênicos em vermelho.
 Fonte: figura 7.3 do IPCC (2007).

De acordo com CALDEIRA (2005), o ciclo do carbono não é restrito somente às plantas e à atmosfera. O dióxido de carbono é solúvel em água e os oceanos cobrem cerca de 70% da superfície terrestre. Os oceanos absorvem dióxido de carbono da atmosfera (90 Gt C ano^{-1}) e atualmente têm um estoque 50 vezes maiores que a atmosfera (38.000 Gt C), predominantemente na forma de carbono inorgânico dissolvido. A solubilidade do dióxido de carbono nos oceanos é limitada, pois depende da sua concentração na atmosfera, da temperatura dos oceanos e outros fatores. Atualmente, o oceano está absorvendo menos da metade das emissões antrópicas, $2,3 \pm 0,8 \text{ Gt C ano}^{-1}$ (Figura 3.2). Os ciclos que envolvem as plantas e os oceanos mudam a concentração de dióxido de carbono na atmosfera numa escala de tempo de semanas a meses. Em 1957 Roger Revelle e Hans Suess perceberam que para um aumento de 10% do CO_2 atmosférico os oceanos aumentam seu estoque de carbono em 1% devido à química dos oceanos, ou seja, 4000 Pg C (CALDEIRA, 2005).

Outro ciclo envolve as rochas, ou melhor, a matéria orgânica depositada nas rochas durante milhões de anos. Os ciclos que envolvem rochas levam centenas de milhares ou milhões de anos para afetar a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, com uma exceção: a atividade humana. A matéria orgânica morta que fica enterrada nas rochas se transforma em carvão mineral, petróleo e gás natural, sendo

a energia solar fixada pelas plantas há milhares de anos. Esta energia tem sido explorada na forma de combustíveis fósseis.

O modelo de carbono Berna foi elaborado pela Universidade de Berna, Suíça, e tem sido usado como padrão para estudar as relações entre as emissões antropogênicas de carbono e as concentrações de CO₂, e.g. IPCC (1995) e IPCC (2001). Ele é um modelo de caixa, onde o carbono de origem antropogênica que permanece na atmosfera é resultado das absorções/emissões do oceano e da biosfera terrestres mais as emissões humanas (Figura 3.3).

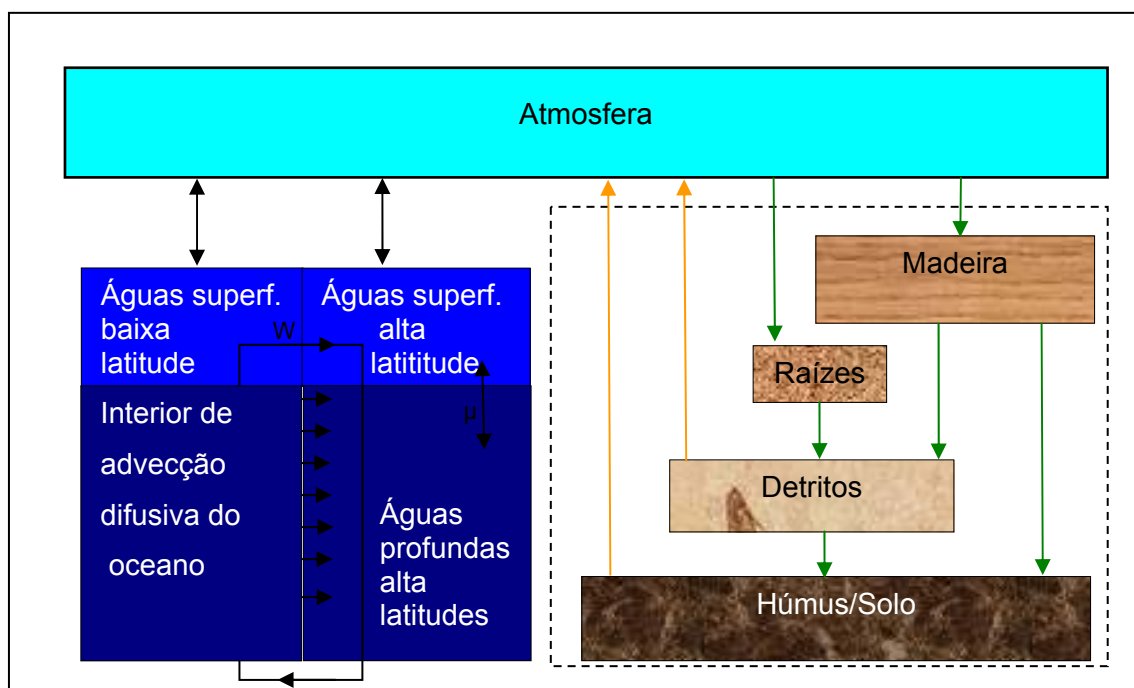


Figura 3.3 – Estrutura do modelo de ciclo do carbono de Berna

Fonte: Elaboração própria a partir de

http://www.climate.unibe.ch/~joos/model_description/model_description.html, 2006.

Os estoques de carbono na biosfera terrestre do modelo Berna são compostos pelas absorções dos estoques da biomassa acima do solo e abaixo e das emissões dos estoques de carbono nos detritos e no solo. A absorção oceânica de carbono é descrita pelo modelo HILDA, que é representado por duas caixas de águas superficiais (alta e baixa latitude), uma caixa das águas profundas (apenas alta latitude) e uma caixa representando um reservatório interior de difusão (SHAFFER and SARMIENTO, 1995). Na Figura 3.4 analisamos as concentrações estimadas pelo modelo de carbono utilizando seis cenários de emissão do IPCC-SRES (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).

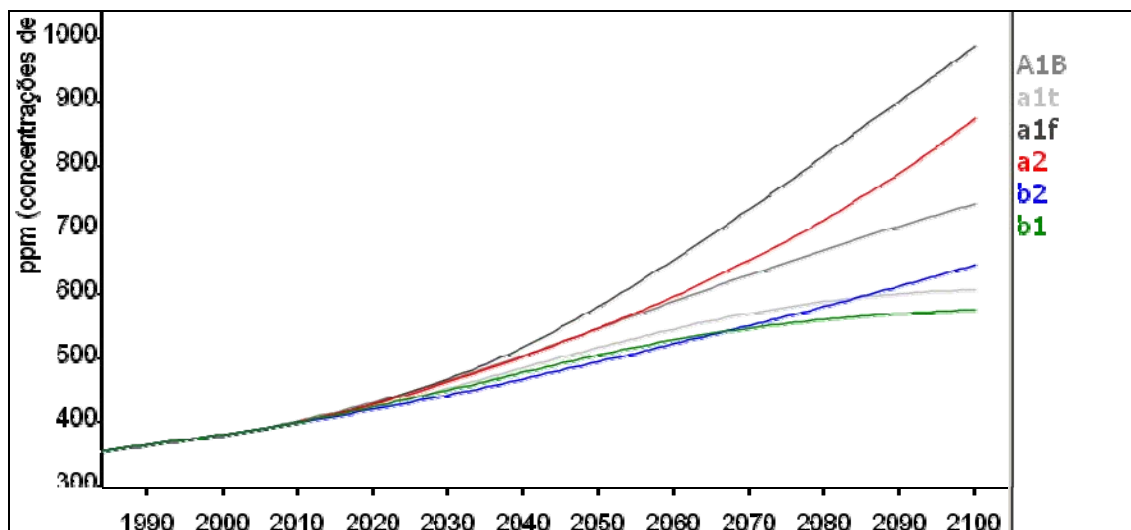


Figura 3.4 – Cenários de concentrações de CO₂
 Estimadas para seis cenários de emissões do IPCC-SRES (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).
 Fonte: Elaboração própria a partir do JCM5 (MATTHEWS, 2006) e (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).

JOOS *et al.* (1996) adaptaram o modelo de carbono de Berna para ser resolvido de forma algébrica, simplificando os cálculos computacionais. Esta versão é a utilizada na Proposta do Brasil, no modelo de ROSA e RIBEIRO (2001) e na maior parte dos modelos simples. Ele é definido pela sobreposição de funções logarítmicas com tempos de vida diferentes para cada fração do CO₂ emitido (IVIG-SCE, 2004):

$$N(t) = \int_0^t dt' \left[\sum_i \beta_i e^{-(t-t')k_i} \right] E(t')$$

$$\sum_i \beta_i = 1$$

Equação 3.1

Onde:

$N(t)$ – Concentração do gás (em Gg) no tempo t (em anos).

$E(t)$ – Emissão de gás (em Gg) no tempo t (em anos).

$1/k_i$ – Constante de decaimento exponencial (em anos) da fração β_i da concentração do gás.

β_i – Fração da concentração do gás que decai exponencialmente com a constante temporal $1/k_i$.

Para o CO₂ podem ser utilizados os seguintes parâmetros apresentados na tabela seguinte:

Tabela 1 – Parâmetros para o cálculo da concentração de CO₂ atmosférico

	$1/k_i$ em anos	β_i
IPCC (2001)	2,57	0,316
	18	0,279
	171	0,253
	>10.000	0,152
ROSA e RIBEIRO (2001)	1,6	0,098
	20	0,294
	80	0,392
	330	0,216

3.1.2 Modelos de CH₄ e N₂O

Existem grandes fontes naturais de CH₄ e N₂O que ainda não são bem quantificadas (e.g. tundras, terras alagáveis, térmitas, oceanos, hidratos, solos) e as fontes antropogênicas estão associadas principalmente às práticas de agricultura e atualmente são difíceis de serem avaliadas (e.g. energia, aterros sanitários e lixões, ruminantes, tratamento de rejeitos, agricultura de arroz, manejo do solo, processos industriais e queima de biomassa).

As emissões antropogênicas de CH₄ e N₂O são fontes expressivas e vêm contribuindo para o aumento das suas concentrações atmosféricas entre 1750 e 2005 de 700 para 1774 ppb e, 270 para 318,6 ppb, respectivamente (IPCC, 2007). Os seus tempos de vida atmosféricos estão relacionados com as suas concentrações e, ao contrário do CO₂ que é um gás praticamente inerte na atmosfera, estão profundamente ligados à química da atmosfera. Os modelos utilizados para estimar as concentrações são aproximações lineares de modelos complexos de química da atmosfera.

O CH₄ é removido da atmosfera principalmente pela reação com hidroxilas (OH) na troposfera, através da seguinte reação: $OH + CH_4 = CH_3 + H_2O$. A principal fonte de hidroxila é a reação do oxigênio da fotólise do ozônio e água e as concentrações de NO_x, além de outras fontes menores das reações de reciclagem do hidrogênio – OH, H HO₂, H₂O₂. O monóxido de carbono também consome as hidroxilas, pois cerca de 80% do CO é removido pela oxidação com as hidroxilas. Portanto, as reações do CH₄ e CO com as hidroxilas têm uma retro alimentação positiva na sua vida média, ou seja, quanto maior suas concentrações, menores serão as das hidroxilas e maior será a vida média do CH₄ (ROTMANS e SWART, 1990).

Existe alguma absorção do CH₄ nos solos e perdas estratosféricas, mas são responsáveis pela redução de menos de 12% do CH₄. Atualmente o tempo de vida médio do CH₄ é de 8,4 anos.(IPCC, 2001). Na Figura 3.5 apresentamos as concentrações de CH₄ estimadas pelo modelo JCM5 (MATTHEWS, 2006) utilizando seis cenários de emissões do IPCC-SRES (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).

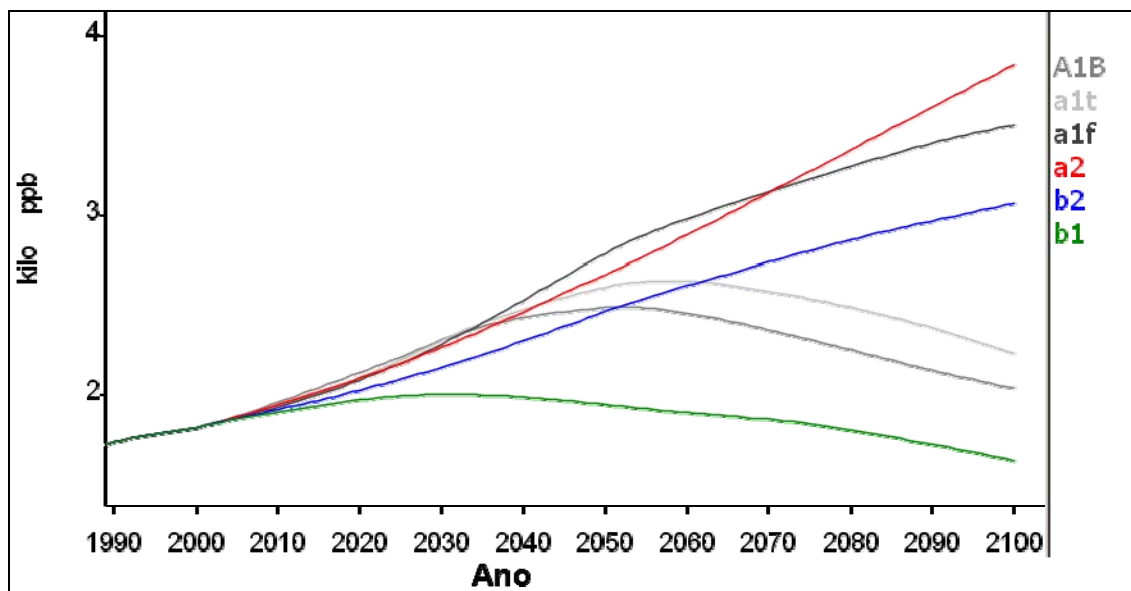


Figura 3.5 – Cenários de concentrações de CH₄
Estimadas para seis cenários de emissões do IPCC-SRES (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).
Fonte: Elaboração própria a partir do JCM5 (MATTHEWS, 2006).

As hidroxilas dependem das concentrações de gases como NO_x, CH₄, CO, compostos orgânicos voláteis (VOC), O₃ e H₂O, além da quantidade de raios solares ultravioletas que alcançam a troposfera. Portanto, as hidroxilas variam muito geograficamente, com a hora do dia e estações do ano. Devido à sua relação com o CH₄ e outros poluentes, é de se esperar que as concentrações de hidroxilas troposféricas alteraram-se desde a revolução industrial e mudarão nos cenários futuros de emissões (Figura 3.6).

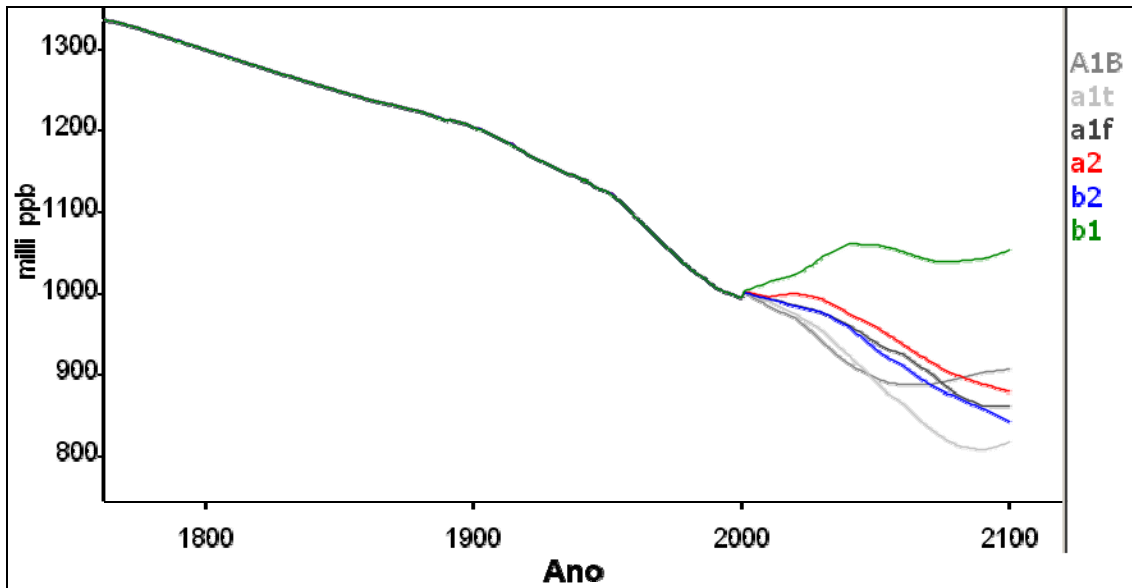


Figura 3.6 – Cenários de concentrações de hidroxilas (OH)
 Estimadas para seis cenários de emissões do IPCC-SRES (NAKICENOVIC *et al.*, 2000) e um cenário de estabilização de emissões de CH₄ proporcional à estabilização das emissões do CO₂.
 Fonte: Elaboração própria a partir do JCM5 (MATTHEWS, 2006).

O N₂O não reage com as hidroxilas na troposfera, mas é destruído na estratosfera pela incidência dos raios ultravioletas e ondas curtas, tendo um tempo mínimo de ascensão até a estratosfera e um tempo de vida mínimo de 20 anos. O N₂O tem uma retro alimentação negativa, pois quanto maior suas concentrações, aumenta o NO_x estratosférico diminuindo o ozônio estratosférico e aumentando a passagem de raios ultravioletas e a decomposição do N₂O. Estima-se que para cada aumento em 10% das concentrações, o tempo de vida médio se reduza em 0,5%. A fotodissociação do N₂O é responsável por 90% da sua decomposição e atualmente tem uma vida média de 120 anos. Na Figura 3.7 analisamos as concentrações estimadas por um modelo de N₂O utilizando seis cenários de emissões do IPCC-SRES (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).

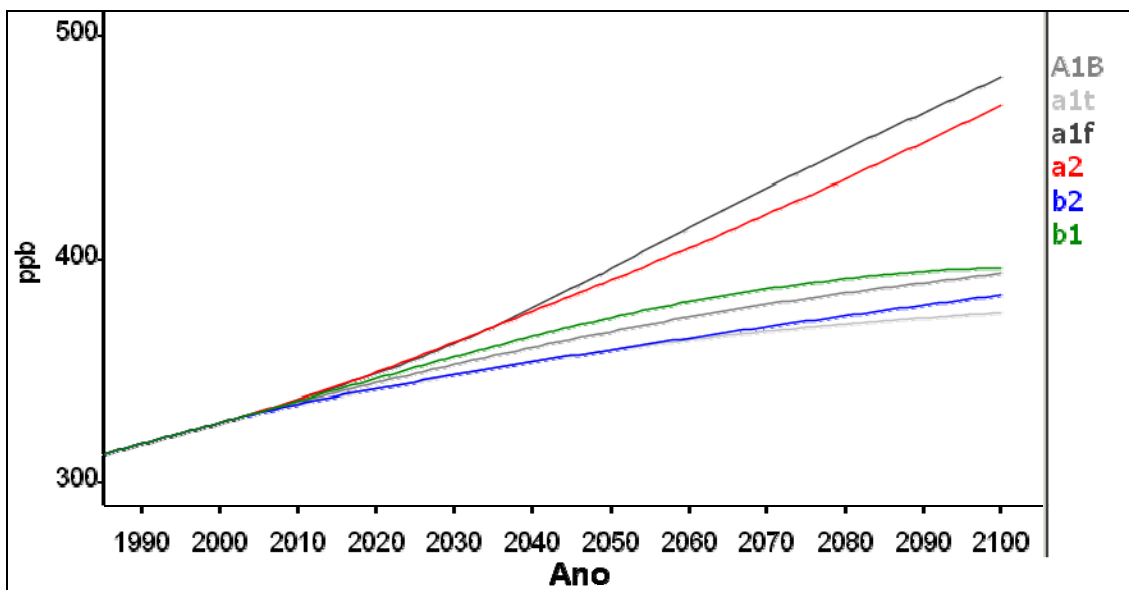


Figura 3.7 – Cenários de concentrações de N₂O
 Estimadas para seis cenários de emissões do IPCC-SRES (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).
 Fonte: Elaboração própria a partir do JCM5 (MATTHEWS, 2006).

Assim como ocorre para o CO₂, é possível utilizar a Equação 3.1 para calcular as concentrações de CH₄ e N₂O de acordo com as constantes mencionadas na tabela abaixo (IVIG-SCE, 2004):

Tabela 3.1 – Constantes para o cálculo das concentrações

Gás	1/k _i em anos	β _i
CH ₄	12	1.0
N ₂ O	114	1.0

Fonte: IPCC (2001).

O modelo de CH₄ com tempo de vida constante não leva em conta efeitos da química atmosférica que alteram o tempo de vida em 10 a 20% no passado e no futuro (e.g. hidroxilas). Embora esta alteração pareça ser grande, ainda assim o metano tem um curto tempo de vida, alterando pouco os resultados dos modelos de responsabilidade histórica.

3.1.3 Modelos de Outros Gases

Para a estimativa da temperatura média global é necessário estimar as concentrações de outros gases e o seu balanço radiativo. Os CFCs, HFCs, PFCs, SF₆ são gases sintéticos (exceto o CCl₄) utilizados principalmente como fluidos refrigeradores e propelentes que foram emitidos após a década de 30 pelos países desenvolvidos, e têm vidas médias de 45/1700, 260, >1000 e >1000 anos,

respectivamente. As emissões de CFCs estão controladas pelo Protocolo de Montreal e têm diminuído, mas estes gases têm sido substituídos por outros como os HFCs, que não destroem a camada de ozônio, mas são gases de efeito estufa poderosos. Para estes gases também é utilizada a Equação 3.1 com decaimento exponencial para cada gás definido pelo seu tempo de vida médio.

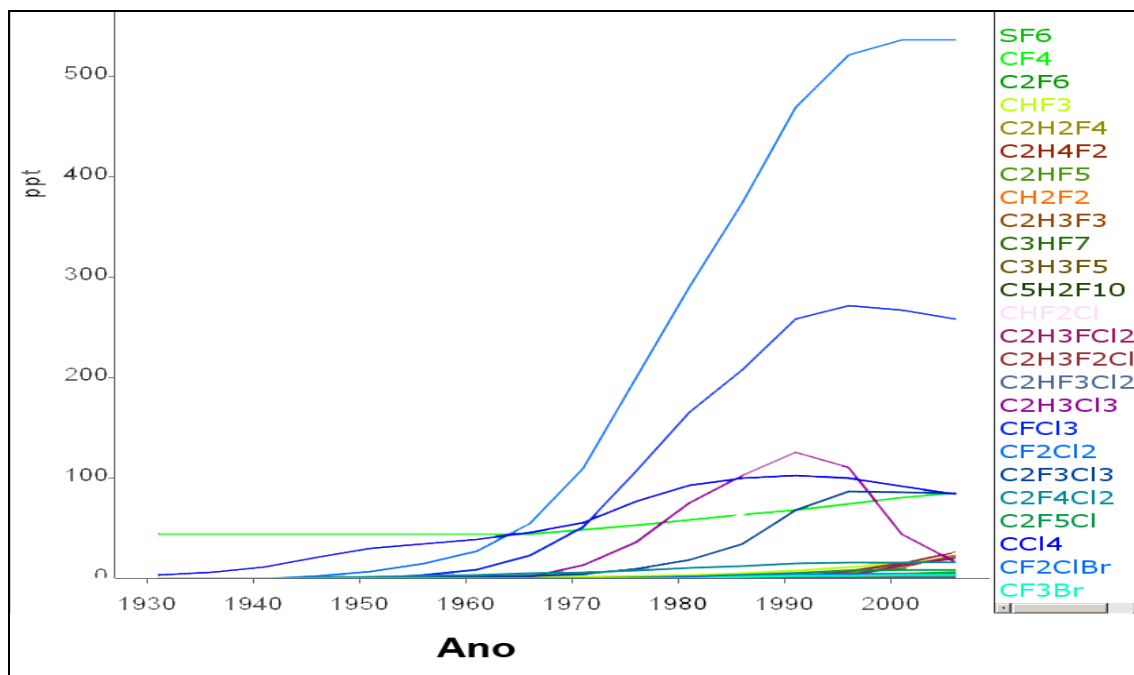


Figura 3.8 – Concentrações de F-gases
 As emissões dos F-gases são relativamente recentes e as emissões de alguns deles são controladas pelo Protocolo de Montreal.
 Fonte: Elaboração própria a partir do JCM5 (MATTHEWS, 2006).

As emissões de CFCs não são contabilizadas para o cálculo da contribuição histórica dos países para o aumento da temperatura porque não são controlados pela Convenção do Clima, mas têm uma considerável participação no balanço energético da atmosfera como veremos no próximo subitem. Os HFCs, PFCs e SF6 são controlados pelo Protocolo de Quioto, mas também não têm sido incorporados nos cálculos de responsabilidades históricas por falta de estimativas históricas por país.

3.1.4 Modelo de Forçamento Radiativo

Forçamento radiativo tem sido utilizado nos relatórios de Avaliação do IPCC para denotar uma perturbação externa imposta no balanço energético do sistema climático terrestre. Tais perturbações podem ser ocasionadas por mudanças seculares nas concentrações de espécies radiativamente ativas (e.g. CO₂ e aerossóis),

mudanças na irradiação solar incidente, ou outras mudanças que afetem a energia radiativa absorvida pela superfície (e.g. mudança no albedo terrestre). A definição teórica utilizada pelo IPCC (2001) é:

“O forçamento radiativo do sistema superfície-troposfera devido à perturbação na ou a introdução de um agente (digamos, a mudança nas concentrações de GEE) é a mudança líquida (abaixo menos acima) da irradiância (ondas solares longas; em $W.m^{-2}$) na tropopausa depois de permitir que temperaturas estratosféricas se reajustem a um equilíbrio radiativo, mas com as temperaturas da superfície e troposféricas e o estado mantido se fixem em valores constantes não perturbados.”

De acordo com o IPCC (2007), o aumento do forçamento radiativo por atividades humanas acrescentou 1,6 (+0,6 a +2,4) $W m^{-2}$ desde 1750. O aumento do forçamento radiativo do CO_2 atmosférico desde a revolução industrial foi responsável por cerca de $+1,66 \pm 0,17 W m^{-2}$, uma contribuição que domina todos os forçamentos radiativos dos outros agentes. Já o aumento das concentrações CH_4 e N_2O desde a revolução industrial contribuíram, respectivamente, em $+0,48 \pm 0,05 W m^{-2}$ e $+0,16 \pm 0,02 W m^{-2}$ (Figura 3.9).

Cabe ressaltar que os gases controlados pelo Protocolo de Montreal contribuíram com $+0,32 \pm 0,03 W m^{-2}$ do forçamento radiativo em 2005 e, apesar de suas emissões serem pequenas, o CFC-12 é o terceiro gás mais importante para o forçamento radiativo. Também importante para o balanço radiativo é a contribuição do vapor de água proveniente da redução do CH_4 , com cerca de $+0,07 \pm 0,05 W m^{-2}$ (Figura 3.9, IPCC 2007). Na Figura 3.9 apresentamos os principais contribuintes do forçamento radiativo terrestre de origem antrópica, vulcões e variabilidade solar, ao longo dos últimos 200 anos.

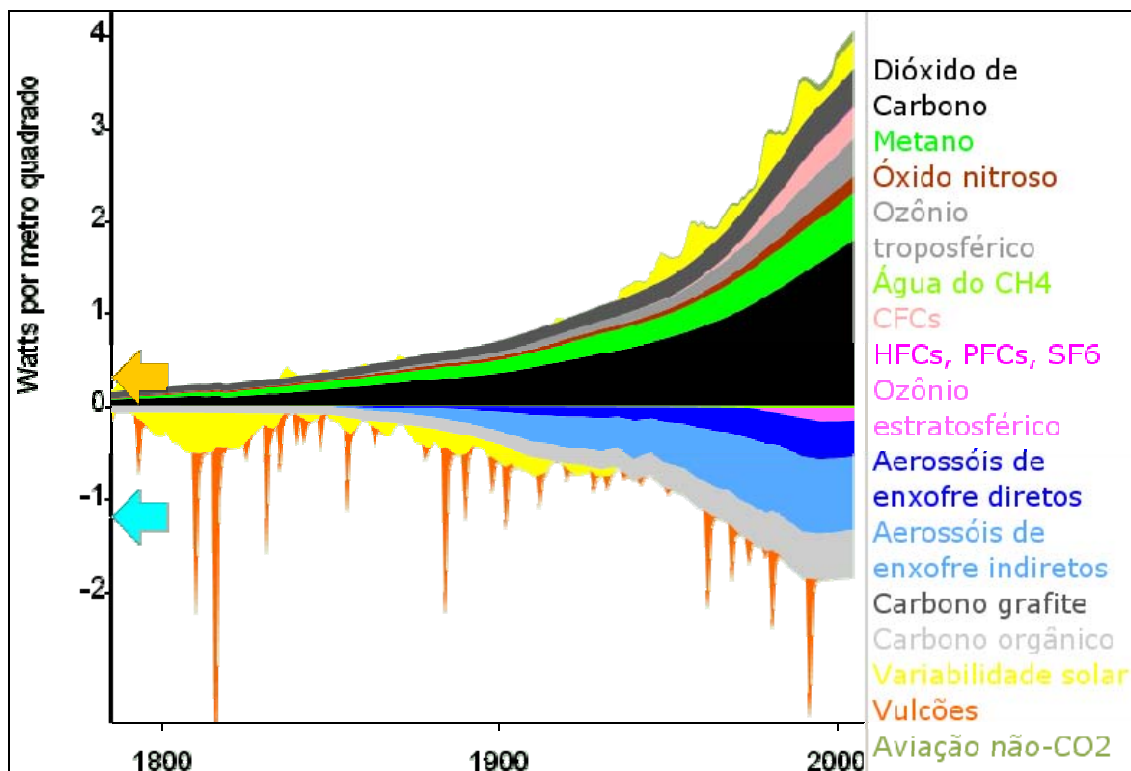


Figura 3.9 – Forçamento radiativo atmosférico histórico
 Calculada a partir de todos os contribuintes antropogênicos, vulcões e variação solar em Wm^{-2} .
 Fonte: Elaboração própria a partir do JCM5 (MATTHEWS, 2006).

O ozônio troposférico é um gás de efeito estufa de vida curta produzido por reações químicas de gases precursores com grande variabilidade espacial e temporal, principalmente o monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e formaldeído. O forçamento radiativo do ozônio troposférico em 2005 foi estimado em cerca de $+0,35$ (variando de $0,25$ a $0,65$) $W m^{-2}$.

Da Figura 3.9, percebe-se que os aerossóis contrabalançam em grande parte o forçamento radiativo dos GEE, em cerca de $-0,5 \pm 0,4$ $W m^{-2}$. Os aerossóis de sulfetos, carbono orgânico, carbono grafite contribuíram com $-0,4 \pm 0,2$ $W m^{-2}$, $-0,05 \pm 0,05$ $W m^{-2}$ e $+0,2 \pm 0,15$ $W m^{-2}$, respectivamente. Também contribuem a queima de biomassa ($+0,03 \pm 0,12$ $W m^{-2}$), nitratos ($-0,1 \pm 0,1$ $W m^{-2}$) e aerossóis minerais ($-0,1 \pm 0,2$ $W m^{-2}$) (IPCC, 2007). Entretanto este é um efeito temporário, pois o tempo de vida dos aerossóis de sulfetos é curto, cerca de 1 semana, enquanto os GEE deverão permanecer na atmosfera por décadas ou séculos.

A aviação também influi no forçamento radiativo global através da “esteira de nuvens”³⁷, além das emissões diretas de CO₂, com +0,01 (variando entre +0,003 e 0,03) W m⁻². (IPCC, 2007)

A mudança da cobertura vegetal é um fator importante no balanço do forçamento radiativo, principalmente regionalmente. O IPCC (2007) estima que o forçamento radiativo deste agente foi de +0,2 ± 0,2 W m⁻² na década de 90. Os modelos simples em geral não integram mudanças de albedo no sistema climático, mas nos modelos globais de circulação é um importante componente. As mudanças históricas de cobertura vegetal contribuíram negativamente para o aquecimento global devido à mudança de albedo nas médias latitudes; ao substituir florestas por plantações, tipicamente aumenta-se o albedo e o resfriamento; quando implantamos agricultura em terras áridas, resulta num aquecimento (FEDDEMA *et al.*, 2005, MYHRE e MYHRE, 2003). O desmatamento tropical usado para plantações diminuiu o forçamento radiativo, mas muito menos do que o ocorrido nas médias latitudes (MYHRE e MYHRE, 2003). Entretanto, este efeito pode não se repetir no futuro. DEFRIES *et al.* (2002) apresentou resultados de que em 2050 as projeções de alteração na cobertura vegetal poderão resultar num aquecimento, mas os experimentos em pequenas áreas são insuficientes.

FEDDEMA *et al.* (2005) sugere a incorporação destes efeitos nas simulações dos cenários de emissões do IPCC. BROVKIN *et al.* (2004) estima que o resfriamento global da mudança do uso da terra é maior que o aquecimento provocado por suas emissões associadas. Ainda assim, os efeitos do albedo são incertos e os efeitos regionais são compensados por efeitos globais, diluindo sua influência na temperatura média global e, portanto, tendo pouca influência para a contribuição dos países para a temperatura média global.

O impacto direto do forçamento radiativo da variabilidade solar é importante na calibração dos modelos. A principal causa da variabilidade solar é a presença de buracos solares (regiões compactas e escuras no aro solar que diminuem a radiação). Medições satelitais sugerem uma variação na irradiação solar de 0,08% (1,1 W m⁻²) no ciclo solar de 11 anos, conhecido como ciclo de Milancovich. O IPCC (2001) ressaltou o uso das curvas de HOYT e SCHATTEN (1998) ou LEAN *et al.* (1995) escalando-as, para produzir um aumento do forçamento radiativo de 0,3 W m⁻² em 2000 em relação a

³⁷ Do inglês: contrails.

1750, entretanto o IPCC (2007) reduziu estas estimativas para +0,12 (+0,06 a +0,3) W m⁻².

Como apresentado na Figura 3.9, as erupções vulcânicas explosivas aumentam significativamente as concentrações de aerossóis estratosféricos de sulfetos e enxofre, contribuindo negativamente para o forçamento radiativo, mas apenas por alguns anos.

No caso dos modelos simples lineares as relações entre forçamento radiativo e concentrações estão contidas no IPCC (2001), de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 3.2 – Constantes para o cálculo do forçamento radiativo de 3 GEE

Gás	Constante (W m ⁻² ppm ⁻¹)
CO ₂	0,0175
CH ₄	0,37
N ₂ O	3,1

Fonte: IPCC (2001).

Entretanto, como ilustrado anteriormente na Figura 1.9 da seção 1.3, as relações entre concentrações não são lineares, assim o IPCC (2001) possuem as seguintes relações para o forçamento radiativo:

CO ₂	$\Delta F = \alpha \cdot \ln\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)$	sendo que $\alpha = 5,35$
CH ₄	$\Delta F = \alpha(\sqrt{M} - \sqrt{M_0}) - (f(M, N_0) - f(M_0, N_0))$	sendo que $\alpha = 0,036$
N ₂ O	$\Delta F = \alpha(\sqrt{N} - \sqrt{N_0}) - (f(M_0, N) - f(M_0, N_0))$	sendo que $\alpha = 0,12$
, Sendo que :		
$f(M, N) = 0,47 \ln [1 + 2,01 \times 10^{-5} (MN)^{0,75} + 5,31 \times 10^{-15} M(MN)^{1,52}]$		

Equação 3.2

Onde:

- ρ – concentração de CO₂ em ppm,
- ρ₀ - 278 ppm (concentração pré-industrial),
- M – Concentração de CH₄ em ppb,
- N – Concentração de N₂O em ppb.

3.1.5 Modelo de Temperatura

O aumento da temperatura é uma resposta do sistema climático em função do forçamento radiativo terrestre. A relação não é linear e deve ser considerado o relaxamento do sistema, caso contrário a atmosfera se aqueceria indefinidamente.

Os modelos de temperatura simples são parametrizados para replicar os resultados dos modelos gerais de circulação em condições de experimento tais como a duplicação/quadruplicação das concentrações do CO₂ e a sua respectiva resposta em termos de temperatura. A temperatura do ar se estabiliza algumas décadas depois da estabilização das concentrações atmosféricas e da absorção de calor dos oceanos. A constante que regula a resposta do clima é a sensibilidade climática e o IPCC (2001) estima que seja de 2,8; porém esta questão é uma das maiores incertezas nos modelos climáticos, pois é a resposta do sistema atmosfera e oceano ao forçamento radiativo. A contribuição para o aquecimento global de qualquer gás de efeito estufa, devido a emissões antropogênicas, pode ser calculada utilizando a metodologia descrita por ROSA e RIBEIRO (2001), utilizando uma superposição de funções exponenciais com diferentes tempos de decaimento como segue (IVIG-SCE, 2004):

$$W(t) = \int_0^t dt' \left[\sum_j w_j \gamma_j e^{-(t-t')w_j} \right] N(t')$$

$$\sum_j \gamma_j = 1$$

Equação 3.3

Onde:

$W(t)$ – Contribuição para o aquecimento global de um gás (em Gg) no tempo t (em anos);

$N(t)$ – Concentração do gás (em Gg) no tempo t (em anos);

$1/w_j$ – Constante de decaimento exponencial (em anos) da fração γ_j da contribuição do gás;

γ_j – Fração da contribuição do gás que decai exponencialmente com a constante temporal $1/w_j$.

As constantes que têm sido usadas são apresentadas na tabela abaixo:

Tabela 3.3 – Constantes para o cálculo do aumento da temperatura

	$1/w_j$ em anos	γ_j
IPCC (2001)	8,4007	0,59557
	409,54	0,40443
ROSA e RIBEIRO (2001)	20	0,634
	990	0,366

O último objetivo da Convenção do Clima, definido no seu Artigo 2, é estabilizar as concentrações de GEE em níveis que impeçam a interferência antrópica perigosa no sistema. A Comunidade Européia (1996) declarou que "... acredita que a média global da temperatura não deveria exceder em 2 °C os níveis pré-industriais e que portanto níveis de concentrações inferiores à 550 ppm CO₂ deveriam direcionar

esforços de limitação global”. Isto significa que as concentrações de todos os gases devem ser estabilizadas, em particular o CO₂, CH₄ e N₂O (MATTHEWS, 2004). Os modelos simples climáticos têm sido usados para calcular o quanto isto significa em termos de concentrações e o caminho das emissões globais para alcançar esta meta.

3.1.6 Aumento do nível do mar

Outro indicador proposto de contribuição para a Mudança do Clima é o aumento do nível dos mares. É relativamente simples a inclusão do cálculo deste indicador nos modelos simples, mas não o exploramos nesta tese.

Os modelos simples de aumento do nível do mar levam em conta o poder de acumulação de energia dos oceanos, a qual tem inércia térmica e mesmo estabilizando a temperatura média global, os mares irão aumentar seus níveis durante séculos devido à expansão térmica da água e ao derretimento das calotas de gelo. Atualmente tem se verificado que o derretimento da capa de gelo na Groenlândia tem sido maior do que os modelos estavam prevendo.

3.2 ESTUDOS DE RESPONSABILIDADES HISTÓRICAS

ROSA e RIBEIRO (2001) resolveram analiticamente o modelo linear de decaimento do CO₂ e da resposta do clima, calculando as responsabilidades pelo aumento da temperatura das emissões dos combustíveis fósseis e demonstrando que as contribuições dos países em desenvolvimento em 2000 é menor do que dos países desenvolvidos (Figura 3.10).

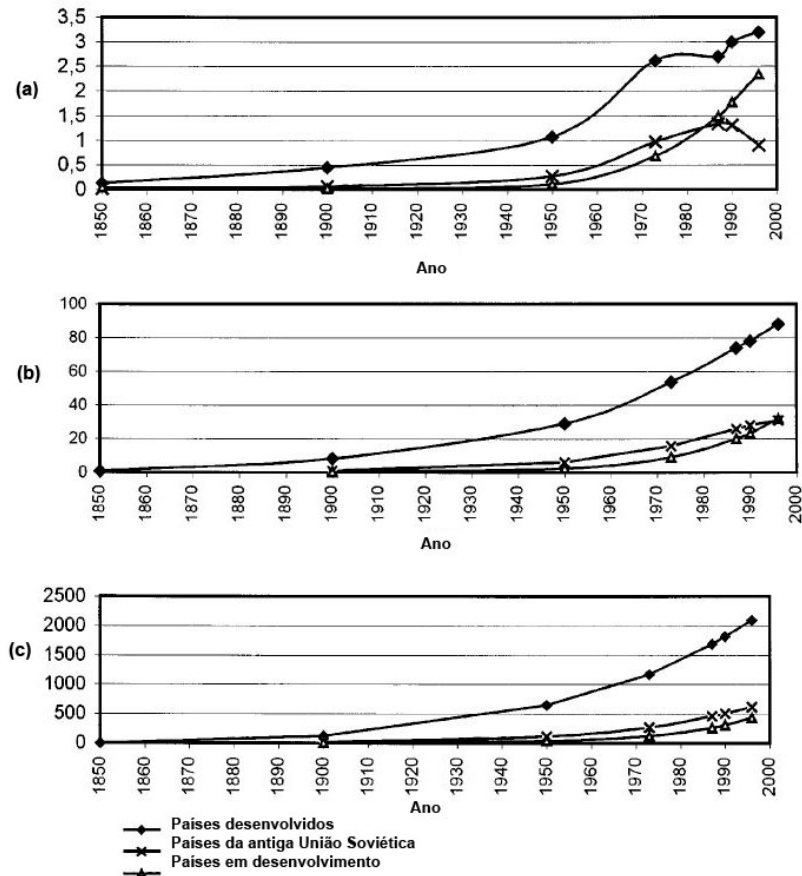


Figura 3.10 – Emissões de CO₂ de combustíveis fósseis, concentrações e aumento da temperatura
(a) Emissões de CO₂ em Gt C ano⁻¹; (b) Concentrações de CO₂ Gt C; (c) Contribuição para o aquecimento global Gt C ano.
Fonte: ROSA e RIBEIRO (2001).

No estudo de ROSA e RIBEIRO (2001) foram elaborados cenários futuros de emissões de combustíveis fósseis e concluíram que a contribuição dos países em desenvolvimento para o aumento da temperatura se equivalerá às dos países desenvolvidos por volta de 2090 ou mais, apesar das emissões anuais se equivalerem por volta 2010, 2040, 2050 de acordo com os cenários (Tabela 3.4). Estes resultados se alteram com a inclusão de outros setores e GEE na atribuição de responsabilidades como foi analisado em ROSA *et al.* (2004).

Tabela 3.4 – Anos onde as responsabilidades das emissões de combustíveis fósseis dos países em desenvolvimento se equivalerão às dos países desenvolvidos

	Emissões	Concentrações	Temperatura
Cenário I	2010	2050	2090
Cenário II	2040	2085	>2100

Fonte: ROSA e RIBEIRO (2001).

ROSA *et al.* (2004) incluíram as emissões de CO₂ do desmatamento e fizeram análises de sensibilidade dos parâmetros do modelo do ciclo do carbono e da resposta

do clima, e concluíram que as contribuições dos países desenvolvidos para o aumento da temperatura continuam sendo superiores às dos em países em desenvolvimento até 2000.

Estes são exercícios importantes, pois refutam alegações de que os países em desenvolvimento precisam começar a reduzir suas emissões junto com os demais países porque suas emissões serão maiores do que as dos países desenvolvidos antes de 2020.

HOHNE e BLOK (2005) ilustraram a relação entre emissões, concentrações, forçamento radiativo e temperatura na Figura 3.11; o CH₄, com tempo de vida relativamente curto, tem uma participação dramaticamente diferente do que a do CO₂ no sistema climático. Os resultados da Figura 3.11 exemplificam como o aumento da temperatura está comprometido nos próximos anos³⁸, pois mesmo se fosse possível suspender totalmente as emissões de CO₂ atualmente ainda haveria um aumento na temperatura nos próximos 20 anos e não haveria um decaimento rápido nos próximos 200 anos.

³⁸ Esta figura também ilustra porque o uso do GWP é questionável (ROSA e SCHAEFFER, 1995), pois enquanto o conceito de GWP utiliza o forçamento radiativo como parâmetro, a curva de temperatura tem um comportamento diferente. SHINE et al. (2005), propuseram dois novos indicadores baseados no indicador de temperatura.

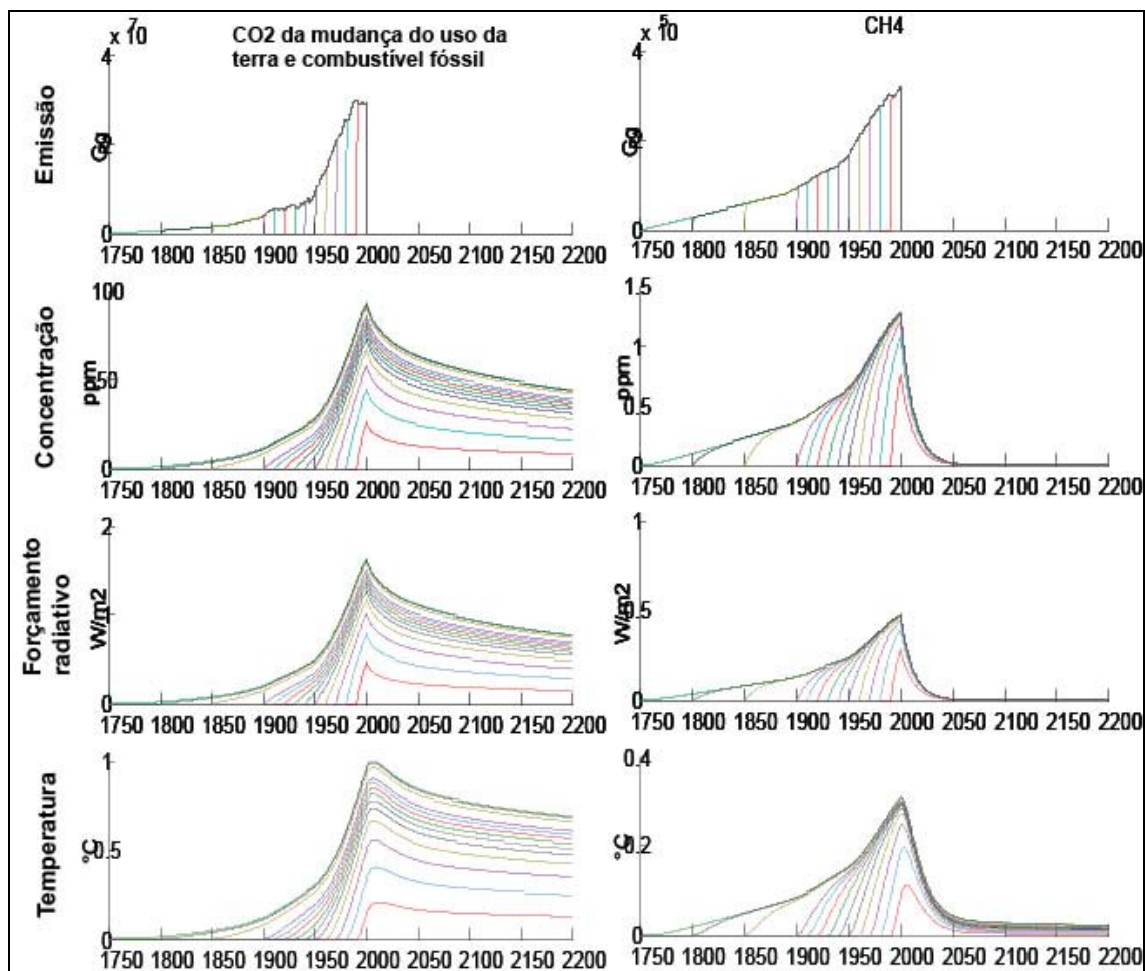


Figura 3.11 – Efeito das emissões de CO₂ e CH₄ no sistema climático

As emissões de combustíveis fósseis mais mudança do uso da terra e emissões de CH₄ no período de 1750 a 2000 têm consequências futuras nas concentrações, forçamento radiativo e temperatura. A vida média do CH₄ é muito menor do que do CO₂, refletindo no rápido decaimento das concentrações do CH₄ e forçamento radiativo, mas ainda discernível na temperatura.

Fonte: HOHNE e BLOK (2005).

Segundo HOHNE e BLOK (2005) as emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis de 1750 a 1900 contribuíram com 2,5 e 3,5%, respectivamente, do forçamento radiativo e aumento da temperatura deste gás em 2000. Quando incluídas as emissões da mudança do uso da terra, as emissões de CO₂ de 1750 a 1900 contribuíram com 7,5 e 10,3%, respectivamente, do forçamento radiativo e aumento da temperatura deste gás em 2000. Estes autores ressaltam que as emissões de CH₄ antigas têm pouco impacto nas concentrações atuais, mas um impacto discernível na temperatura, de 0,01 e 2,5%, respectivamente, para forçamento radiativo e aumento da temperatura deste gás em 2000. Emissões de N₂O têm um comportamento similar ao do CO₂ e contribuíram com 5,9 e 9,1%, respectivamente, do forçamento radiativo e aumento da temperatura em 2000.

O grupo Ad Hoc MATCH tem usado alguns modelos simples para aprimorar as estimativas de contribuições para o aumento da temperatura. O primeiro artigo publicado pelo grupo foi em 2005, (den ELZEN *et al.*, 2005a) explorando e consolidando incertezas científicas e políticas do cálculo de responsabilidades. Alguns modelos são mais complexos do que outros, mas como apresentado na Figura 3.12, a diferença entre os resultados das responsabilidades relativas entre os modelos foi pequena. A diferença entre os resultados absolutos dos modelos variam pouco entre o período de 1900 a 2010, pois estão calibrados para este espaço de tempo, mas oscilaram no futuro, pois os modelos mais complexos não são lineares, introduzindo *retroalimentações* no sistema climático (Figura 3.12).

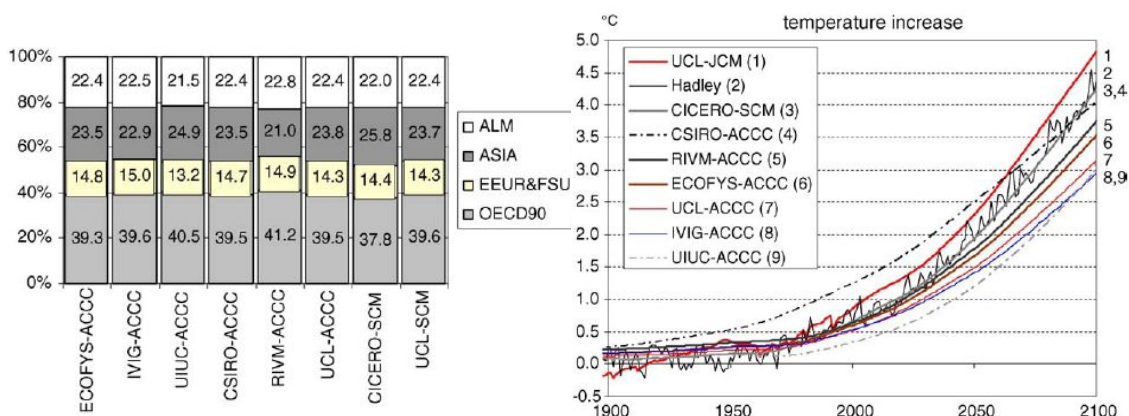


Figura 3.12 – Comparação da contribuição relativa das regiões e aumento da temperatura global

Calculando as responsabilidades históricas das emissões de CO₂, N₂O e CH₄ entre 1890-2000, o grupo MATCH concluiu que diferentes modelos simples apresentam pouca variação nas responsabilidades relativas, mas as estimativas de temperatura variam consideravelmente. ALM: África, América Latina e Oriente médio; ASIA: Ásia, EEU&FSU: oeste europeu e antiga União Soviética, OECD90: países industrializados da OECD em 1990.

Fonte: den ELZEN *et al.* (2005a).

O exemplo empregado pela proposta brasileira (UNFCCC, 1997) utilizou apenas as emissões de CO₂ do combustível fóssil, mas de acordo com den ELZEN *et al.* (2005a) este setor foi responsável por 52% do aquecimento global entre 1890 e 2000. As emissões de CO₂ da mudança do uso da terra, emissões de metano e N₂O foram responsáveis por 18, 26 e 4%, respectivamente, do aquecimento global entre 1890 e 2000 (Figura 3.13). Portanto, como previsto pela proposta do Brasil estes gases devem ser considerados.

O grupo MACTH avaliou o impacto do uso de diferentes indicadores de responsabilidade além do aumento da temperatura. A Figura 3.13 apresenta as contribuições dos setores/gases e regiões utilizando diferentes indicadores. Utilizando

o “forçamento radiativo” obtemos resultados similares à utilização das “emissões cumulativas ponderadas pelo GWP” e o “aumento da temperatura” para os setores com gases de vida longa (CO₂ e N₂O), mas não para o CH₄, que tem um tempo de vida curto. Dois fatores principais influem na diferença das contribuições das regiões utilizando diferentes indicadores: se a emissão ocorreu num passado distante ou próximo e a proporção das emissões de gases de vida curta (den ELZEN *et al.*, 2005a).

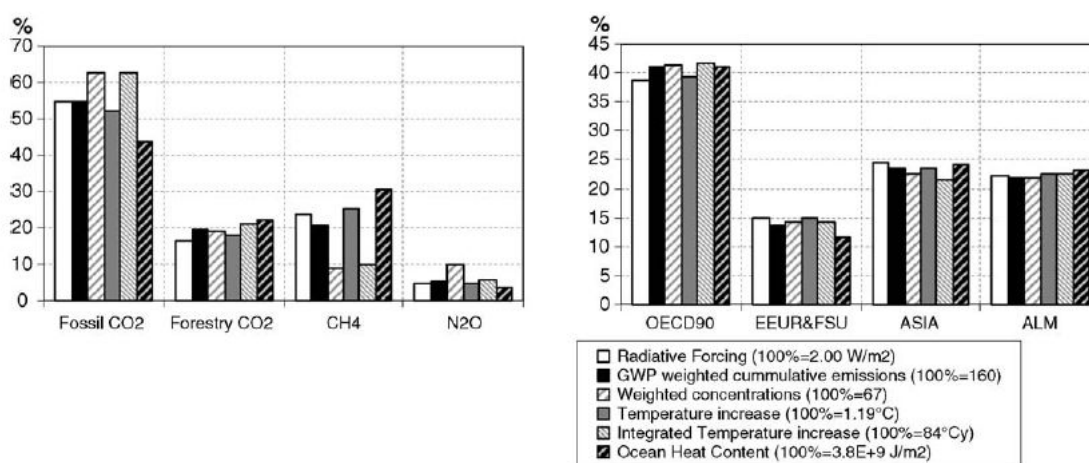


Figura 3.13 – Contribuição histórica por setor e região utilizando diferentes indicadores Calculando as responsabilidades históricas das emissões de CO₂, N₂O e CH₄ entre 1890-2000, os indicadores de responsabilidade relativa para diferentes gases apresentam diferentes respostas, mas variam pouco quando se analisam as regiões. ALM: África, América Latina e Oriente médio; ASIA: Ásia, EEU&FSU: oeste europeu e antiga União Soviética, OECD90: países industrializados da OECD em 1990.

Fonte: den ELZEN *et al.* (2005a).

Uma escolha política de mensuração de responsabilidades históricas, que tem sido avaliada pelo grupo MATCH, é o ano de início de atribuição das emissões. Este é um fator que tem grande impacto nas responsabilidades das regiões (Figura 3.14). Quanto menor o período, em geral, menor será a contribuição relativa dos países que emitiram mais no passado distante. Existem propostas que alegam que o passado mais longínquo poderia ser rejeitado e que o ano de início de atribuição poderia ser a partir de 1990, e.g. ROVERE *et al.* (2002). Como descrito pela Proposta do Brasil (UNFCCC, 1997), desconsiderar as concentrações antes de 1990, significa desconsiderar as responsabilidades históricas e tem o mesmo efeito do que aplicar uma taxa de redução equivalente para todas as regiões.

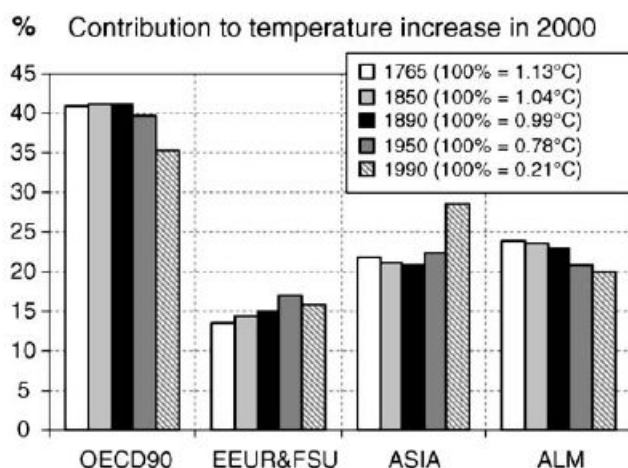


Figura 3.14 – Contribuição histórica por região com diferentes anos de início da atribuição

Calculando as responsabilidades históricas das emissões de CO₂, N₂O e CH₄ entre 1890-2000, quanto mais próximo do presente for a data de início de atribuição, menor será a responsabilidade relativa dos países desenvolvidos. ALM: África, América Latina e Oriente médio; ASIA: Ásia, EUR&FSU: oeste europeu e antiga União Soviética, OECD90: países industrializados da OECD em 1990.

Fonte: den ELZEN *et al.* (2005a).

Os modelos simples utilizam dados de forçamento radiativo das emissões de vulcões, variabilidade solar e dos aerossóis para estimar a temperatura média global. No caso dos aerossóis as estimativas do forçamento radiativo são geradas por modelos globais. Na Figura 5.5 veremos a grande participação dos aerossóis no balanço da temperatura, assim como foi detalhado no balanço do forçamento radiativo (seção 3.1.4).

As estimativas de emissões de aerossóis estão sendo aperfeiçoadas para o refinamento dos modelos regionais. ITO e PENNER (2005) estimaram as emissões de carbono grafite (“black carbon”) e material particulado orgânico de 1870-2000, utilizando imagens satelitais do período 1979-2000 e nos períodos anteriores utilizando emissões de CH₄ da mudança do uso da terra, uso de biocombustíveis, consumo de madeira para aquecimento e fornos, e consumo de combustíveis fósseis por região. BOND *et al.* (2007) estimaram as emissões de carbono grafite e material particulado orgânico entre 1850-2000 setorialmente, com reconstruções do consumo de combustível fóssil, novas estimativas de consumo de biocombustíveis e fatores de emissões de acordo com transições tecnológicas, observadas na Figura 3.15.

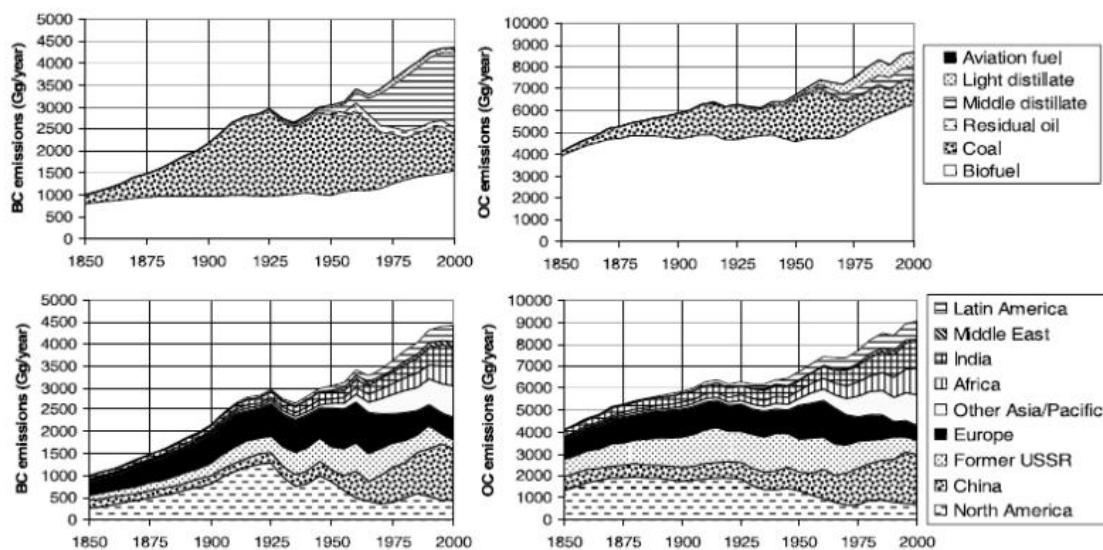


Figura 3.15 – Emissões históricas de carbono grafite e de carbono orgânico
 Emissões estão segregadas por combustível (superior) e região (inferior) e servirão para detalhar melhor o aumento de temperatura regional.
 Fonte: BOND *et al.* (2007).

As estimativas de BOND *et al.* (2007) são superiores as de ITO e PENNER (2005) até 1975, mas após têm um crescimento inferior (Figura 3.16). A diferença entre os estudos se deve à metodologia empregada, pois ITO e PENNER (2005) utilizaram estimativas de emissões da mudança do uso da terra a partir de HOUGHTON *et al.* (1983)³⁹, enquanto BOND *et al.* (2007) utilizam estimativas de FERNANDES *et al.* (2007) para as estimativas de biocombustíveis. No caso dos combustíveis fósseis a diferença entre os estudos se deve ao uso de fatores de emissões diferentes, pois ITO e PENNER (2005) utilizaram fatores constantes ao longo do tempo, exceto para os motores diesel.

³⁹ Como foi apresentado na Figura 2.7, as estimativas de HOUGHTON *et al.* (1983) foram reduzidas em mais de 50% nos seus estudos mais recentes.

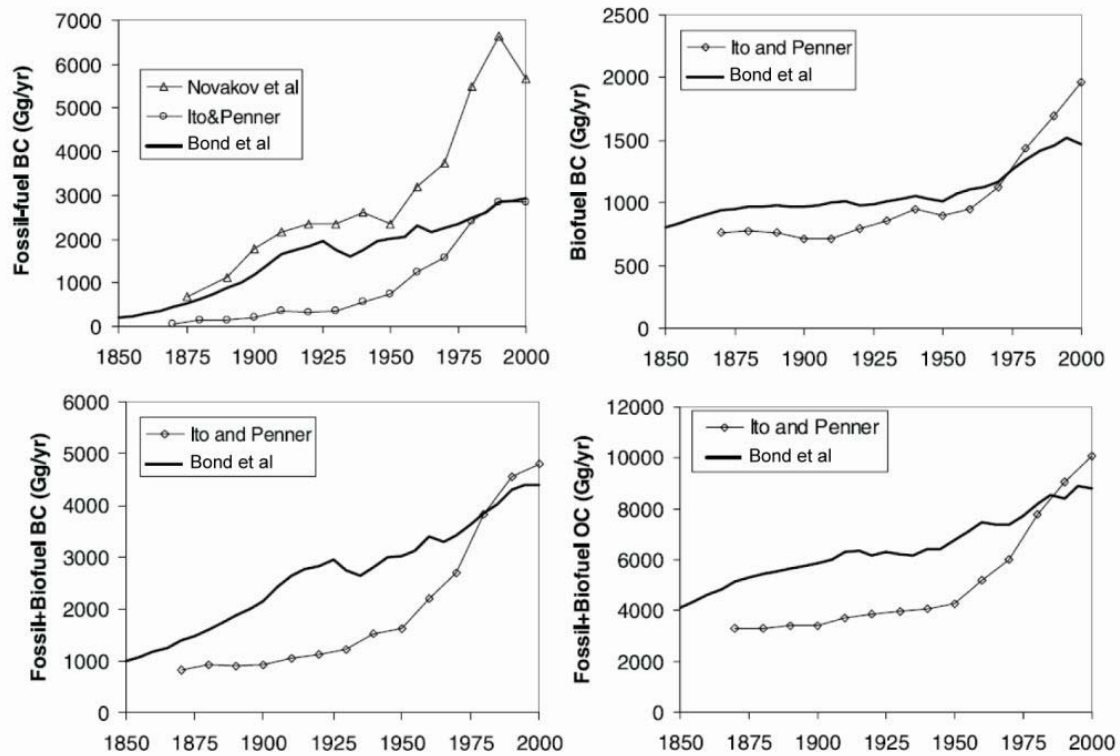


Figura 3.16 – Estimativas de emissões históricas de aerossóis do uso de combustíveis fósseis e biocombustíveis

As estimativas de BOND *et al.* são superiores as de ITO e PENNER até 1975, mas após têm um crescimento inferior. Isto se deve ao uso de fatores de emissões variáveis e fonte de dados diferentes.

Fonte: BOND *et al.* (2007).

ANDRANOVA e SCHLESINGER (2003) incluíram emissões de SO_x no seu modelo simples para avaliar a contribuição para a mudança do clima e demonstraram que, na década de 80, o forçamento radiativo negativo provocado pelas emissões de aerossóis dos países desenvolvidos (OECD90) compensou o forçamento negativo das emissões acumuladas desde 1890 de GEE, mas após a redução de suas emissões de aerossóis, restou majoritariamente o forçamento radiativo positivo, aumentando suas contribuições relativas para o aquecimento global (Figura 3.17). Entretanto, esta abordagem não é considerada válida para a atribuição das contribuições para o aumento da temperatura, pois os aerossóis têm tempos de vida muito curtos e ação regional no forçamento radiativo e nas temperaturas locais, enquanto que os gases de efeito estufa têm tempos de vida longos, impacto no forçamento radiativo global e nas temperaturas globais. Portanto, para a estimativa das contribuições para o aumento da temperatura média global, apenas os resultados globais dos aerossóis têm sido utilizados.

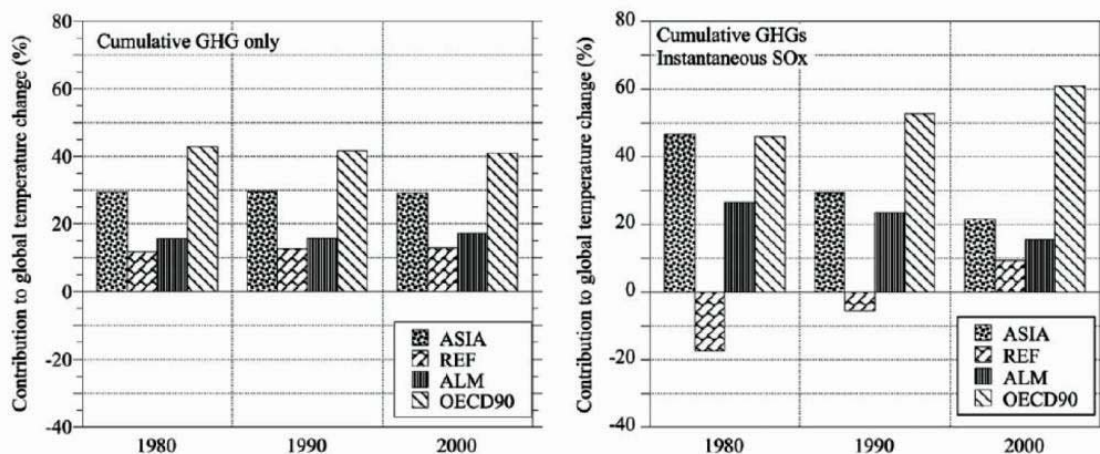


Figura 3.17 – Contribuições relativas para o aumento da temperatura com e sem a influência de SOx

O aquecimento das emissões de GEE são compensadas pelo resfriamento das emissões de SOx, mas com a redução das emissões de SOx e seu curto tempo de vida, este efeito perde validade na década de 90 e os países da OECD se tornam os contribuintes dominantes no aquecimento global. O efeito dos aerossóis é importante para o aquecimento global, mas tem um tempo de vida curto e regional.

Fonte: ANDRANOVA E SCHELINSGER (2003).

3.3 USO DO SOFTWARE STELLA®

Adaptamos o modelo de ROSA e RIBEIRO (2001) em linguagem de dinâmica de sistemas no software STELLA e os resultados foram incorporados no artigo den ELZEN *et al.* (2005a). O modelo do carbono utilizado é o modelo linear de Berna descrito no subitem 3.1.1. O modelo de aumento da temperatura é o mesmo da revisão da Proposta do Brasil apresentado no subitem 3.1.5. Foram programadas duas versões do modelo, uma para 4 regiões e outra para 13 regiões, com emissões de CO₂ de uso de combustíveis fósseis do CDIAC e EDGAR, emissões de CO₂ da mudança no uso da terra do CDIAC, EDGAR e IVIG/MEMUT-2 e emissões de N₂O e CH₄ do EDGAR 1.4. A linguagem Stella é prática para compreender as relações sistêmicas dos modelos e foi de grande importância para o aprendizado do modelo climático simples; a entrada das relações sistêmicas é feita através de uma interface gráfica (Figura 3.18) e a entrada das relações matemáticas é feita para cada relação sistêmica. Entretanto, este método não é eficiente para a entrada de diversas séries de dados como vários países, pois para cada relação matemática dever-se-ia introduzir uma referência à região em cada relação sistêmica do modelo, gerando um trabalho passível de erro e de difícil verificação. Portanto, para o cálculo das contribuições históricas para o aquecimento global por país, optamos por desenvolver um modelo programado em linguagem Java, como se verá na próxima sessão.

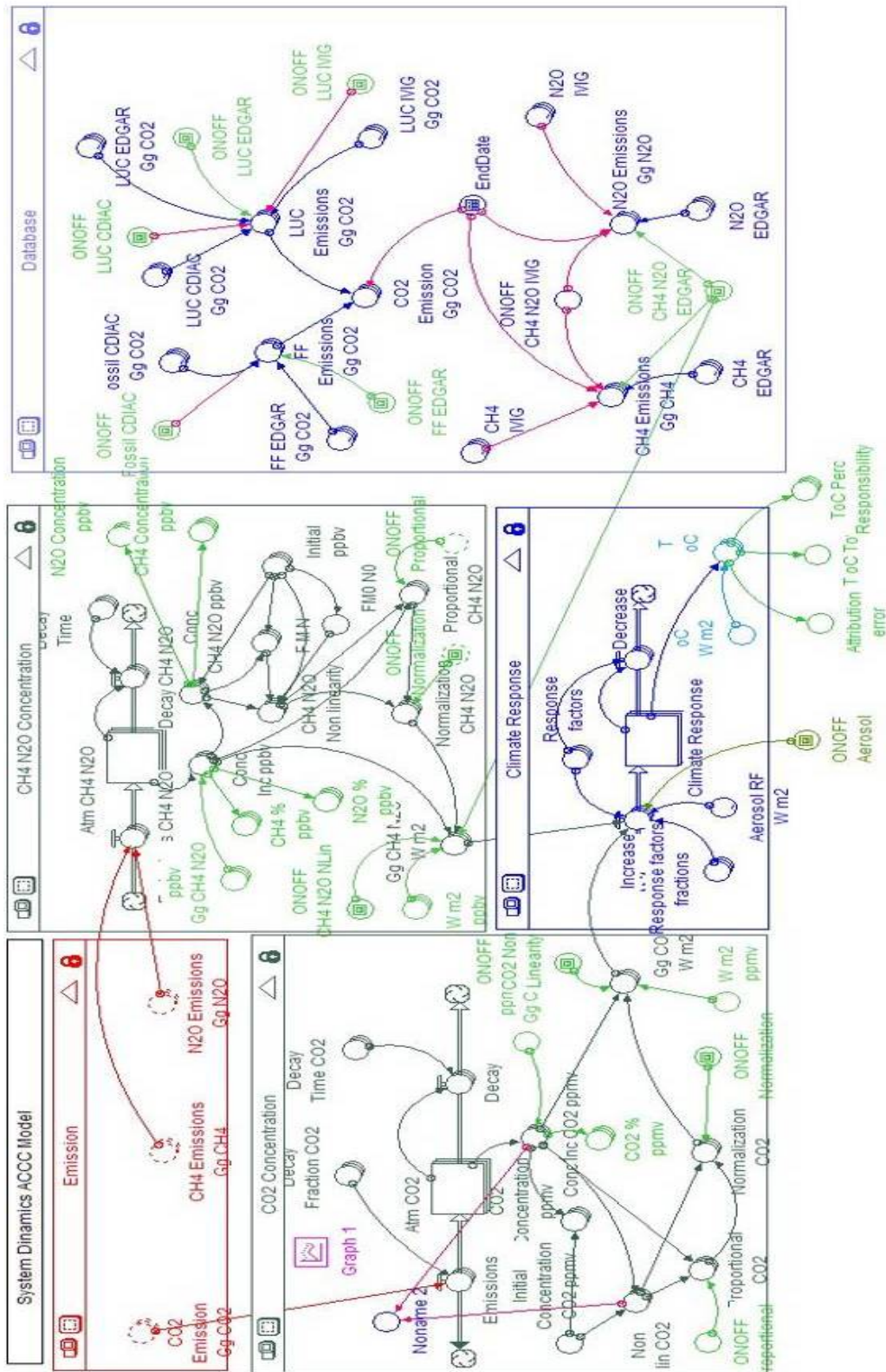


Figura 3.18 – Ilustração do modelo de contribuições para o aumento da temperatura no software STELLA®

As relações sistêmicas são representadas graficamente. As caixas representam os estoques, as setas cheias os fluxos e as setas simples as relações sistêmicas.

Fonte: Elaboração própria utilizando o software STELLA®.

A interface de controle do modelo tem chaves onde podem ser feitas combinações entre os bancos de dados, setores, anos de início/fim/avaliação das emissões, inclusão da não linearidade do forçamento radiativo do CO₂ e do N₂O/CH₄. As emissões e concentrações dos 3 GEE da modelagem são vistas instantaneamente nos gráficos de linhas à direita da Figura 3.19, enquanto que as as contribuições relativas de cada região são vistas no gráfico de colunas com suas frações percentuais indicadas no campo ao lado e a temperatura é lida em um painel acima do gráfico de barras. Análises de sensibilidade dos parâmetros podem ser programadas ou serem feitas automaticamente utilizando o campo “Sensi Specs...”. É possível obter qualquer resultado em forma numérica e percentual nos campos “All Abs Results” e “All % Results”. A figura abaixo ilustra a interface gráfica com o usuário.

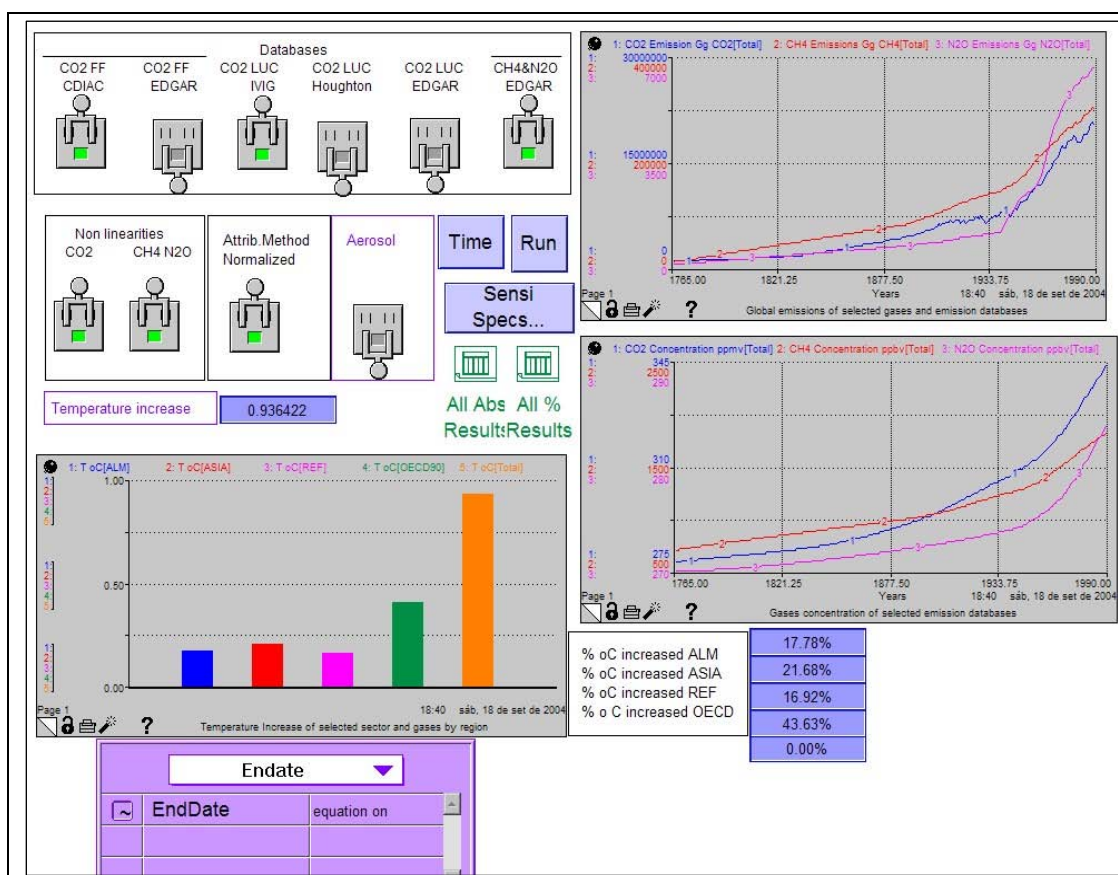


Figura 3.19 – Ilustração da interface gráfica do usuário do modelo programado no software STELLA®

No modelo programado no STELLA® pode-se calcular as responsabilidades absolutas e relativas das regiões variando bancos de dados e relações não lineares do forçamento radiativo.

Fonte: elaboração própria utilizando o software STELLA®.

3.4 JAVA CLIMATE MODEL 5 – JCM5

O modelo Java Climate Model – JCM – vem sendo desenvolvido desde 2000 pelo Dr. Ben Matthews da Inglaterra, com o intuito de facilitar o diálogo global em relação à Mudança do Clima. Evitar uma interferência antropogênica perigosa no sistema climático requer o balanço entre riscos, valores de julgamento e vem se mostrando extremamente complexo, *e.g.* a dificuldade dos EUA em entrar no Protocolo de Quioto. Os modelos climáticos podem prover um sistema quantitativo para ajudar a resolver os efeitos complexos e processos interativos. Ainda que estes modelos sejam caixas pretas para a maior parte das pessoas, são necessários para implementar qualquer acordo global que requeira o engajamento de cidadãos do mundo todo.

O modelo climático simples JCM foi programado em linguagem Java para ser interativamente utilizado abertamente através da internet para diversos propósitos, *e.g.* cursos virtuais da Universidade das Nações Unidas utilizam este modelo. Portanto, o JCM é uma ferramenta gratuita, de código fonte aberto, que tem o objetivo de ajudar na democratização da ciência do clima, de facilitar o diálogo global, possibilitar exploração de opções de políticas de mitigação e incertezas científicas dos parâmetros do modelo climático (MATTHEWS, 2006).

O modelo JCM utilizado nesta tese foi o da versão 5, doravante JCM5. O modelo de carbono utilizado no JCM5 é o modelo completo de Berna, descrito no subitem 3.1.1, utilizando a parametrização do IPCC (2001). Os parâmetros físicos e a retroalimentação da temperatura são ajustáveis de acordo com a lista e os seus valores padrão em parênteses:

- ✓ Fator de difusão de vorticidade dos oceanos (1);
- ✓ Fator de mistura horizontal dos oceanos (1,85);
- ✓ Taxa de mistura vertical dos oceanos (440 mm ano⁻¹);
- ✓ Taxa de mistura dos oceanos nas altas latitudes (38 mm ano⁻¹);
- ✓ Fator de fertilização de CO₂ (beta) (0,28);
- ✓ Fator entre temperatura e respiração - Q10 (1,2).

Os oceanos têm uma grande capacidade de estocar carbono, mas a taxa de mistura entre as águas superficiais e profundas é muito lenta. A absorção depende diretamente do fator de difusão de vorticidade dos oceanos e da taxa de mistura dos oceanos nas altas latitudes, mas o fator de mistura vertical e horizontal dos oceanos pouco influi na taxa de absorção do carbono. O fator Q10 é um fator retroalimentação temperatura-respiração, ou seja, do modelo climático e do carbono, onde maiores

temperaturas diminuem a capacidade de absorção do carbono. Na Figura 3.20 apresentamos as adições antropogênicas aos estoques naturais de carbono do modelo de Berna de acordo com JCM5 (MATTHEWS, 2006).

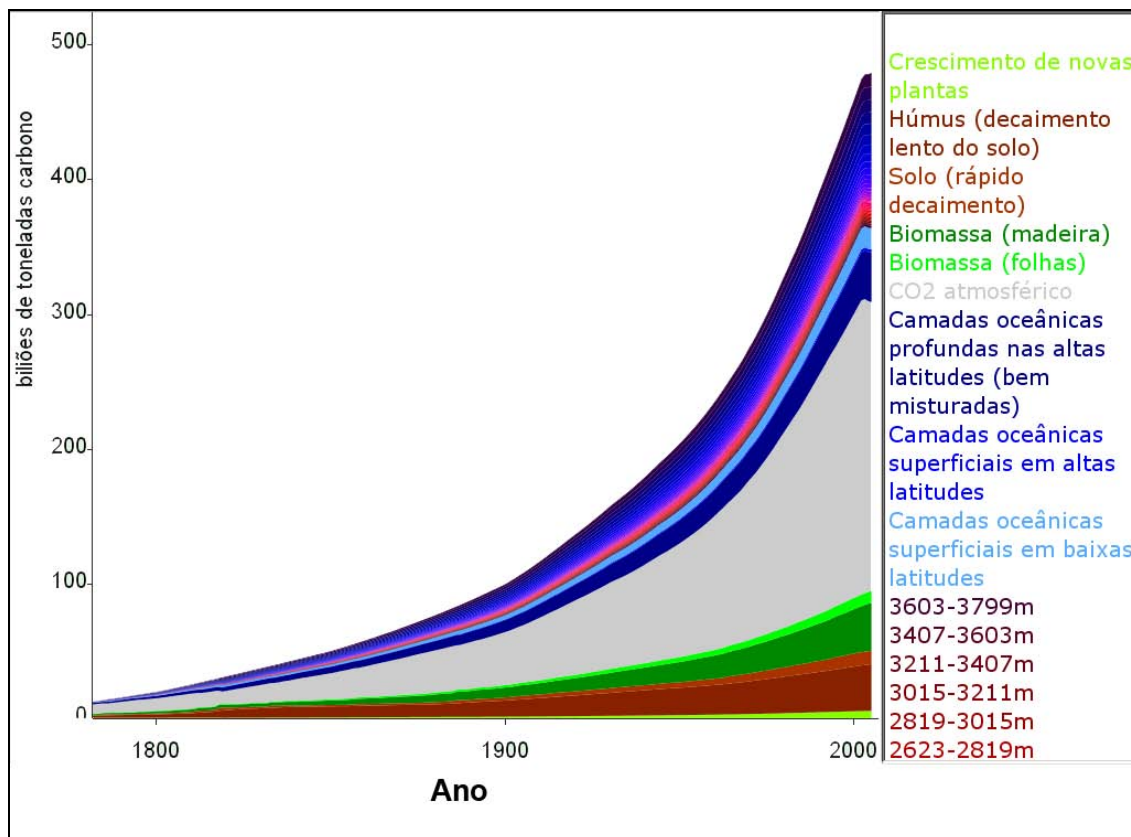


Figura 3.20 – Estoques de carbono de origem antropogênica nos reservatórios do modelo de Berna

A atmosfera está concentrando a maior parte do carbono de origem antropogênica e através de processos naturais este carbono está sendo capturado e conduzido às camadas oceânicas mais profundas.

Fonte: elaboração própria a partir do JCM5 (MATTHEWS, 2006).

O modelo climático UDEB (RAPER *et al.*, 2001) é o utilizado no JCM5 (MATTHEWS, 2006). Este modelo tem quatro caixas representando a atmosfera nos hemisférios norte, sul, oceano e continente. A quinta caixa é a dos oceanos com cerca de 80 camadas de propagação da energia. Os parâmetros são ajustáveis independentemente ou pré-definidos de acordo com 7 modelos de circulação global (GFDL, CSIRO MK2, HadCM3, HadCM2, ECHAM4/OPYC, CSM, DOE PCM, IPCC SAR), como descrito no apêndice 9.1 do IPCC (2001). Estes parâmetros são:

- ✓ Sensitividade do clima (3 °C);
- ✓ Condutividade terra-oceano (0,5);
- ✓ Condutividade norte-sul (0,5);
- ✓ Razão da temperatura terra-oceano (1,4);
- ✓ Razão do sumidouro da temperatura polar (0,2);

- ✓ Forçamento radiativo para 2 x CO₂ (3,74 W m⁻²);
- ✓ Parâmetro mar-gelo (1,25);
- ✓ Difusão vertical de vorticidade (1,9 cm² segundo⁻¹);
- ✓ Profundidade da camada mista (60 m);
- ✓ Temperatura que o upwelling⁴⁰ é reduzido (25 °C);
- ✓ Taxa de upwelling antes de mudar temperatura (4 m ano⁻¹);
- ✓ Proporção do upwelling afetado pela temperatura (0,3).

O parâmetro de sensibilidade do clima é a incerteza mais importante nos modelos. Ela é definida pelo aumento da temperatura global por a duplicação das concentrações de CO₂. Esta sensibilidade leva em consideração o processo de retro alimentação do sistema climático como o vapor d'água, nuvens e albedo da neve. Os fluxos superficiais dependem da condutividade terra-oceano e norte-sul, que são um pouco arbitrários, mas com pouco impacto na temperatura média global. O forçamento radiativo dos aerossóis e gases de curta vida não é uniformemente distribuído, e.g. a maior parte do resfriamento está na caixa relativa aos continentes. O ozônio troposférico e hidroxilas são parametrizadas em função do NO_x, CO, compostos orgânicos voláteis e metano de acordo com o IPCC (2001).

O modelo JCM5 utiliza os cenários A1F, A1T, A1B, B1 e B2 de emissões de GEEs do IPCC-SRES (NAKICENOVIK *et al.*, 2000) para estimar as concentrações destes gases, seus forçamentos radiativos, aumento da temperatura média global e aumento do nível do mar entre outros parâmetros, e.g. concentração de hidroxilas, pH do mar, impactos regionais da Mudança do Clima utilizando resultados de modelos de circulação globais – GCMs.

O JCM5 pode ser utilizado para calcular cenários futuros de estabilização de emissões, concentrações, forçamento radiativo, temperatura e nível do mar em relação a um ano base (MATTHEWS e van YPERSELE, 2003; MATTHEWS, 2004); uma vez escolhido o indicador que se deseja estabilizar, todos os outros indicadores são calculados. Por exemplo, se desejarmos estabilizar a temperatura média global, o JCM5 calcula o forçamento radiativo necessário, as concentrações de GEEs – Figura 3.21 – e a trajetória global de emissões dos GEEs – Figura 3.22 . A combinação da trajetória global de emissões com a linha de base de um dos cenários de emissões do IPCC-SRES (NAKICENOVIK *et al.*, 2000) gera um fator de escalonamento que é aplicado para cada região do IPCC-SRES, recalculando proporcionalmente o quanto cada região deveria reduzir suas emissões.

⁴⁰ Processo natural onde ocorre uma subida das águas profundas.

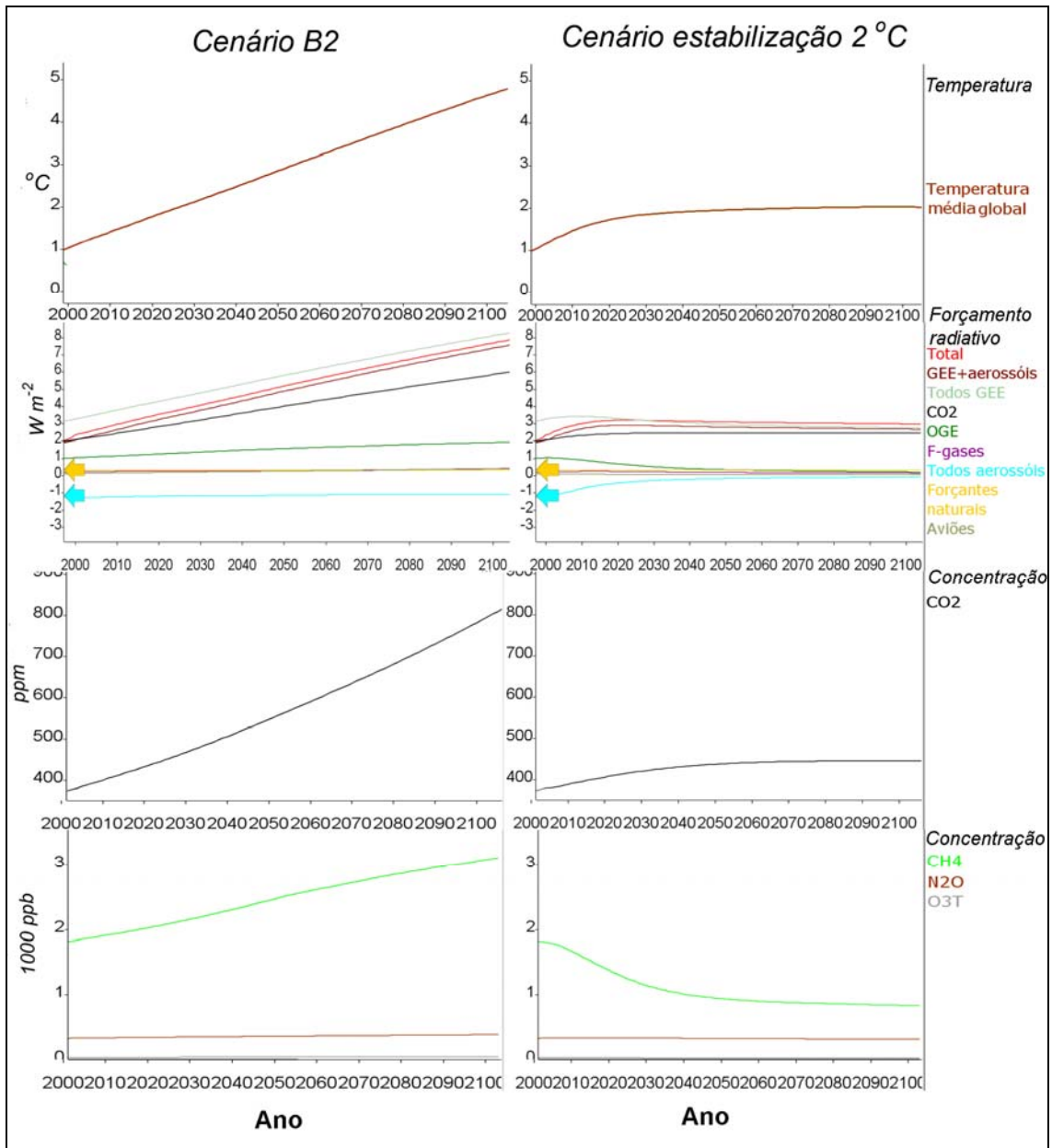


Figura 3.21 – Resultados de forçamento radiativo e concentrações do JCM5 com cenários de emissões B2 e de estabilização da temperatura
 Coluna da esquerda são os resultados do modelo para o Cenário B2 do IPCC-SRES e a coluna da direita o cálculo do modelo para estabilização em 2 °C.

Fonte: Elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

O JCM5 adota a hipótese de redução proporcional em relação à linha de base para estabilizar o forçamento radiativo com vários gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O), mas também tem funções econômicas de bem estar para calcular a distribuição das reduções das emissões de GEEs. Outros modelos também levam em consideração custos marginais de abatimento de emissões de CO_2 , CH_4 e N_2O , e.g. MEINSHAUSEN *et al.* (2006), mas são dependentes de curvas custos de abatimento.

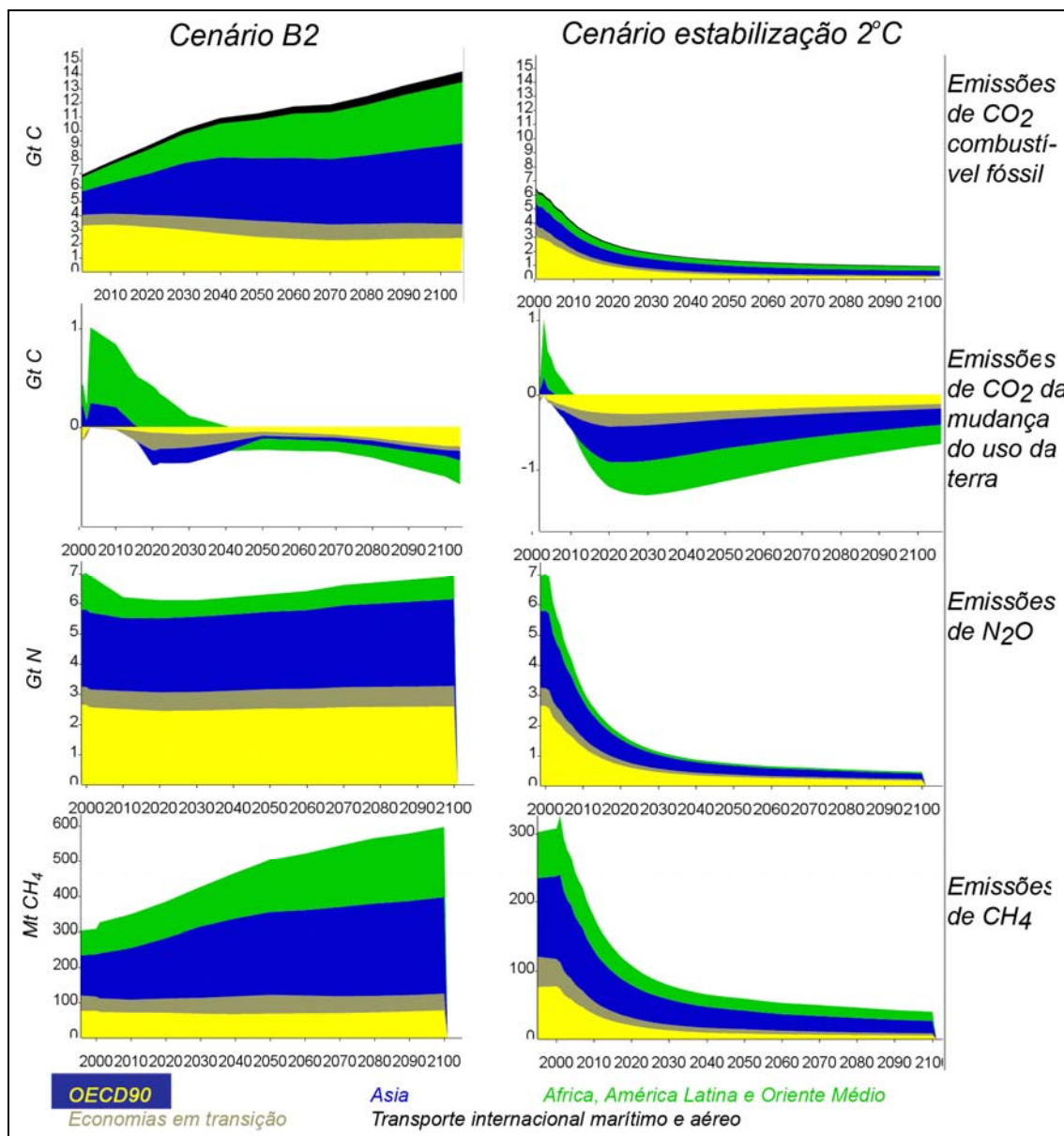


Figura 3.22 – Resultados de emissões de CO₂, CH₄ e N₂O do JCM5 com cenários de emissões B2 e de estabilização da temperatura
 Coluna da esquerda as emissões do cenário B2 do IPCC-SRES e a coluna da direita o cálculo do modelo para estabilização em 2 °C.

Fonte: Elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

Como podemos notar na Figura 3.22 acima, para estabilizarmos a temperatura em 2°C é preciso fazer um grande esforço global antes de 2020.

3.4.1 Estimativas de emissões por país

Para atribuir as contribuições das emissões históricas dos países para o aquecimento global, precisamos estimar as emissões históricas de GEEs e avaliar o

seu impacto no modelo climático. Além das emissões históricas por país de CO₂ do consumo de combustíveis fósseis e da mudança do uso da terra por país na literatura científica, foi preciso desenvolver metodologias para estimar as emissões de CH₄ e N₂O por país, pois estas emissões corresponderam, respectivamente, a 26 e 4% do aumento da temperatura do período 1890-2000 em 2000 (den ELZEN *et al.*, 2005a). Portanto, desenvolvemos no JCM5 (MATHEWS, 2006) uma metodologia para transformar séries de dados disponíveis em nível de regiões para nível de países, ou uma redução (“*downscaling*”) de regiões maiores para regiões menores. Portanto, adotamos a seguinte formulação matemática:

$$E_{i,t} = E_{j,t}^B \times \frac{E_{i,t'}^A}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{i,j,t'}^A}$$

Equação 3.4

Onde:

- E = emissão (e.g. Gg CO₂);
- i = país;
- t = ano;
- t' = ano base;
- A = dados por país;
- B = dados por região.

As estimativas de emissões de CH₄ e N₂O entre 1890-1990 derivaram do EDGAR-HYDE 1.4 com 13 regiões. A Agência Norte Americana de Meio Ambiente (USEPA, 2003) tem um estudo em que estimou linhas de bases emissões de CH₄ e N₂O de 96 países para o período de 1990-2020 utilizando os inventários nacionais, quando disponíveis, interpolações lineares para preencher as lacunas e projeções para cada país até 2020. Quando não existiam informações dos países a USEPA (2003) utilizou as diretrizes de inventários do IPCC (1995) para estimar as emissões. A Figura 3.23 e a Figura 3.24 ilustram as estimativas da USEPA (2003) dos 10 países que mais emitem CH₄ e N₂O.

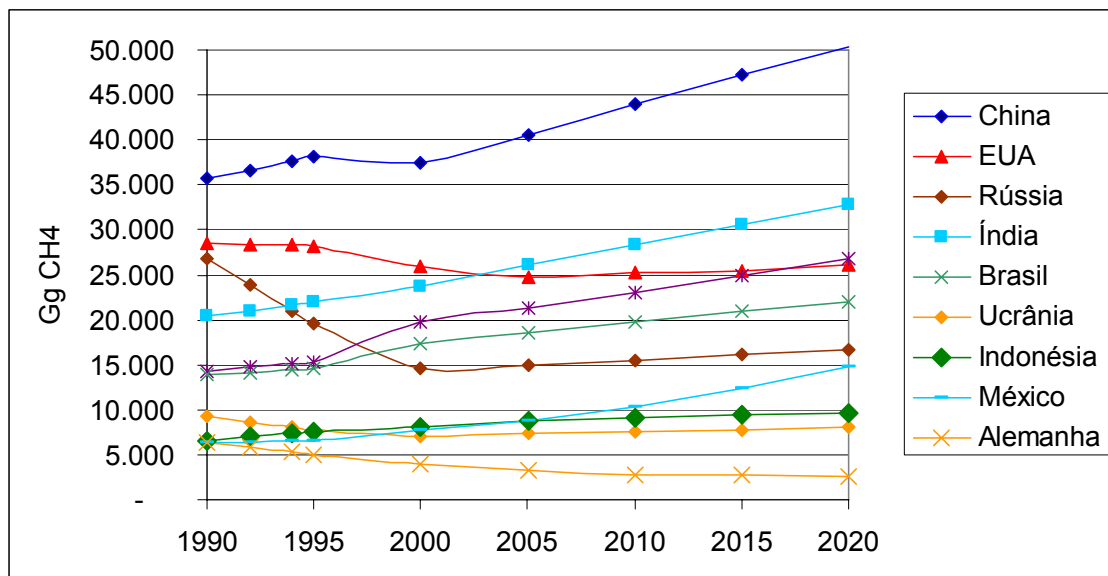


Figura 3.23 – Estimativas e cenários de emissões de CH₄ de 1990 à 2020 por país
 A China é o maior emissor de CH₄ do mundo, mas na década de 80 estava próxima dos EUA que tem diminuído suas emissões, ao contrário dos países em desenvolvimento.
 Fonte: USEPA (2003).

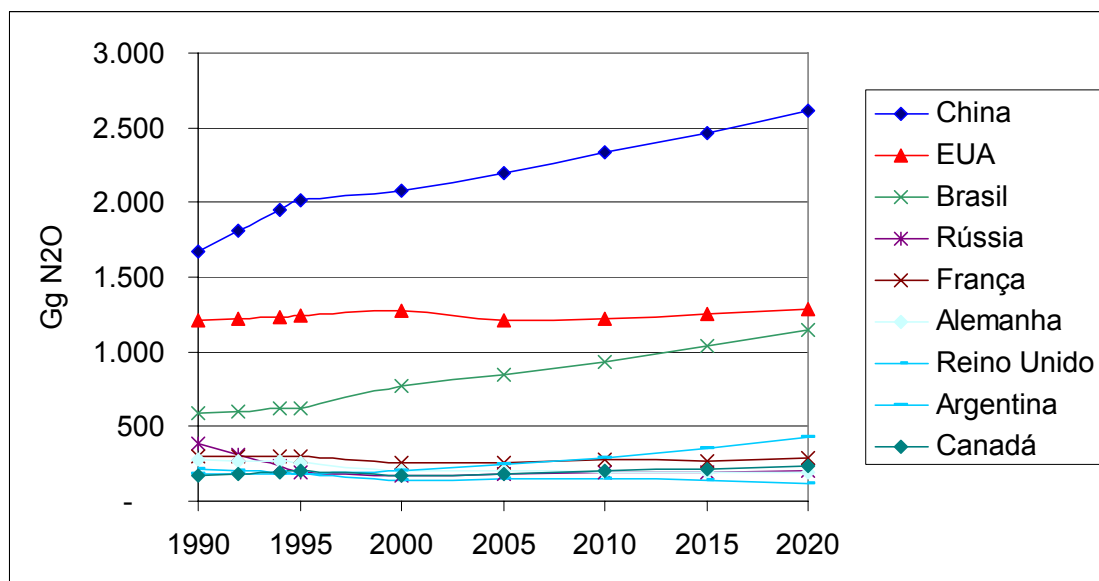


Figura 3.24 – Estimativas e cenários de emissões de N₂O de 1990 à 2020 por país
 A China é o maior emissor de N₂O do mundo, mas na década de 80 estava próxima dos EUA. Para o Brasil as estimativas é de crescimento contínuo nas emissões de N₂O.
 Fonte: USEPA (2003).

Comparando os dados de alguns países da USEPA (2003) com os inventários nacionais de emissões, concluímos que há uma incerteza de 25% nas estimativas de emissões do CH₄ e aproximadamente 50% para o N₂O como é apresentado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Cálculo da incerteza das estimativas de emissões dos maiores emissores de CH₄ e N₂O em relação aos inventários da UNFCCC

Gás	País	USEPA		UNFCCC		Erro 1990	Erro 1992 / 1994 / 1995*
		1990	1992 / 1994 / 1995*	1990	1992 / 1994 / 1995*		
CH ₄ (Gg)	China	35.668	37.687		34.290		(9,0%)
	EUA	28.538	28.234	29.432	28.997	3,1%	2,7%
	Rússia	26.740	19.505	27.000		1,0%	
	Índia	20.411	21.622		18.083		(16,4%)
	Brasil	13.865	14.399	10.637	11.316	(23,3%)	(21,4%)
	Indonésia	6.579	7.358	5.468	6.409	(16,9%)	(12,9%)
	México	6.339	6.495	5.074	5.724	(19,9%)	(11,9%)
	Alemanha	6.316	5.002	4.752	3.893	(24,8%)	(22,2%)
	Austrália	5.434	5.363	5.690	5.715	4,7%	6,5%
	Argentina	3.718	3.930	3.622	4.159	(2,6%)	4,4%
	Canadá	3.699	5.661	4.066	5.709	9,9%	0,8%
	França	3.332	3.324	3.273	3.311	(1,8%)	(0,4%)
	África do Sul	2.404	2.392	2.053	2.057	(14,6%)	(14,0%)
	Cazaquistão	2.388	2.228	2.777	2.457	16,3%	10,3%
Reino Unido	3.691	3.144	3.256	2.717	(11,8%)	(13,6%)	
N ₂ O (Gg)	China	1.675	1.946		850		(56,3%)
	EUA	1.210	1.238	1.274	1.465	5,2%	18,3%
	Brasil	589		470	533	(20,1%)	(13,7%)
	França	301	298	310	303	3,1%	1,7%
	Alemanha	278	260	273	251	(1,8%)	(3,7%)
	Reino Unido	218	184	221	184	1,0%	0,2%
	Argentina	182	186	176	184	(3,3%)	(1,8%)
	Canadá	168	202	153	206	(9,3%)	2,3%
	Índia	164	173		178		3,1%
	Japão	129	130	106	108	(18,0%)	(16,9%)
	Indonésia	117	118	61	61	(47,9%)	(48,3%)
	África do Sul	77	69	75,16	66,7	(1,9%)	(3,1%)
	Cazaquistão	72	63	87	81	20,4%	28,5%
	Austrália	66	71	60	67	(8,9%)	(7,9%)
México	64	58	33	32	(47,7%)	(43,7%)	

Obs.: Não existe uniformidade nos anos das emissões declaradas pelos países para a UNFCCC. Para o ano de 1990, Rússia, Índia e China não declaram. Para o ano de 1992, Cazaquistão declarou; 1994 – China, Índia, Brasil, Indonésia, México, África do Sul e Argentina declararam; 1995 – EUA, Alemanha, Austrália, França, Canadá e Reino Unido. Os países desenvolvidos têm declarado anualmente suas emissões até o presente e os países em desenvolvimento possuem poucas declarações para a UNFCCC.

Fonte: Elaboração própria a partir de USEPA (2003) e UNFCCC.

Para os cenários de emissões de 1990-2100 do IPCC-SRES (NAKICENOVIK *et al.*, 2000) com 4 regiões foi adotada a mesma metodologia de redução de regiões utilizadas para as estimativas históricas de CH₄ e N₂O. O setor da mudança do uso da terra é mais complicado, pois as emissões podem ser negativas. Portanto, desenvolvemos junto com o Dr. Ben Matthews e o Dr. Jean-Pascal van Ypersele o

conceito de “sumidouro potencial da mudança do uso da terra”, simplesmente assumindo que maior a quantidade de CO₂ que um país emitiu no passado, maior será o potencial que ele tem para absorver através do reflorestando de seus biomas. Como o sumidouro potencial da mudança do uso da terra depende das emissões passadas, isto destaca as diferenças entre diferentes estimativas históricas de emissões. É claro que um modelo mais sofisticado deve levar em consideração retroalimentações e mudança na demanda de agricultura etc., mas esta é uma primeira aproximação para o escalonamento que nunca foi feito. Assim, foram aplicadas as seguintes fórmulas para o cálculo de cenários de emissões de mudança do uso da terra de um país em função de uma estimativa regional:

$$\begin{aligned}
 E_{t,r} &= S_{t,r} + (1 - fc) \times (E_{t-1,r} - S_{t-1,r}) \\
 E_{t,y} &= p_{t,y} + fe \times (E_{t_0,y} - p_{t_0,y}) \times \frac{(E_{t,r} - p_{t,r})}{(E_{t_0,r} - p_{t_0,r})} \\
 p_{t,y} &= fp \times \sum_{1750 \text{ a } t-1} E_{t,y}
 \end{aligned}$$

Equação 3.5

Onde:

- t = ano,
- t₀ = último ano com dados (*na prática, uma média ponderada dos últimos cinco anos é usada para t₀, para suavizar os picos de emissões*);
- y = país;
- r = região (SRES) que contém o país p;
- E = emissões da mudança do uso da terra;
- S = emissões da mudança do uso da terra dos cenários SRES;
- p = emissão potencial da mudança do uso da terra (sempre negativa);
- fc = fator de convergência (aqui 0,05);
- fp = fator potencial de mudança do uso da terra (aqui 0,01);
- fe = fator de escalonamento (aqui 1, mas <1 para cenários de mitigação).

4 RESULTADOS E ANÁLISES DO MODELO DE EMISSÕES DA MUDANÇA DO USO DA TERRA

A força motriz da mudança do uso da terra usado das estimativas de emissões do IVIG/MEMUT-2 são as taxas mudança das áreas de agricultura e pastagem providas pelo HYDE 2.0 até 1960 e dados da FAO entre 1961-2002. As três maiores taxas de expansão de área de agricultura foram de 900.000 km² entre 1900-1850, de 500.000 km² entre 1950-1900 ambas nos EUA e de 400.000 km² na Rússia entre 1950-1900 (Figura 4.1). A expansão da agricultura está associada a maiores emissões de C presente no solo do que a expansão da pastagem.

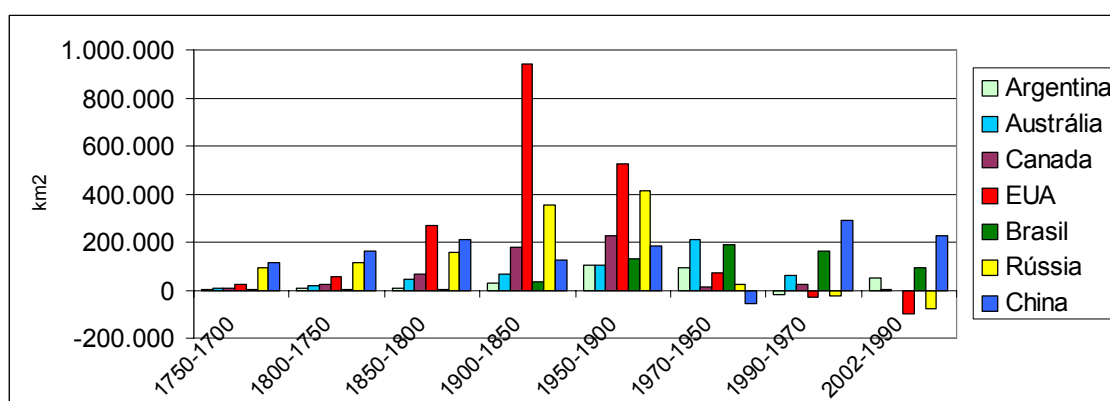


Figura 4.1 – Maiores taxas históricas de expansão da agricultura
As maiores conversões de biomas naturais para agricultura ocorreram entre 1950-1850 nos EUA e Rússia.

Fonte: IVIG/MEMUT-2.

A expansão da pastagem tem menores emissões de carbono no solo e as maiores conversões de biomas naturais foram para pastagens, porém são em geral alocadas em áreas de savanas, onde as três maiores taxas de expansão foram de mais de 1.500.000 km² na Austrália entre 1950-1900, 1.300.000 km² na China entre 1990-1970 e 900.000 km² entre 1900-1850 na Austrália e nos EUA (Figura 4.2).

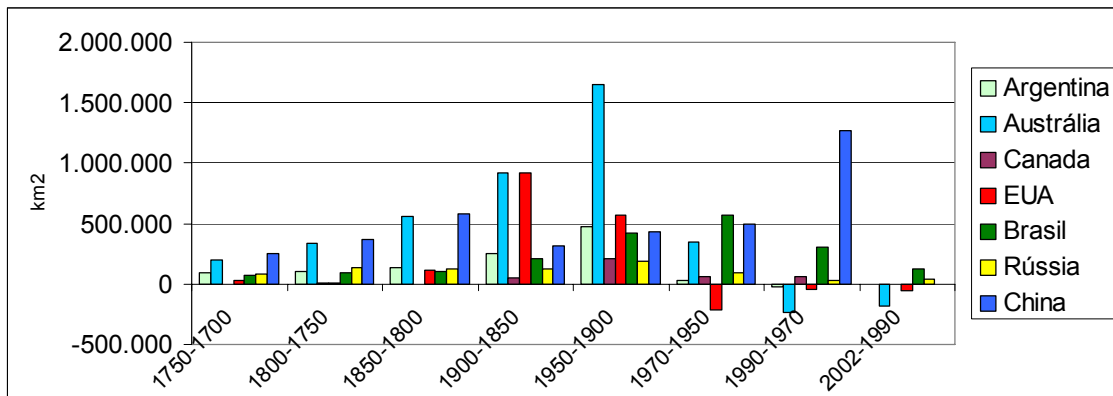


Figura 4.2 – Maiores taxas históricas de expansão da pastagens
 As maiores conversões de biomas naturais para pastagem ocorreram entre 1950-1900 na Austrália e entre 1990-1970 na China.
 Fonte: IVIG/MEMUT-2.

São apresentadas na Figura 4.3 as maiores conversões de biomas naturais para agricultura e pastagem no mundo e mostram que foram de 1.800.000 km² nos EUA entre 1900-1850, 1.700.000 km² na Austrália entre 1950-1900 e 1.500.000 km² na China entre 1990-1970, sendo que esta última em apenas 20 anos. Nota-se também que o Brasil figura entre as maiores áreas de conversão para agricultura e pastagem em decorrência do seu tamanho.

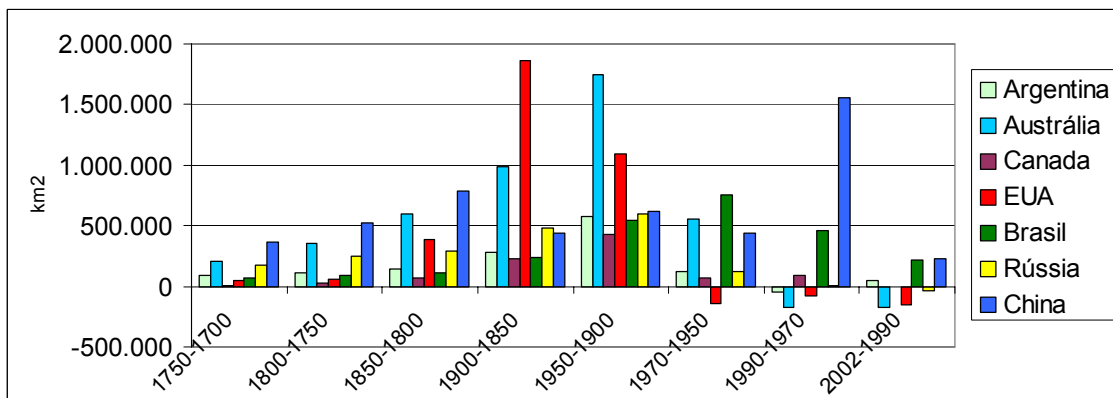


Figura 4.3 – Maiores taxas históricas de expansão de agricultura mais pastagem
 As maiores conversões de biomas naturais para agricultura e pastagem ocorreram entre 1950-1850 nos EUA e Austrália e entre 1970-1990 na China.
 Fonte: IVIG/MEMUT-2.

Podemos inferir que os países que mais emitiram pela mudança do uso da terra são os que tiveram as maiores taxas de mudança para agricultura e pastagem. Entretanto, as emissões também dependem do tipo de bioma em que houve a conversão. Portanto, além da quantidade de mudança do uso, as emissões são proporcionais às quantidades de carbono associadas aos biomas originais, variando

muito entre países e biomas, e, como veremos no próximo subitem, influenciam sutilmente nas emissões dos países.

4.1 EMISSÕES DA MUDANÇA DO USO DA TERRA

As emissões de CO₂ anuais do modelo IVIG/MEMUT-2 são calculadas pela derivada dos estoques terrestres de carbono (Figura 4.5) por país (Figura 4.4) e estão compatíveis com as estimativas globais, entre 2500 e 2000 Gt C em 2000 (IPCC, 2007). Os estoques de carbono terrestres são basicamente proporcionais ao conteúdo de carbono do uso da terra e sua área por país, e.g. na Figura 4.5 notamos que o Brasil tem um estoque maior de carbono do que os EUA, pois, apesar de ser um país menor, tem um conteúdo médio de carbono maior por unidade de área.

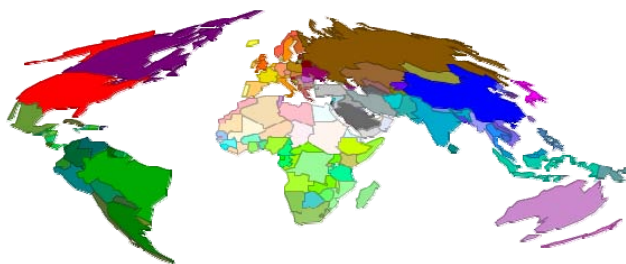


Figura 4.4 – Mapa com a legenda de cores dos países

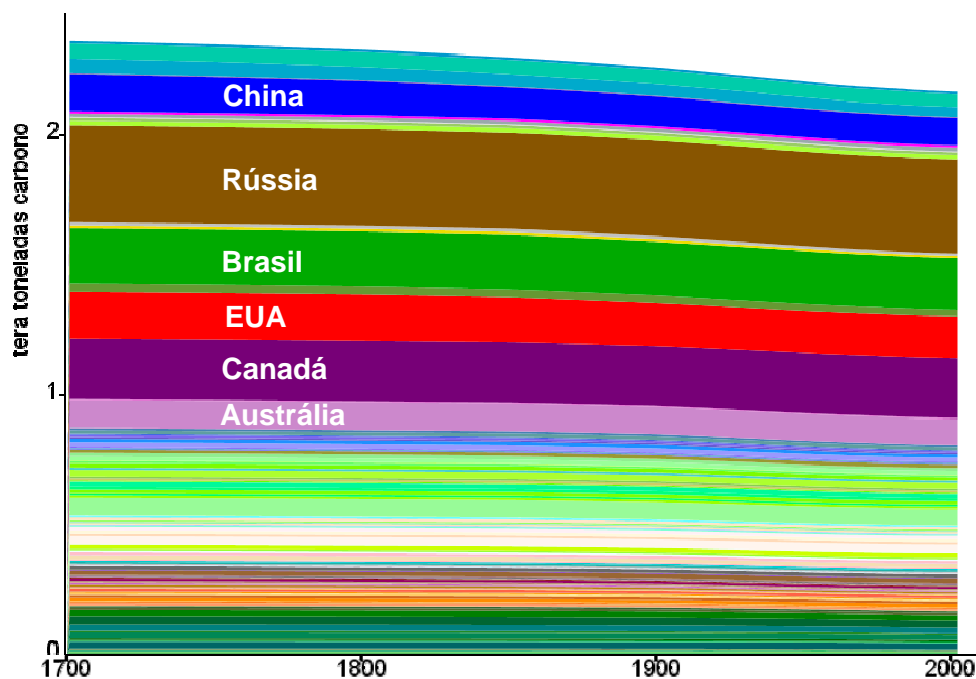


Figura 4.5 – Estoques históricos de carbono terrestre por país

Os países com os maiores estoques de carbono na vegetação são a Rússia, Canadá, Estados Unidos, Brasil, China e Austrália de acordo com a classificação de biomas B.

Fonte: elaboração própria a partir de IVIG/MEMUT-2 e JCM5 (MATTHEWS, 2006).

Utilizando a classificação de biomas A e B, com fatores de densidade de carbono de medições e do IPCC-LULUCF (WATSON *et al.*, 2000), os estoques de carbono do IVIG/MEMUT-2 em 1700 eram de, respectivamente, 2.175 e 2.180 Gt C, e os estoques de carbono em 2002 foram de 2.015 e 2.030 Gt C, respectivamente. Entretanto, utilizando a classificação de bioma B com fatores de densidade de carbono do modelo ISAM (JAIN e YANG, 2005), doravante B-ISAM, os estoques de carbono em 1700 e 2002 seriam de 2.520 e 2.350 Gt C, respectivamente. Portanto, existem incertezas intrínsecas associadas aos modelos de emissões da mudança do uso da terra devido às classificações de biomas e definição de conteúdo de carbono. O IPCC-LULUCF (WATSON *et al.*, 2000) estima que os estoques terrestres de carbono seriam da ordem de 2500 Gt C em 2000, sugerindo que a parametrização B-ISAM é a mais adequada.

Utilizando a classificação de biomas A, B e B-ISAM com as taxas de mudança nas áreas de agricultura e pastagem da FAOSTAT (2006), o modelo IVIG/MEMUT-2 apresenta as estimativas de emissões globais visualizados na Figura 4.6.

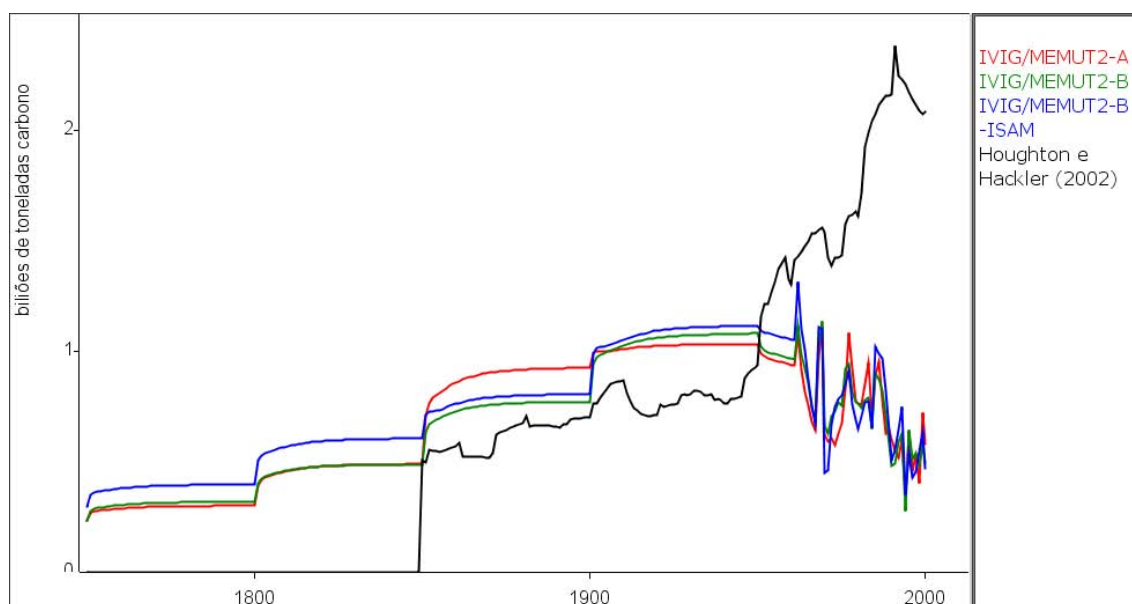


Figura 4.6 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra
Resultados do modelo IVIG/MEMUT-2 utilizando diferentes classificações de biomas e
parametrizações alteram o resultado global.
Fonte: elaboração própria a partir de IVIG/MEMUT-2, JCM5 (MATTHEWS, 2006) e HOUGHTON e
HACKLER (2002).

O IPCC-LULUCF (WATSON *et al.*, 2000) estima que 136 Gt C foram emitidas através da mudança do uso da terra entre 1850-1998 – variando entre 81 e 191 Gt C, e no IVIG/MEMUT-2 estimamos 113, 104 e 115 Gt C para a classificação de bioma A, B e B-ISAM, respectivamente. Portanto, concluímos que as estimativas globais do

IVIG/MEMUT-2 estão na ordem de grandeza correta com qualquer uma das parametrizações.

A concentração atmosférica calculada em 2000 utilizando as emissões de combustíveis fósseis e as emissões do IVIG/MEMUT-2 é de 378 ppm de CO₂ enquanto que utilizando as estimativas de HOUGHTON e HACKLER (2002) é de 385 ppm de CO₂. Analisamos a soma dos quadrados dos resíduos dos erros entre o acréscimo anual de CO₂ atmosférico calculado e o medido entre 1850 e 2000 e concluímos que as estimativas do IVIG/MEMUT-2 são em média 35% menos imprecisas em 2000 do que as estimativas de HOUGHTON e HACKLER (2002). Portanto, o IVIG/MEMUT-2 apresenta bons resultados aos cálculos de balanço global de carbono.

A seguir na Figura 4.9, Figura 4.8 e Figura 4.7 são apresentadas as emissões por país são apresentadas variando a classificação dos biomas e a parametrização do bioma B de acordo com o modelo ISAM. As cores correspondentes aos países podem ser correlacionadas com o mapa do mundo acima de cada figura.

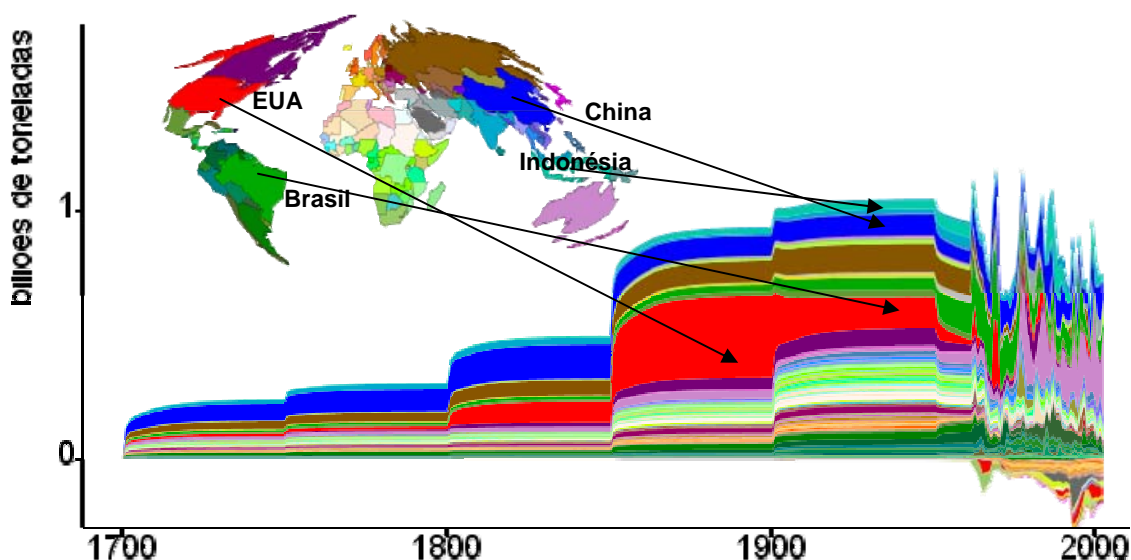


Figura 4.7 – Emissões do IVIG/MEMUT-2 por país com classificação de biomas A
Até 1850 a China contribuiu com grande parte das emissões da mudança do uso da terra, mas entre 1850 e 1950 EUA tiveram emissões muito maiores. No período recente a Austrália teve um grande crescimento de suas áreas de pastagem sobre biomas naturais com alto conteúdo de carbono de acordo com o bioma A.

Fonte: elaboração própria a partir de IVIG/MEMUT-2 e JCM5 (MATTHEWS, 2006).

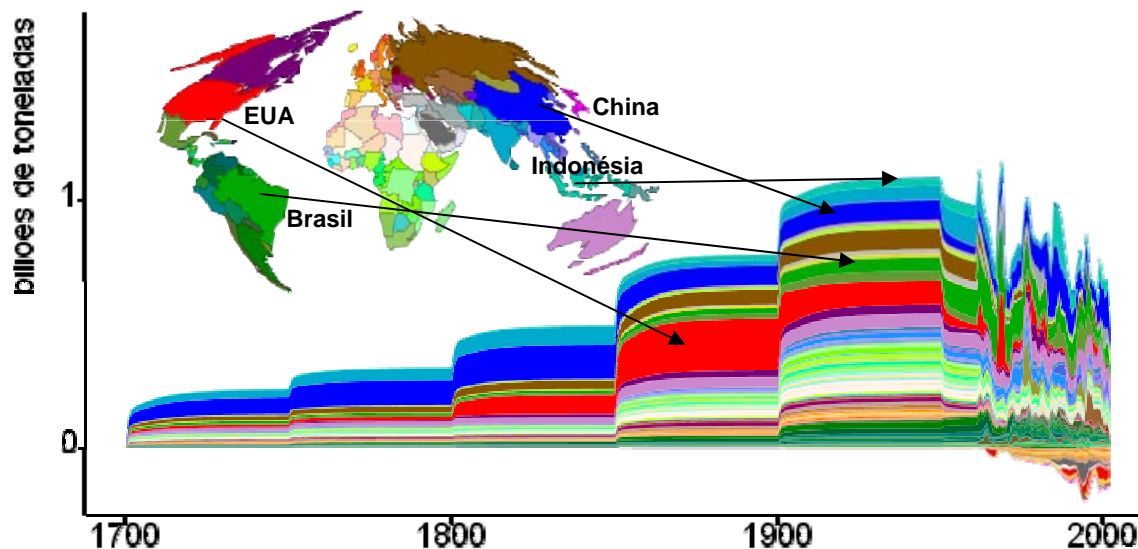


Figura 4.8 – Emissões do IVIG/MEMUT-2 por país com classificação de biomas B
 A China foi responsável por grande parte das emissões da mudança do uso da terra foram até 1850 e depois os EUA entre 1850 e 1900. Ao contrário da classificação A, a Austrália não se destaca nas emissões da mudança do uso da terra.

Fonte: elaboração própria a partir de IVIG/MEMUT-2 e JCM5 (MATTHEWS, 2006).

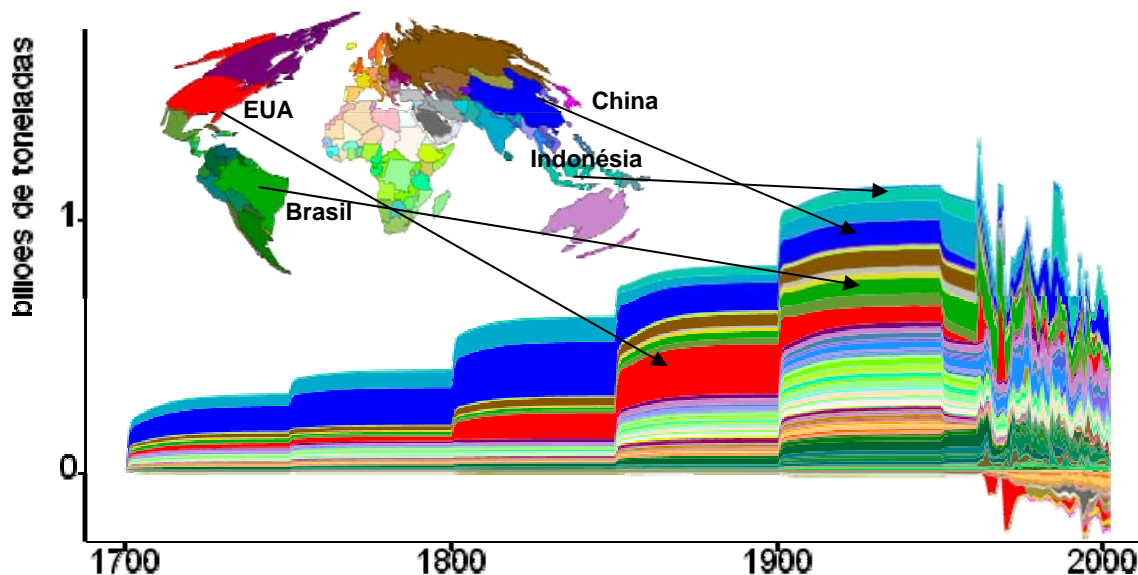


Figura 4.9 – Emissões estimadas do IVIG/MEMUT-2 por país com a classificação de biomas B-ISAM

A China foi responsável por grande parte das emissões da mudança do uso da terra foram até 1850 e os EUA entre 1850 e 1900.

Fonte: elaboração própria a partir de IVIG/MEMUT-2 e JCM5 (MATTHEWS, 2006).

As estimativas das emissões acumuladas da mudança do uso da terra entre 1850 e 2000 estimadas por HOUGHTON/CAIT (2003)⁴¹ e o IVIG/MEMUT-2 são cerca de 100% maiores para Índia e Estados Unidos, 80% para a Indonésia, 60% para o Brasil e 40% para a China e Tailândia.

⁴¹ Dados calculados por país fornecidos por HOUGHTON e HACKLER (2002) por país entre 1950 e 2000.

Para anos recentes fizemos comparações das emissões da mudança do uso da terra de alguns países com outras estimativas. Para tanto foi escolhido o período 1989-2000 devido à existência de dados por país de todos os modelos e dos inventários de emissões dos países para a UNFCCC.

Na Figura 4.10, Figura 4.11, Figura 4.12 e Figura 4.13 analisamos as diferenças entre as estimativas da França, Indonésia, EUA e Brasil. As estimativas de HOUGHTON/CAIT (2003) são em geral mais altas para os países em desenvolvimento. As estimativas do IVIG/MEMUT-2 estão na ordem de grandeza das estimativas do EDGAR 32. Entretanto, as estimativas do EDGAR 32 não devem ser usadas para calcular as responsabilidades históricas porque esta versão, com dados por país, só tem estimativas para a década de 90 e não possui estimativas para os países desenvolvidos. Portanto, não pode ser utilizado para estimar as contribuições históricas da mudança do uso da terra.

A França tem emissões negativas da mudança do uso da terra em todas as estimativas, exceto para o EDGAR que não possui estimativas para países desenvolvidos. No período de 1989 a 2000, a estimativa do HOUGHTON/CAIT (2003) é de cerca de 3 Mt C negativas, enquanto a estimativa declarada é da ordem de 10 Mt C negativas e a do modelo IVIG/MEMUT-2 é da ordem de 13 Mt C negativas, mas de 17 Mt C negativas no caso da classificação de biomas B parametrizada pelo modelo ISAM (Figura 4.10).

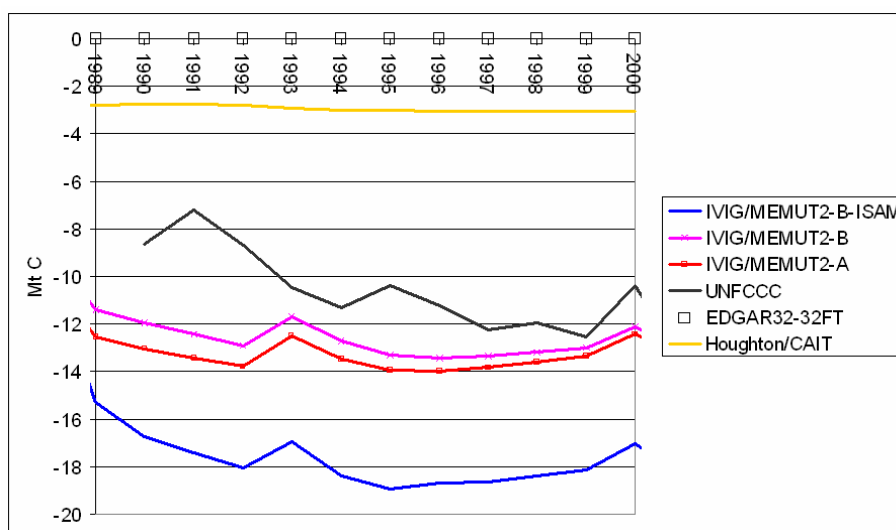


Figura 4.10 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra da França
A estimativa do CAIT é 1/3 menor do que a declarada para a UNFCCC enquanto a IVIG/MEMUT-2 é 10% maior e o EDGAR não apresenta dados.

Fonte: elaboração própria a partir de IVIG/MEMUT-2 e JCM5 (MATTHEWS, 2006).

No período de 1990 a 1994, as emissões declaradas pela Indonésia para a Convenção do Clima estão na ordem de 50-80 Mt C, assim como as estimativas do IVIG/MEMUT-2 e do EDGAR32. Entretanto, as estimativas do HOUGHTON/CAIT (2003) são muito superiores, cerca de 650 Mt C (Figura 4.11). A Indonésia é o caso que apresenta a maior diferença entre as emissões do HOUGHTON/CAIT (2003) e das outras estimativas.

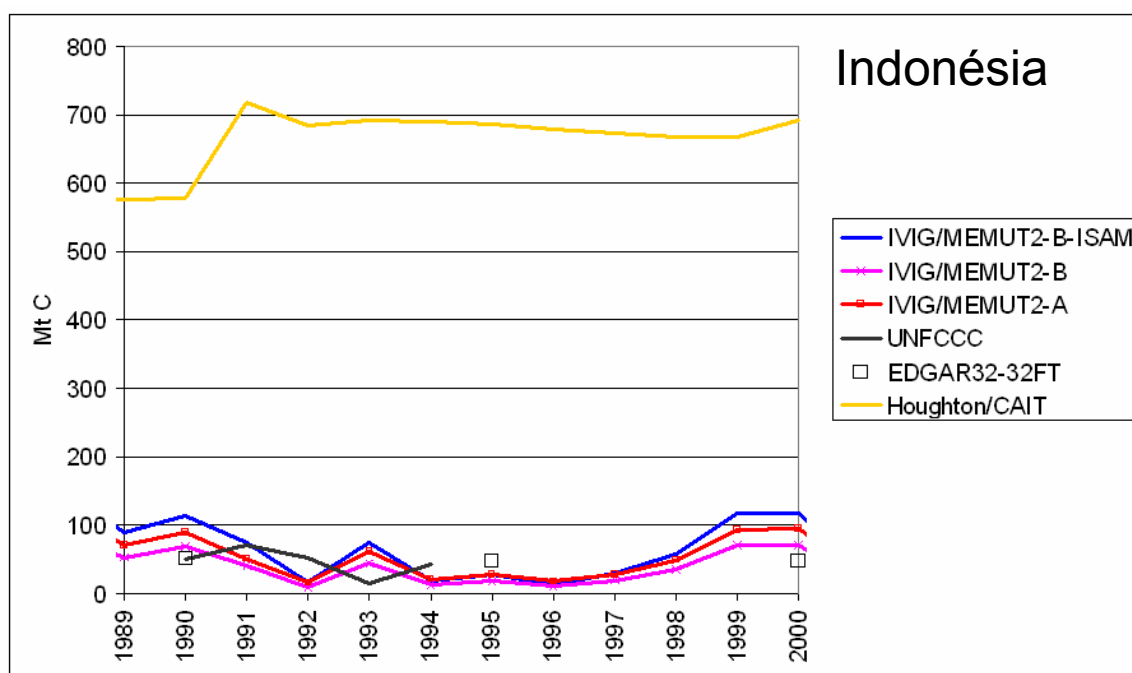


Figura 4.11 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra da Indonésia
A estimativa do CAIT cinco vezes maior do que a declarada para a UNFCCC enquanto o EDGAR e o IVIG/MEMUT-2 são da mesma ordem.

Fonte: elaboração própria a partir de IVIG/MEMUT-2 e JCM5 (MATTHEWS, 2006).

No caso da emissão da mudança do uso da terra declarada pelos Estados Unidos da América para a UNFCCC é maior do que 200 Mt C negativas, enquanto que as estimativas do HOUGHTON/CAIT (2003) são da ordem de 100 Mt C negativas e as do modelo IVIG/MEMUT-2 são praticamente nulas. O EDGAR não tem estimativas para as emissões dos EUA. A estimativa de emissões do HOUGHTON/CAIT (2003) para os EUA utiliza uma metodologia detalhada que não é aplicada em outros países, portanto o seu uso para comparação se torna limitado.

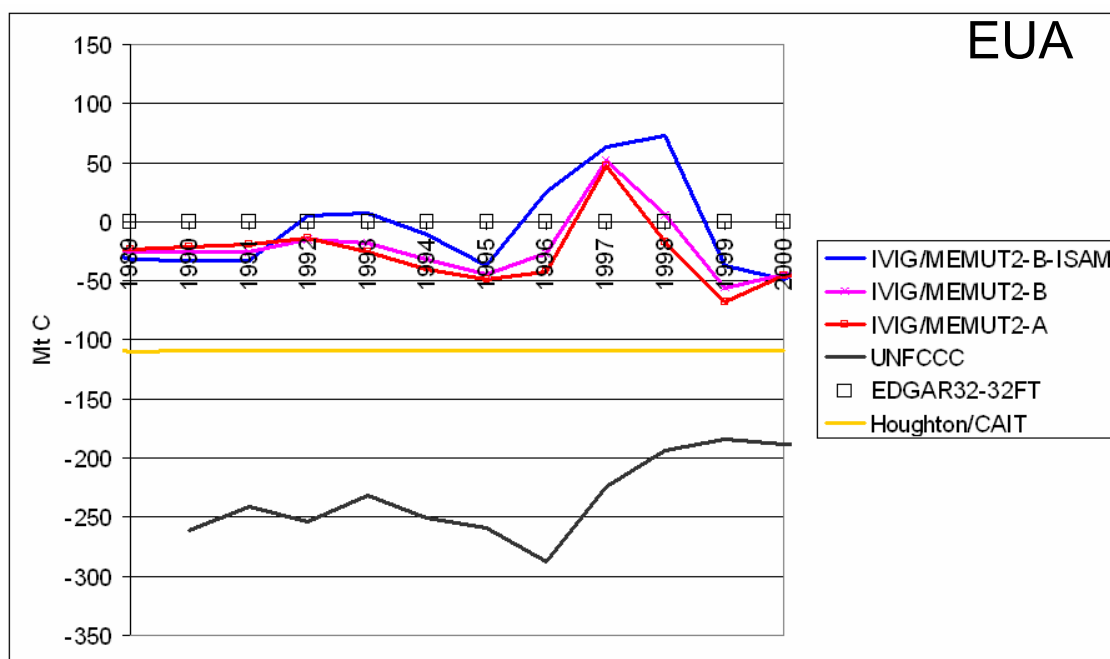


Figura 4.12 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra dos EUA
A estimativa do CAIT é 50% menor do que a declarada para a UNFCCC, a do IVIG/MEMUT-2 é cerca de 10% e o EDGAR não apresenta dados.

Fonte: elaboração própria a partir de IVIG/MEMUT-2 e JCM5 (MATTHEWS, 2006).

No período de 1990 a 1994, o Brasil tem altas taxas de desmatamento e suas emissões declaradas para a UNFCCC são da ordem de 200 Mt C. O modelo IVIG/MEMUT-2 estima em cerca de 100 Mt C e o HOUGHTON/CAIT (2003) da ordem de 450 Mt C. As estimativas do EDGAR32 foram de cerca de 100 Mt C para os anos de 1990, 1995 (Figura 4.13) e 200 Mt C para o ano de 2000.

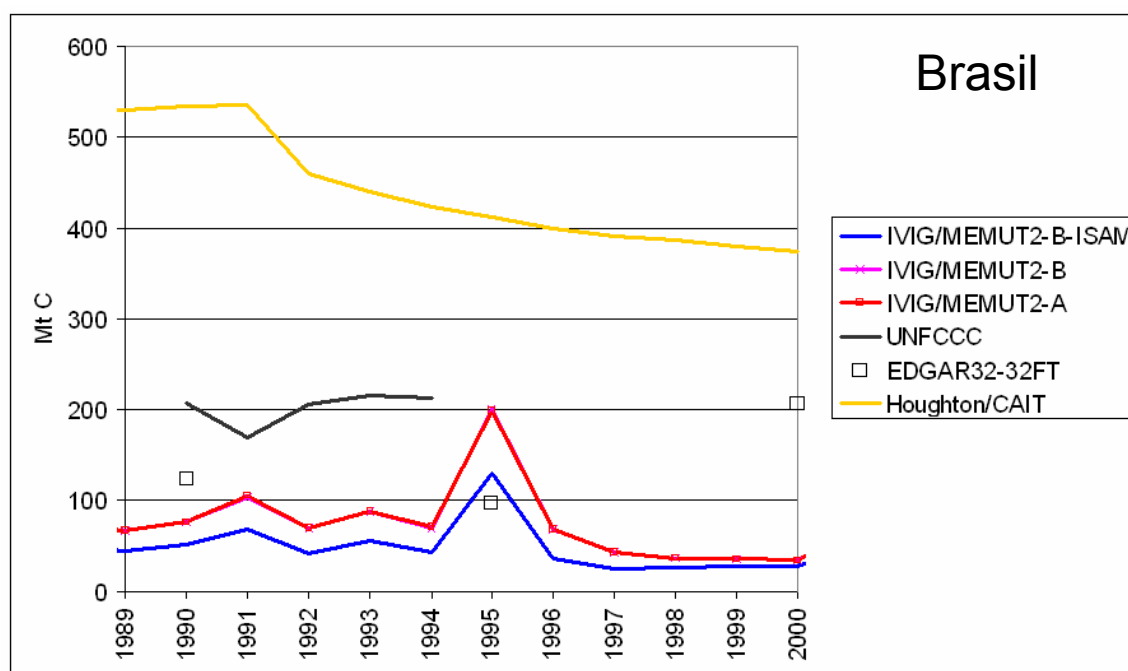


Figura 4.13 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra do Brasil
A estimativa do CAIT duas vezes maior do que a declarada para a UNFCCC enquanto o EDGAR e o IVIG/MEMUT-2 são cerca da metade.

Fonte: elaboração própria a partir de IVIG/MEMUT-2 e JCM5 (MATTHEWS, 2006).

Como podemos notar nos casos acima, as estimativas de emissões do IVIG/MEMUT-2 desconsideram atividades emissoras além dos tradicionais vetores de desmatamento não relacionados com a expansão da agropecuária. Isto ocorre pela fonte de dados utilizada: o HYDE 2.0. No próximo subitem analisaremos o Brasil comparando a fonte de dados HYDE 2.0 com análises satelitais nacionais e calculando as emissões da mudança do uso da terra com dados adicionais.

4.2 O ESTUDO DE CASO: BRASIL

A parte relativa à Amazônia Legal deste item é resultado do trabalho feito para a Eletrobrás S/A (IVIG/SCE, 2004), publicado em ARAÚJO *et al.* (2007b), onde comparou-se o banco de dados de uso da terra HYDE 2.0 com dados satelitais de desmatamento da Amazônia do INPE (2000).

De acordo com o HYDE 2.0, as mudanças do uso da terra brasileiro para agricultura e pastagem foram da ordem de 420.000 km², entre 1750 e 1990, transformando áreas originalmente ocupadas por savana, floresta tropical e floresta tropical seca (Figura 4.14). Segundo o INPE (2000), o desmatamento acumulado da

Amazônia Legal Brasileira até 1990 foi de 415.000 km², mostrando compatibilidade entre os dados.

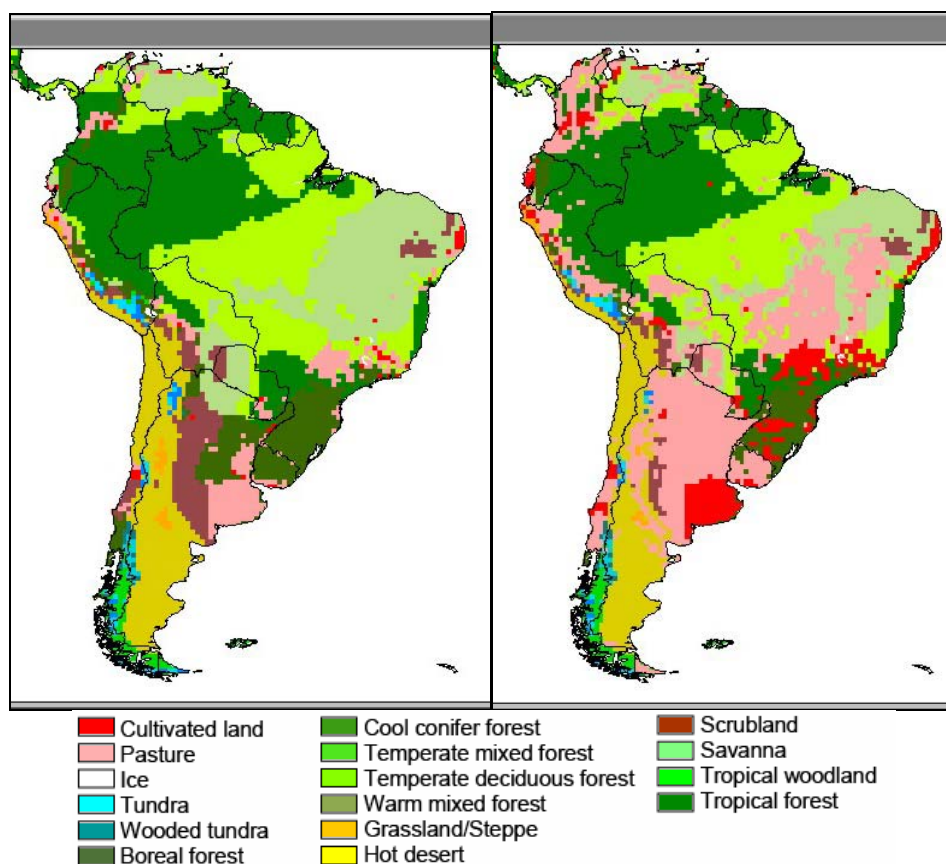


Figura 4.14 – Uso do Solo da América Latina em 1750 e 1990 com a classificação de biomas A

Fonte: IVIG/SCE (2004), ARAÚJO *et al.* (2007b) e HYDE 2.0.

O INPE, com o seu projeto de detecção do desflorestamento (PRODES Digital), constituiu uma base de dados com uma alta resolução, valores de 6,25 ha ou 0,0625 km², o que corresponde a uma escala de 1:250.000. No HYDE 2.0, a escala é de 1:10.000.000, pois a área mínima mapeada é da ordem de 2.500 km². Apesar do INPE possuir uma escala mais precisa, a inexistência de cartas para o passado distante (antes de 1970) não o deixa apto para análises ao longo de períodos de tempo maiores.

Os princípios das estimativas do INPE e do HYDE são diferentes. A metodologia de trabalho do INPE é baseada em um Sistema de Monitoramento do desmatamento em formações florestais na Amazônia Legal através de imagens do satélite LANDSAT TM 5/7, cuja cobertura abrange 215 imagens, sendo 50 delas em áreas críticas, o que correspondia a 82% do desmatamento bruto em 2002. Esse tipo

de detalhamento não ocorre na metodologia utilizada pelo HYDE, que se baseia em um modelo de concentrações populacionais e áreas declaradas de agricultura e pastagem.

A sobreposição de imagens ilustra que existem consideráveis diferenças espaciais nas áreas desmatadas entre o INPE e o HYDE 2.0 (Figura 4.15). Os polígonos em vermelho e rosa referem-se ao banco de dados HYDE 2.0 (agricultura e pastagem) em 1990, enquanto que os polígonos pretos representam áreas consideradas desmatadas em 1997 de acordo com as estimativas do INPE.

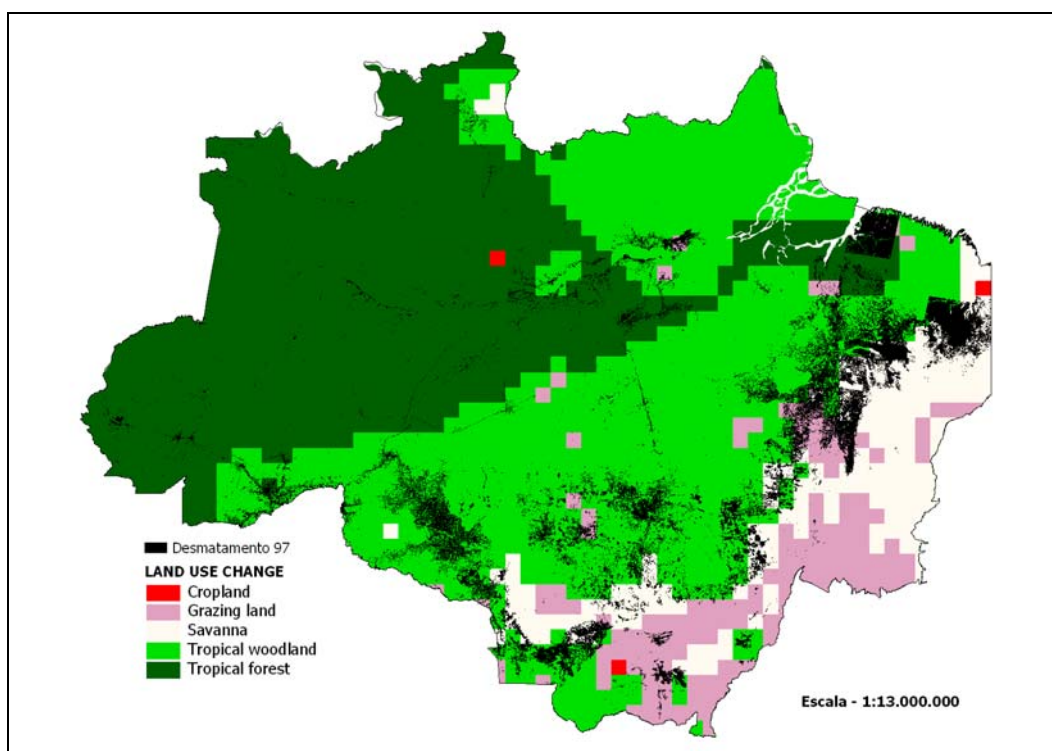


Figura 4.15 – Sobreposição de áreas desmatadas do INPE e do HYDE 2.0
INPE em preto com áreas de agricultura e pastagem do HYDE em rosa e vermelho.
Fonte: IVIG (2004) e ARAÚJO *et al.* (2007b).

Como visto nos resultados do MEMUT/IVIG-2, a classificação dos biomas é uma grande incerteza nas estimativas de emissões. Assim sendo, no bioma Amazônia, o critério adotado pelo HYDE abrange três classes de vegetação, enquanto que na classificação do INPE/IBAMA, as classes ampliam-se para nove de acordo com a Tabela 4.1. Na Figura 4.16 estão ilustradas as classificações vegetais de acordo com o HYDE e com o IBAMA.

Tabela 4.1 – Classificações de formações vegetais

INPE	HYDE
Áreas das Formações Pioneiras	Savana
Áreas de Tensão Ecológica	Floresta Tropical seca
Campinarana	Floresta Tropical
Corpos D'água	
Florestas Estacionais	
Florestas Ombrófilas	
Refúgio Ecológico	
Savana	
Savana Estépica	

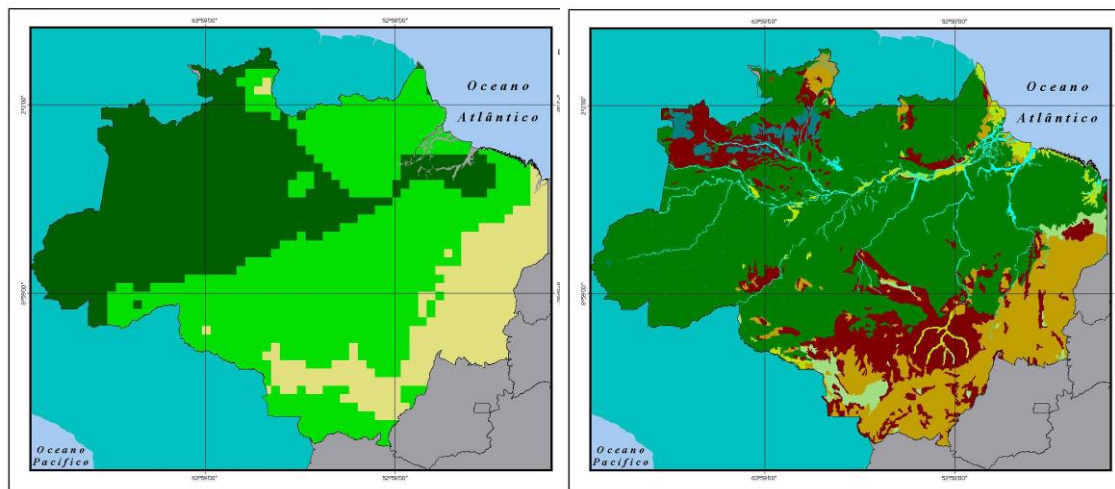


Figura 4.16 – Mapa com a classificação vegetal em 1700 do HYDE (esquerda) e do IBAMA (direita)

Fonte: IVIG (2004) e ARAÚJO *et al.* (2007b).

Portanto, as áreas totais de mudança de uso da terra estimadas pelo INPE e pelo HYDE estão em acordo, mas a localização e a classificação dos biomas que estão em mudança de uso da terra não são compatíveis com estimativas regionais.

Considerando o Brasil como um todo, de acordo com o HYDE 2.0, a expansão das áreas de agricultura e pastagem brasileiras ocorreu na sua maior parte nas áreas de “savana” tanto na classificação de biomas A quanto na B (Figura 4.17).

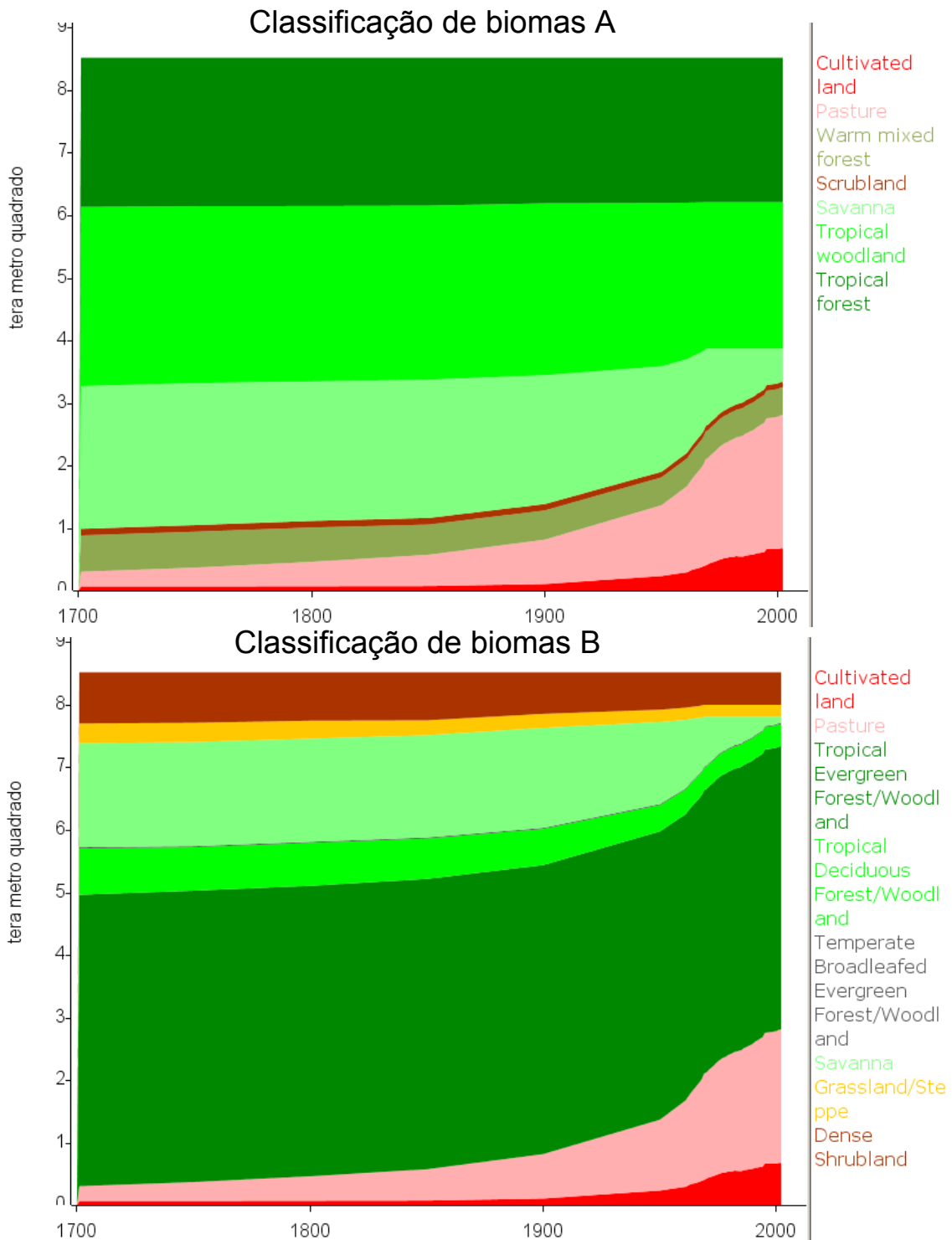


Figura 4.17 – Evolução das áreas dos biomas brasileiros
De acordo com o HYDE 2.0, a expansão da agricultura e pastagem brasileiras ocorreu principalmente nas áreas savana.

Fonte: HYDE 2.0, adaptado com dados da FAOSTAT (2006) elaborado no JCM5 (MATTHEWS, 2006).

No caso do Brasil existem três possibilidades de fontes externas de dados das taxas de desmatamento: a) INPE (2007), b) FAO (2005) e, c) Primeiro Inventário

Brasileiro de Emissões de Gases de Efeito Estufa (PIBE-GEE, 2004). O INPE (2007) fornece as taxas de desmatamento desde a década de 80 para a Amazônia Legal. De acordo com o INPE (*id.*), as taxas de desmatamento da Amazônia Legal no final de década de 80, 90 ficaram entre 20.000 e 16.000 km² ano⁻¹, e entre 2000 e 2006 cerca de 20.000 km² ano⁻¹ (Figura 4.18).

A FAO elabora Análises dos Recursos Florestais – Forest Resources Assessment – desde 1948. Entretanto, estas análises não são periódicas e as definições e metodologias variaram ao longo do tempo, portanto estas análises não são compatíveis para análises históricas e são muito questionadas (e.g. os relatórios da FAO de 1990, 1995, 2000 e 2005 estimaram uma área florestal no Brasil para o ano de 1990 de 5.660.070, 5.639.110, 5.669.980 e 5.200.270 km²). A FAO (2005) tem estimativas do desmatamento normalizadas por país desde 1990 através de pesquisas com especialistas de cada país. Ainda assim fizemos um exercício com as estimativas do FAO (1990) para as taxas de desmatamento da década de 80 e FAO (2005) para as taxas de desmatamento para o período de 1990-2005 (Figura 4.18).

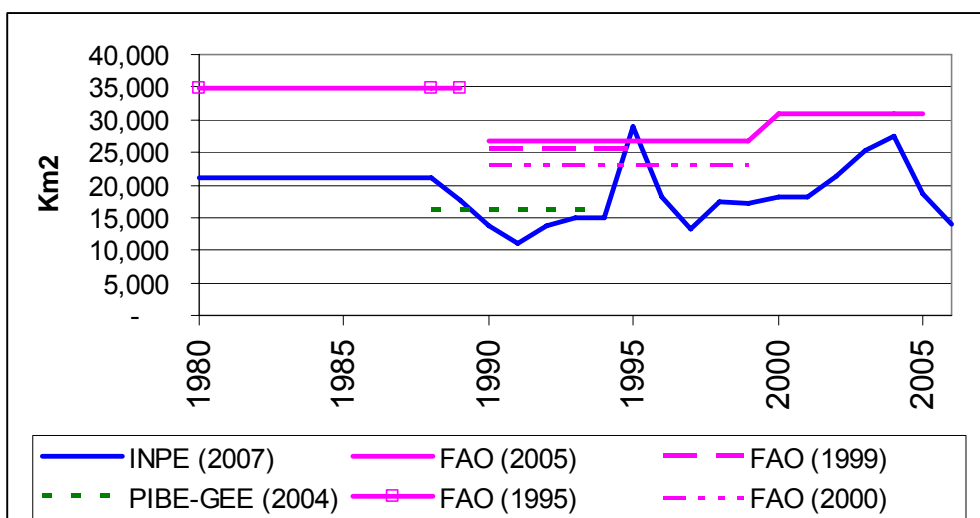


Figura 4.18 – Taxas anuais de desmatamento do Brasil
O INPE realiza monitoramento satelital da Amazônia Legal, a FAO realiza análises de todas as florestas do Brasil, assim como o PIBE-GEE (2004).
Fonte: INPE (2007).

O Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões de Gases de Efeito Estufa (PIBE-GEE, 2004) tem estimativas de áreas desflorestadas e em regeneração entre 1988 e 1994 por bioma, portanto é possível derivar as taxas de conversão de biomas florestais (Amazônia e Mata Atlântica). Entretanto, o uso do PIBE-GEE não acrescenta grande alteração nos resultados utilizando os dados do INPE (2007), pois utiliza a

mesma fonte de dados para a Amazônia, acrescentando novas informações relativas à Mata Atlântica, mas que são desmatamentos relativamente pequenos – Figura 4.18. Portanto, foi descartado o uso do PIBE-GEE (2004) nas estimativas de emissões do IVIG/MEMUT-2.

Observa-se que os valores de emissões de CO₂ ficaram muito próximos às emissões estimadas pelo PIBE-GEE (2004) aplicando as taxas de desmatamento do INPE (2007) ou do FRA (2005) entre 1978 e 2003 apresentadas na Figura 4.19 no IVIG/MEMUT-2.

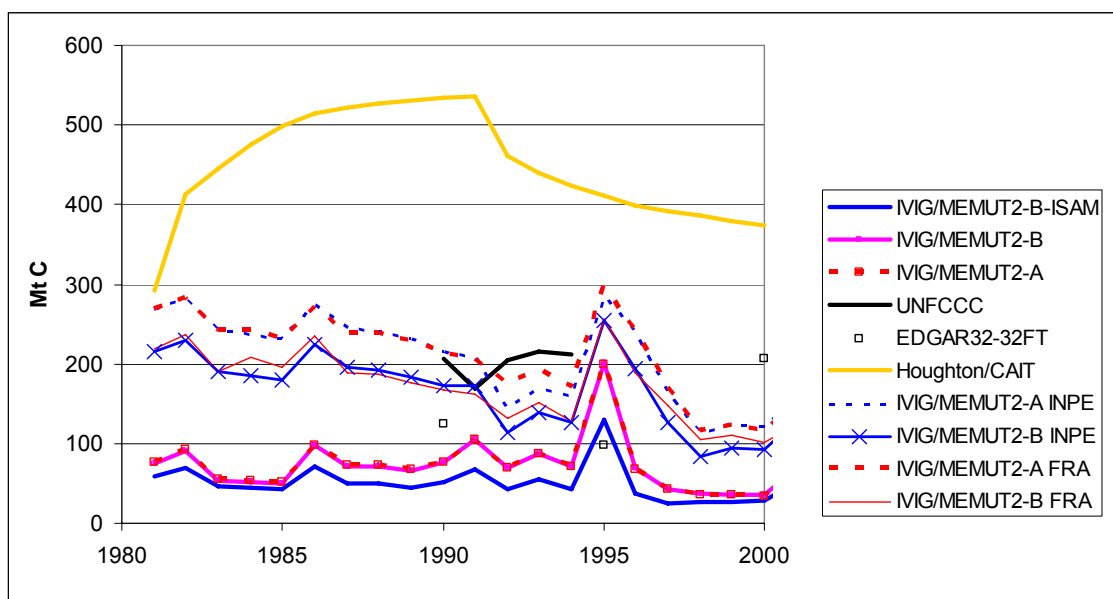


Figura 4.19 – Estimativas de emissões da mudança do uso da terra do Brasil com fontes externas de dados de desmatamento

Ao incorporarmos estimativas externas de taxas de desmatamento do INPE e FAO as emissões calculadas pelo IVIG/MEMUT-2 se aproximam das estimativas do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões de GEE.

Fonte: elaboração própria a partir de IVIG/MEMUT-2 e JCM5 (MATTHEWS, 2006).

Apesar de o uso complementar de fontes externas refinarem o IVIG/MEMUT-2 no caso do Brasil, estas fontes não são aplicáveis a todos os países e existem apenas para anos recentes, portanto não foram utilizadas estas fontes nos resultados do IVIG/MEMUT-2 de forma a manter a mesma metodologia para todos os países na avaliação das contribuições históricas.

5 RESULTADOS E ANÁLISES DAS CONTRIBUIÇÕES PARA O AUMENTO DA TEMPERATURA

O ciclo do carbono é um dos aspectos científicos mais criticados no modelo usado na proposta do Brasil. Com o modelo programado no STELLA replicamos o exercício de análise de sensibilidade de parâmetros de decaimento do CO₂ elaborado em ROSA e RIBEIRO (2001) de acordo com a Tabela 5.1 e utilizando as emissões de CO₂ do banco de dados do EDGAR 1.4⁴² com o cenário A2 do IPCC-SRES (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).

Tabela 5.1 – Fatores de Decaimento do CO₂

I	1		2		3		4	
	f(i)	t(i)	t(i)	f(i)	t(i)	f(i)	t(i)	f(i)
0	10.000	0.152	330	0.216	6.9	0.30036	140	1
1	171	0.253	80	0.392	71.1	0.34278	-	-
2	18	0.279	20	0.294	815.7	0.35686	-	-
3	2.57	0.316	1.6	0.098	-	-	-	-

Obs.: Parâmetros (1) usados pelo grupo MATCH; (2) pelo modelo de Berna do primeiro seminário sobre a Proposta do Brasil (UNFCCC, 1998), (3) Bern Model (IPCC, 1995); (4) Proposta do Brasil (UNFCCC, 1997).

Da análise de sensibilidade concluímos que a temperatura absoluta tem uma grande sensibilidade (Figura 5.1), mas que as responsabilidades relativas para o aumento da temperatura têm pouca (Figura 5.2).

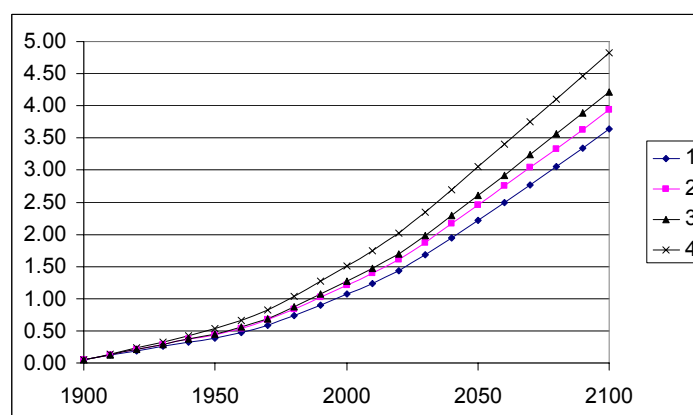


Figura 5.1 – Análise de sensibilidade do aumento da temperatura (°C) em relação ao decaimento do CO₂
O cálculo das temperaturas absolutas varia consideravelmente com diferentes parametrizações do modelo de carbono.
Fonte: elaboração própria com modelo STELLA.

⁴² Corrigidos pelo grupo *Ad Hoc* MATCH como explicado na Figura 2.12.

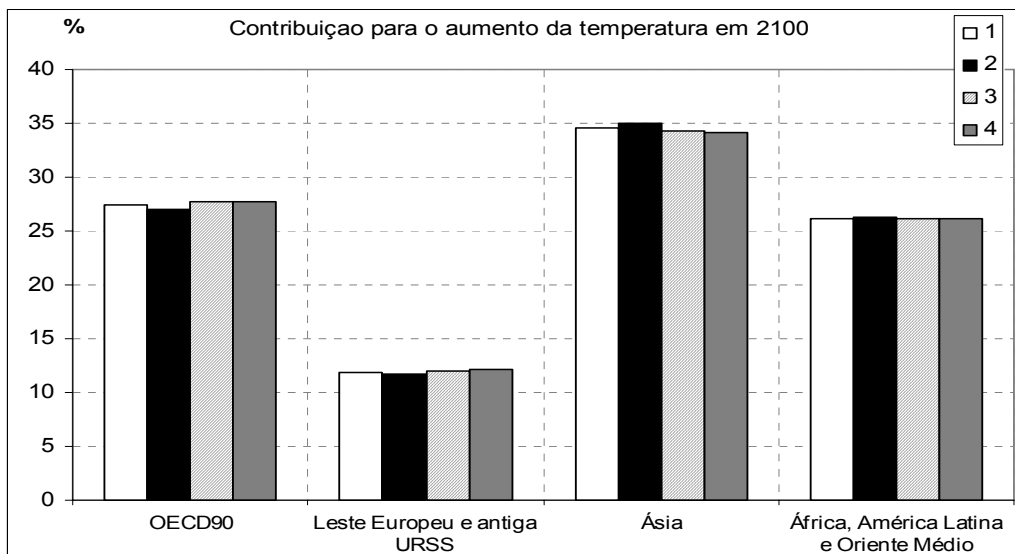


Figura 5.2 – Análise de sensibilidade da responsabilidade relativa em relação ao decaimento do CO₂

O cálculo da responsabilidade relativa tem pouca sensibilidade a diferentes parametrizações do modelo de carbono. Legenda: de 1 a 4 de acordo com os parâmetros de decaimento do CO₂ da Tabela 5.1.

Fonte: Elaboração própria utilizando o modelo STELLA.

O uso de modelos completos de carbono tem influência sobre o cálculo da temperatura média global, porque consideram retroalimentações⁴³ do ciclo do carbono não representadas no modelo linear de carbono, pois este é parametrizado para as condições do século XX, tendendo a subestimar os cenários de concentrações atmosféricas de CO₂ como apresentado na Figura 5.3. Entretanto, isto tem pouca influência no cálculo das responsabilidades relativas uma vez que se aplica igualmente a todas as partes.

⁴³ Retroalimentação é um mecanismo de interdependência entre duas variáveis, podendo ser positivo ou negativo. No caso de uma retroalimentação negativa, por exemplo, quanto mais se estimula o turismo para uma reserva ecológica, mais lixo estará sendo gerado, poluindo-a, conseqüentemente menos turistas irão querer visitá-la, inibindo o turismo. No caso da retroalimentação positiva, o aquecimento global aumentará a decomposição de matéria orgânica, emitindo mais e aumentando a concentração de GEE, aquecendo mais a atmosfera, decompondo ainda mais a matéria orgânica.

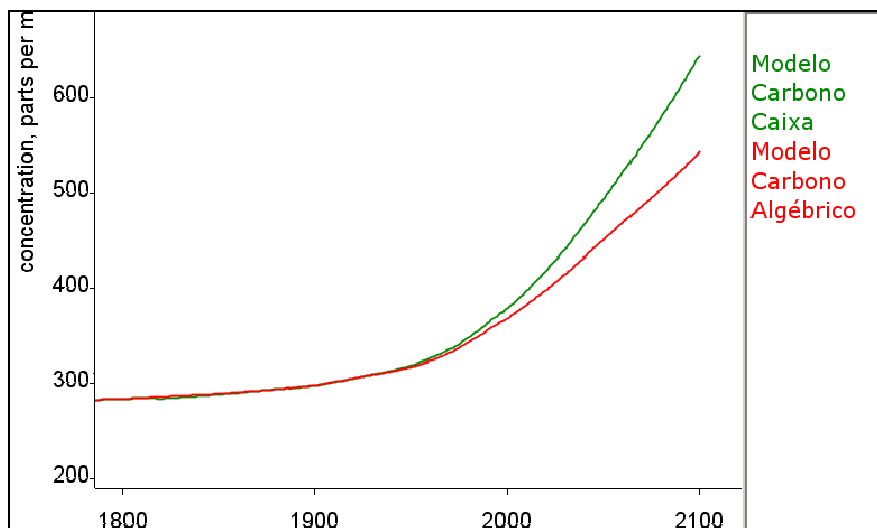


Figura 5.3 – Concentrações atmosféricas de CO₂ calculadas por dois modelos simples de carbono

O modelo algébrico tende a calcular concentrações menores de CO₂, pois não leva em conta a retro alimentação entre o ciclo do carbono e a temperatura – e.g. cenário B2 do IPCC-SRES (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).

Fonte: Elaboração própria a partir do JCM5 (MATTHEWS, 2006).

O período de contribuição é um dos aspectos metodológicos mais críticos para o cálculo das responsabilidades históricas. Com o modelo programado no STELLA calculamos que as emissões de CO₂ de combustível fóssil (MARLAND *et al.*, 1999) e mudança do uso da terra IVIG/MEMUT-2 entre 1750 e 1900 foram responsáveis por cerca de 0,1 °C do aquecimento em 1990. Portanto, ignorar as emissões de CO₂ anteriores a 1900 é ignorar cerca de 20% do aumento da temperatura em 1990 provocada pelas emissões totais de CO₂.

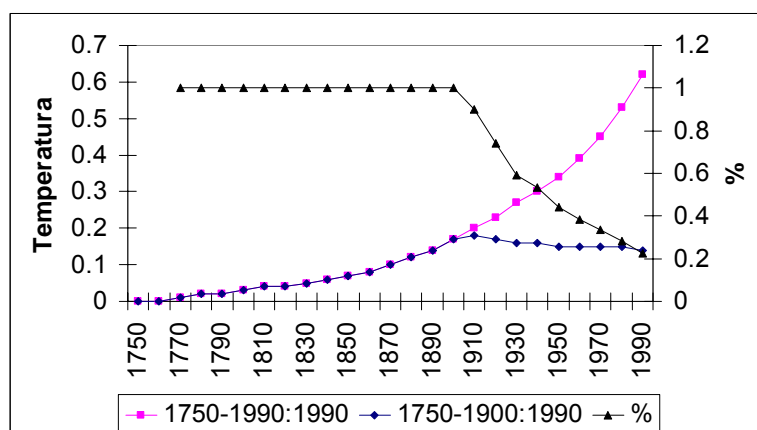


Figura 5.4 – Contribuição para aumento da temperatura total e relativa de 1750 a 1900 e 1750 a 1990

As emissões de CO₂ antes de 1900 contribuem com cerca de 20% do aumento da temperatura em 1990, ou 0,1 °C.

Fonte: Elaboração própria com modelo STELLA®.

Calcular as contribuições a partir de períodos mais recentes é vantajoso pela existência de dados mais precisos, mas tem a desvantagem de desconsiderar um longo período de aumento de temperatura na atmosfera. Portanto, se não levarmos em conta as emissões históricas de GEEs, estaremos ignorando as *responsabilidades relativas*, equivalendo-se a aplicação de uma taxa de redução igual a todas partes participantes do regime de redução de emissões (UNFCCC, 1997). A Figura 5.5 ilustra a contribuição absoluta de 4 regiões para o aquecimento global em 2000 a partir de 1990; a curva em cinza representa o aumento de temperatura das emissões históricas de GEE que estaríamos desconsiderando se calcularmos as contribuições regionais a partir de 1990. Portanto, utilizar a data de atribuição posterior à revolução industrial pode negligenciar fatos relevantes. Quanto menor o período de atribuição de responsabilidade para o aumento da temperatura, menor será a responsabilidade relativa dos países industrializados e maior será dos países em desenvolvimento.

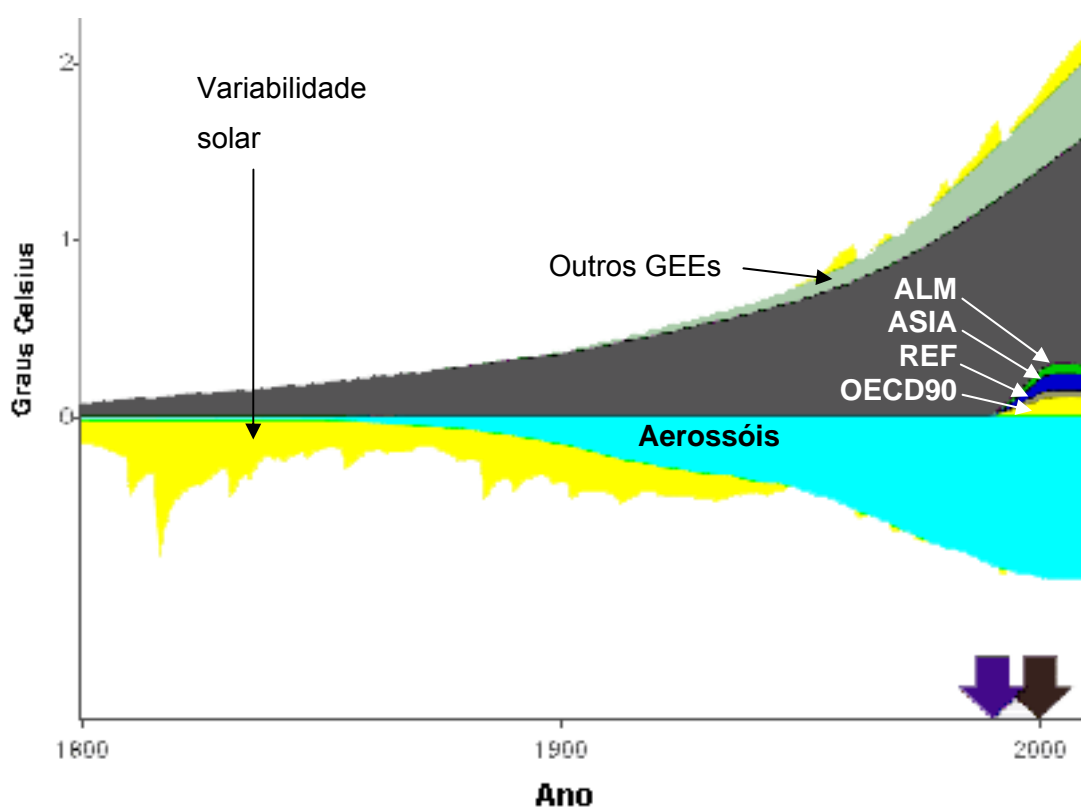


Figura 5.5 – Aumento da temperatura média terrestre em 2010 das emissões de quatro regiões a partir de 1990 e aumento da temperatura histórica desde 1800
 Atribuir responsabilidades históricas a partir de anos recentes irá negligenciar grandes contribuições para o aumento da temperatura no presente. ALM: África, América Latina e Oriente médio; ASIA: Ásia, EEU&FSU: oeste europeu e antiga União Soviética, OECD90: países industrializados da OECD em 1990.
 Fonte: Elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

A inclusão das emissões de CH₄, N₂O e de CO₂ da mudança do uso da terra influem consideravelmente no cálculo das responsabilidades absolutas e relativas. Estimamos que o aumento da temperatura das emissões do consumo de combustíveis fósseis entre 1750 e 2000 seja da ordem de 0,5 °C, enquanto as emissões de CH₄ e N₂O contribuíram com cerca de 0,3 °C e as emissões da mudança do uso da terra com outros 0,3 °C, considerando qualquer modelo de emissões ou parametrizações. A responsabilidade relativa das emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis dos países do Anexo I é de 77% entre 1750 e 2000, mas incluindo as emissões de CH₄ e N₂O baixa para 64% e atribuindo-se as diferentes estimativas de emissões da mudança do uso da terra ficaria entre 52 e 58%.

Modelos simples de clima também podem ser utilizados para exemplificar problemas no conceito do GWP, que não é adequado para comparar as contribuições históricas de diferentes GEEs. Este índice não leva em conta a reposta do clima e compara o efeito cumulativo do forçamento radiativo ao longo de um período futuro em uma atmosfera de composição constante. Para a comparação entre emissões de diferentes gases em diferentes períodos de tempo, um modelo simples de clima é a ferramenta que deve ser usada para avaliar o aquecimento futuro, passado e presente de emissões de GEEs. Ainda assim, o GWP vem sendo largamente utilizado pela Convenção do Clima, comunidade científica, setor privado, imprensa e políticos como parâmetro de comparações das emissões históricas e futuras de diferentes gases. Por exemplo, o GWP de 20 e 100 anos do CH₄ é 62 e 23 (IPCC, 2001), respectivamente; mas se compararmos o efeito de um pulso de emissões no aumento da temperatura em 20 e 100 anos, o CH₄ seria equivalente a 38 e 3 unidades de CO₂, respectivamente.

O objetivo inicial desta tese de doutorado foi de calcular as responsabilidades históricas relativas por país. Com o modelo JCM5 e as metodologias apresentadas no subitem 3.4.1, concluímos que os EUA, Rússia, China têm contribuições relativas estáveis para o aumento da temperatura, considerando qualquer combinação de atribuição aos setores e gases entre 1750 e 2000. As responsabilidades relativas dos países desenvolvidos como os da Europa, Japão, Canadá, Austrália têm um comportamento similar de redução das suas responsabilidades relativas ao incluir as emissões de CH₄, N₂O e mudança do uso da terra. No entanto, países em desenvolvimento como Brasil, Índia, Indonésia têm um comportamento de aumento das suas responsabilidades relativas com a inclusão das emissões de CH₄, N₂O e

mudança do uso da terra. Além disto, a escolha das estimativas de emissões da mudança do uso da terra de HOUGHTON e HACKLER (2002) ou do IVIG/MEMUT-2 tem grande importância para as contribuições dos países em desenvolvimento (Tabela 5.2)

Tabela 5.2 – Maiores 25 responsabilidades relativas para o aumento da temperatura em 2000, considerando emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis, CH₄, N₂O e CO₂ da mudança do uso da terra entre 1750-2000 (%)

	Combustível Fossil (CF)		CF+ CH₄ + N₂O		CF+CH₄+N₂O+IVIG / MEMUT-B-ISAM		CF + CH₄ + N₂O + HOUGHTON	
1	EUA	30,5	EUA	24,1	EUA	20,1	EUA	18,3
2	Rússia	8,2	China	9,3	China	12,0	China	13,2
3	Alemanha	7,9	Rússia	7,6	Rússia	6,6	Rússia	7,2
4	Reino Unido	7,4	Alemanha	5,6	Índia	6,5	Indonésia	6,0
5	China	6,5	Índia	5,0	Alemanha	4,4	Brasil	5,4
6	Japão	3,9	Reino Unido	4,7	Reino Unido	3,9	Índia	4,2
7	França	3,2	Japão	2,9	Brasil	3,1	Alemanha	4,0
8	Ucrânia	2,4	França	2,6	França	2,3	Reino Unido	3,4
9	Polônia	2,2	Ucrânia	2,4	Indonésia	2,2	Japão	2,5
10	Canadá	2,2	Brasil	2,1	Japão	2,1	Canadá	2,3
11	Índia	2,0	Canadá	1,9	México	1,9	França	1,9
12	Itália	1,5	Polônia	1,8	Ucrânia	1,9	Ucrânia	1,5
13	África do Sul	1,1	Austrália	1,5	Canadá	1,8	Malásia	1,5
14	Bélgica	1,1	Itália	1,3	Polônia	1,5	Polônia	1,3
15	Cazaquistão	1,0	África do Sul	1,3	Colômbia	1,4	México	1,2
16	Austrália	1,0	México	1,2	Tailândia	1,2	Austrália	1,1
17	Rep. Tcheca	1,0	Indonésia	1,2	Austrália	1,1	Mianmar	1,1
18	México	0,9	Nigéria	1,0	Itália	1,0	Nigéria	0,9
19	Espanha	0,8	Cazaquistão	0,9	Turquia	0,9	Itália	0,9
20	Holanda	0,8	Argentina	0,8	Nigéria	0,9	Venezuela	0,8
21	Brasil	0,7	Espanha	0,8	Congo, DR	0,8	Congo, DR	0,8
22	Romênia	0,6	Paquistão	0,7	África do Sul	0,8	África do Sul	0,8
23	Irã	0,6	Rep. Tcheca	0,7	Argentina	0,8	Peru	0,7
24	Coréia do Sul	0,5	Bangladesh	0,7	Venezuela	0,7	Colômbia	0,7
25	Coréia do Nor	0,5	Bélgica	0,7	Filipinas	0,7	Turquia	0,7
	Total top 25	88,5	Total top 25	83,2	Total top 25	80,6	Total top 25	82,3

Fonte: Elaboração própria.

Com o modelo JCM5, analisamos a frequência cumulativa das contribuições relativas para o aumento da temperatura das emissões do CO₂, CH₄ e N₂O entre 1850 a 2000. Nestas análises variamos os parâmetros do modelo do carbono e do modelo climático, assim como o modelo de emissões de mudança do uso da terra e parametrizações. A Figura 5.6 apresenta a frequência cumulativa das contribuições relativas de 25 regiões para o aumento da temperatura, onde notamos que o Brasil e

Indonésia possuem uma distribuição não uniforme, pois as incertezas das emissões da mudança do uso da terra influem muito nestas regiões.

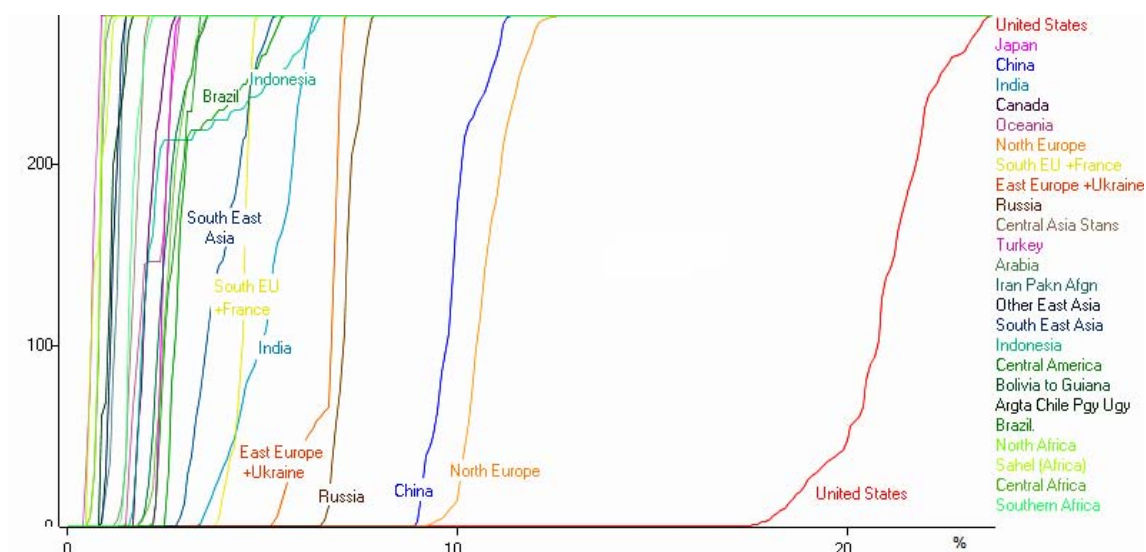


Figura 5.6 – Frequência cumulativa das responsabilidades históricas em 2000
 As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O dos EUA são as que mais contribuíram para o aumento da temperatura média global em 2000 (18 a 25%), seguido pelos países do Norte da Europa, China, Rússia, países do Leste Europeu e Índia. Este quadro não deverá mudar nos próximos 20 anos, devido à inércia do sistema. O Brasil e Indonésia têm uma distribuição irregular na frequência cumulativa de suas responsabilidades devido a grande divergência entre as estimativas de emissões da mudança do uso da terra.

Fonte: Elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

Também analisamos as tendências históricas das contribuições relativas dos países para o aumento da temperatura das emissões do CO₂, CH₄ e N₂O entre 1850 a 2000. Neste caso fica bem evidente a diferença entre a escolha do modelo de emissões da mudança do uso da terra e suas parametrizações. Portanto, comparamos as contribuições relativas para o aumento de temperatura variando os parâmetros do IVIG/MEMUT-2 de acordo com a classificação A, B e B-ISAM – curvas verdes, com as margens de incertezas das emissões da mudança do uso da terra de HOUGHTON e HACKLER (2002) entre 1850-1950 escalonadas por país de acordo com CAIT (2003) – curvas azuis. Para cada combinação calculamos o erro entre o aumento das concentrações de CO₂ calculados e medidos, atribuindo um fator gama para os erros expressos pela transparência da linha. Foram realizadas mais de 3000 combinações. As figuras abaixo apresentam as maiores responsabilidades relativas em 2000 por ordem alfabética.

Na Figura 5.7 apresentamos as responsabilidades históricas percentuais da Alemanha, Austrália, Brasil, China, Canadá e Estados Unidos. A responsabilidade relativa da Alemanha em 2000 seria de cerca de 4 e 5% e diferentes classificações de

biomas no modelo IVIG/MEMUT-2 ou as estimativas do HOUGHTON e HACKLER (2002) interferem relativamente pouco no presente, mas na primeira metade do século XX a escolha entre as estimativas de emissões da mudança do uso da terra influi consideravelmente. Em relação à parametrização do IVIG/MEMUT-2 não há grande sensibilidade.

Já a responsabilidade relativa da Austrália em 2000 é de cerca de 1 e 3% usando o IVIG/MEMUT-2 ou as estimativas do HOUGHTON e HACKLER (2002) mostrando uma interferência consideravelmente nas responsabilidades históricas e no presente. Em relação à parametrização do IVIG/MEMUT-2 também há grande sensibilidade no passado, mas não no presente (Figura 5.7).

Em relação à responsabilidade relativa do Brasil em 2000 verifica-se que está entre 2,5 e 5%. Utilizando diferentes classificações de biomas no modelo IVIG/MEMUT-2 ocorre relativamente pouca influência nas contribuições históricas e presentes, mas as estimativas do HOUGHTON e HACKLER (2002) influenciam relativamente muito os resultados, principalmente na segunda metade do século XX, conforme podemos analisar na Figura 5.7.

A responsabilidade relativa da China em 2000 seria de cerca de 10%. Utilizando diferentes classificações de biomas no modelo IVIG/MEMUT-2 influencia relativamente pouco nas contribuições presentes e históricas, assim como as estimativas do HOUGHTON e HACKLER (2002) (Figura 5.7).

Ao analisarmos a responsabilidade relativa do Canadá em 2000, observa-se que seria cerca de 2 e 3% (Figura 5.7). Diferentes classificações de biomas no modelo IVIG/MEMUT-2 podem influenciar substancialmente nas contribuições históricas e presentes. A partir de 1910 há uma convergência entre os resultados utilizando diferentes parametrizações de biomas B do IVIG/MEMUT-2, com as estimativas de HOUGHTON e HACKLER (2002) estando contidas nas estimativas do modelo IVIG/MEMUT-2 a partir de 1910.

A responsabilidade relativa dos Estados Unidos no ano de 2000 estaria entre 18 e 25%, como já demonstrado na Figura 5.6. Do ponto de vista histórico, verifica-se que o uso de diferentes parametrizações do modelo IVIG/MEMUT-2 influenciam substancialmente nas emissões até 1950, mas a partir de então há uma convergência devido ao uso das emissões de combustíveis fósseis. As estimativas do IVIG/MEMUT-

2 estão contidas na margem de erro de HOUGHTON e HACKLER (2002) a partir da segunda metade do século XX (Figura 5.7).

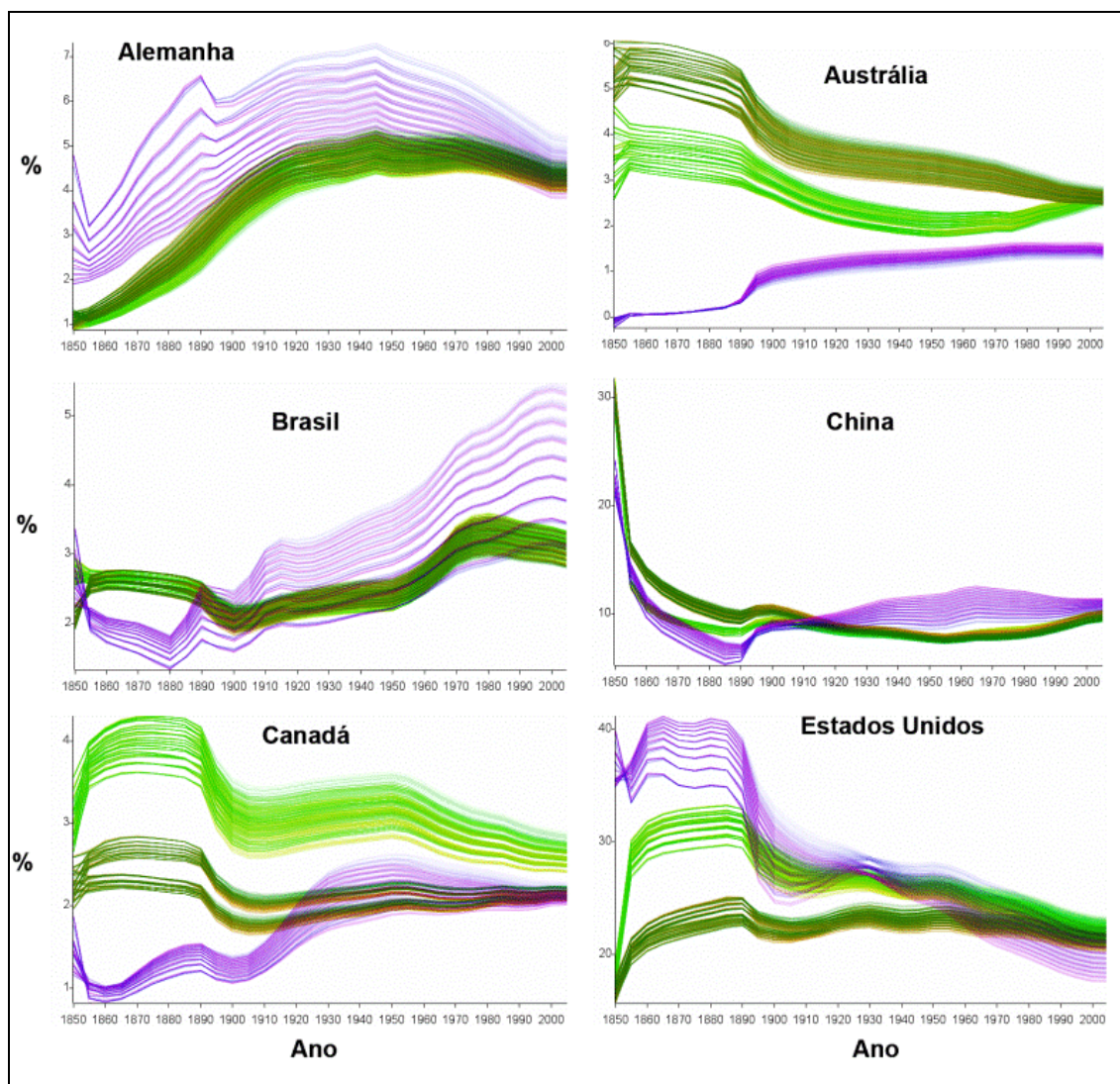


Figura 5.7 – Contribuições históricas relativas para o aumento da temperatura da Alemanha, Austrália, Brasil, China, Canadá e Estados Unidos
As curvas representam a contribuição relativa das emissões de CO₂ do uso de combustíveis fósseis, CH₄ e N₂O mais mudança do uso da terra do IVIG/MEMUT-2 em verde e mais HOUGHTON e HACKLER (2002) em azul.
Fonte: Elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

Na Figura 5.8 apresentamos as responsabilidades históricas percentuais da França, Índia, Indonésia, Japão, Reino Unido e Rússia. A responsabilidade relativa da França em 2000 seria de aproximadamente 2%. Ao se utilizar diferentes parametrizações do modelo IVIG/MEMUT-2 observa-se relativamente pouca influência, mas as estimativas do HOUGHTON e HACKLER (2002) influenciam substancialmente no passado, diminuindo durante a segunda metade do século XX.

Observamos na Figura 5.8 que a responsabilidade relativa da Índia em 2000 seria de cerca de 6%. Utilizando diferentes classificações de biomas no modelo IVIG/MEMUT-2 nota-se que há relativamente pouca influência nas contribuições a partir de 1900, assim como as estimativas do HOUGHTON e HACKLER (2002).

A responsabilidade relativa da Indonésia em 2000 está entre 2 e 7%. Diferentes classificações de biomas no modelo IVIG/MEMUT-2 tende a influenciar muito pouco nas contribuições, mas as estimativas do HOUGHTON e HACKLER (2002) são bastante influenciadas para os resultados históricos e presentes, conforme a Figura 5.8.

O Japão teria uma responsabilidade relativa em 2000 variando entre 2 e 3% e usando diferentes classificações de biomas no modelo IVIG/MEMUT-2 ocorre relativamente pouca influência nas estimativas, mas ao se usar as estimativas de HOUGHTON e HACKLER (2002), atribui-se maior responsabilidade para o aumento da temperatura no passado e no presente (Figura 5.8).

As contribuições para o aumento da temperatura do Reino Unido já foram muito maiores e a influência das diferentes estimativas de emissões da mudança do uso da terra pouco interferem na responsabilidade atual, que é de cerca de 3 e 5%, mas antes de 1900 estas estimativas exercem considerável influência, conforme ilustrado na Figura 5.8.

Ainda na Figura 5.8, verificamos que a responsabilidade relativa da Rússia em 2000 varia entre 6 e 8% e o uso de diferentes parametrizações, tanto o modelo IVIG/MEMUT-2 como as estimativas de HOUGHTON e HACKLER (2002), interferem relativamente pouco no presente, mas possuem uma influência considerável no passado.

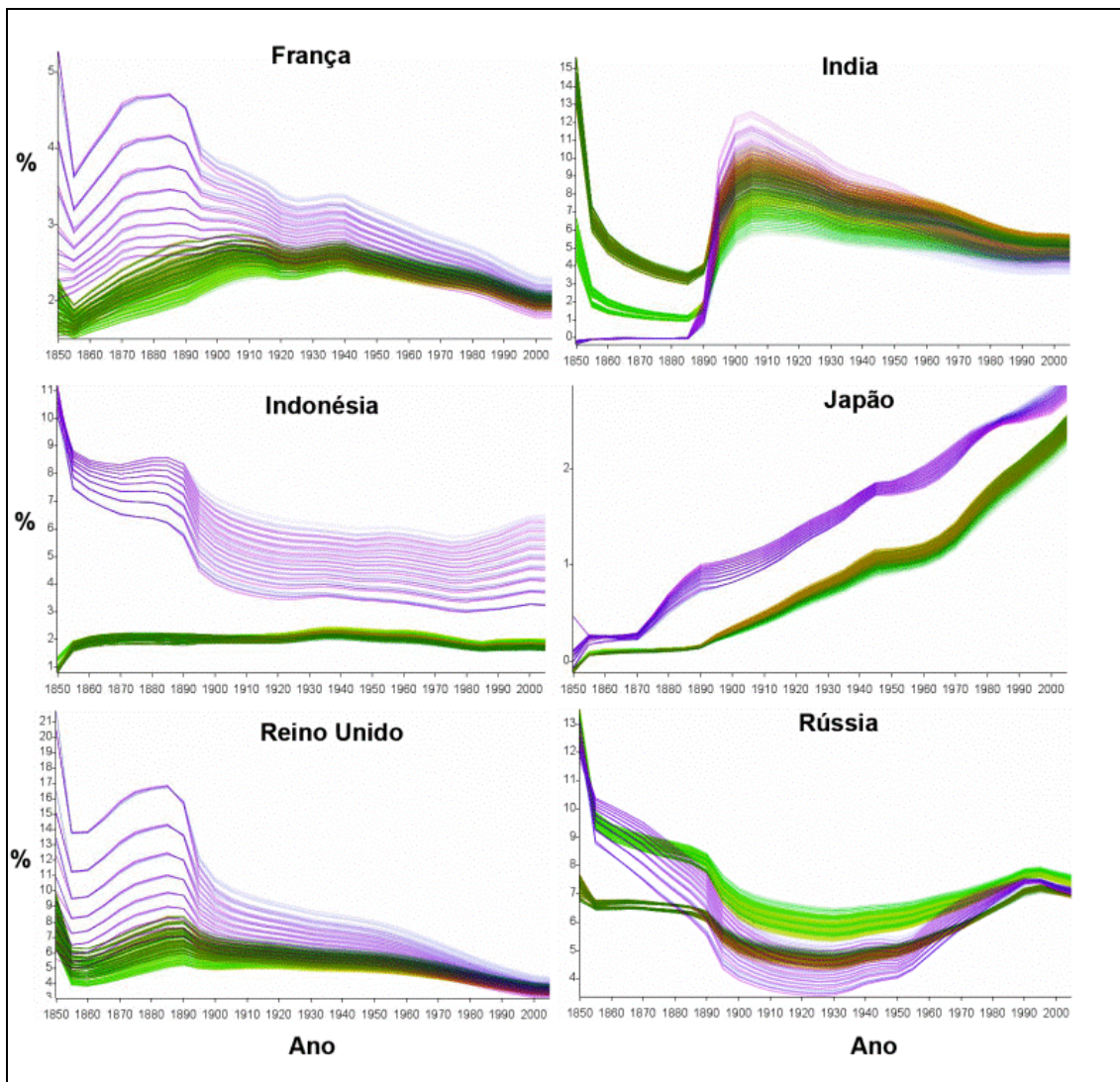


Figura 5.8 – Contribuições históricas relativas para o aumento da temperatura da França, Índia, Indonésia, Japão, Reino Unido e Rússia
 As curvas representam a contribuição relativa as emissões de CO₂ do uso de combustíveis fósseis, CH₄ e N₂O mais mudança do uso da terra do IVIG/MEMUT-2 em verde e mais HOUGHTON e HACKLER (2002) em azul.

Fonte: Elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

O cálculo da temperatura média global dos modelos simples é confiável e tem sido utilizado amplamente pelo IPCC. Existe consenso científico entre atribuição de causa e efeito das emissões e aumento de temperatura. Esta métrica pode ser usada como base para a distribuição de compromissos de redução. Entretanto, as estimativas de emissões da mudança do uso da terra influenciam mais do que outras incertezas nas responsabilidades históricas dos países, principalmente dos países não-Anexo I, e precisa ser mais refinada.

A proposta do Brasil (UNFCCC, 1997) elaborou um exercício que surpreendeu a comunidade internacional ao calcular as responsabilidades relativas dos países

desenvolvidos e em desenvolvimento. De acordo com nossas estimativas, as responsabilidades relativas dos países não-Anexo I se equivalerão a dos países Anexo I por volta de 2060 se contabilizarmos o aumento da temperatura devido apenas às emissões dos combustíveis fósseis a partir de 1750 e cenários de emissões do IPCC⁴⁴ (Figura 5.9). Estes resultados são cerca de 30 anos antes do estimado por ROSA e RIBEIRO (2001) devido à diferença entre os cenários do IPCC e os adotados por estes autores e antecedem em 100 anos o estimado pela Proposta Brasileira (UNFCCC, 1997) devido à atualização no modelo simples do clima.

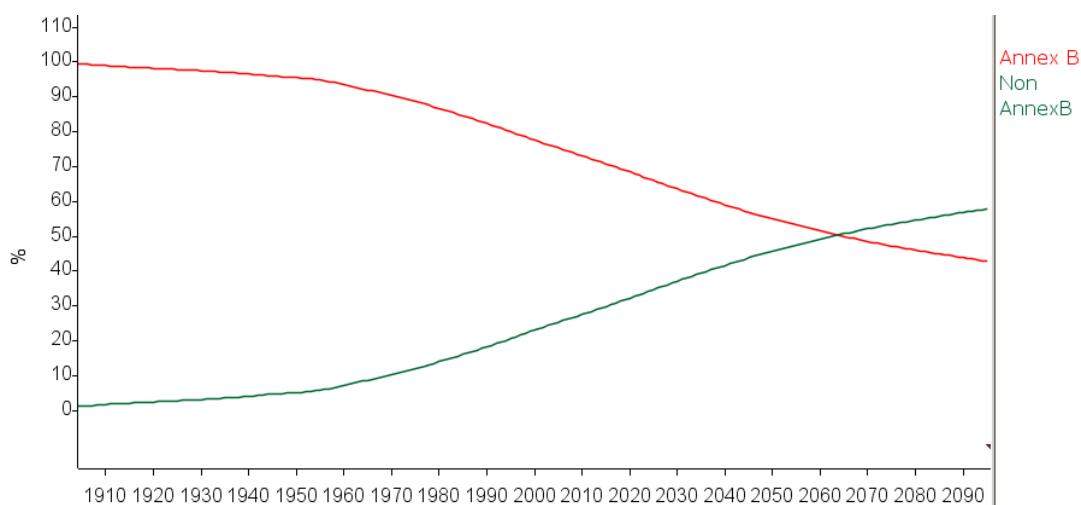


Figura 5.9 – Responsabilidades relativas das emissões de combustíveis fósseis
Considerando apenas as emissões históricas de CO₂ de combustíveis fósseis junto com o cenário B2, as responsabilidades relativa dos países não-Anexo I se equivalerão às responsabilidades dos países Anexo I por volta de 2060.

Fonte: Elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

As responsabilidades pelo aumento da temperatura dos países não-Anexo I deverão se equiparar às dos países Anexo I por volta de 2040 quando consideramos os efeitos das emissões de CO₂ do consumo de combustíveis fósseis, CH₄ e N₂O e cenários de emissões do IPCC⁴⁵, visto na Figura 5.10.

⁴⁴ Para os cenários B2, B1, A2, A1F, A1T, A1B os anos de equivalência são, respectivamente, 2063, 2063, 2066, 2053, 2061 e 2055.

⁴⁵ Para os cenários B2, B1, A2, A1F, A1T, A1B os anos de equivalência são, respectivamente 2040, 2045, 2045, 2040, e 2040.

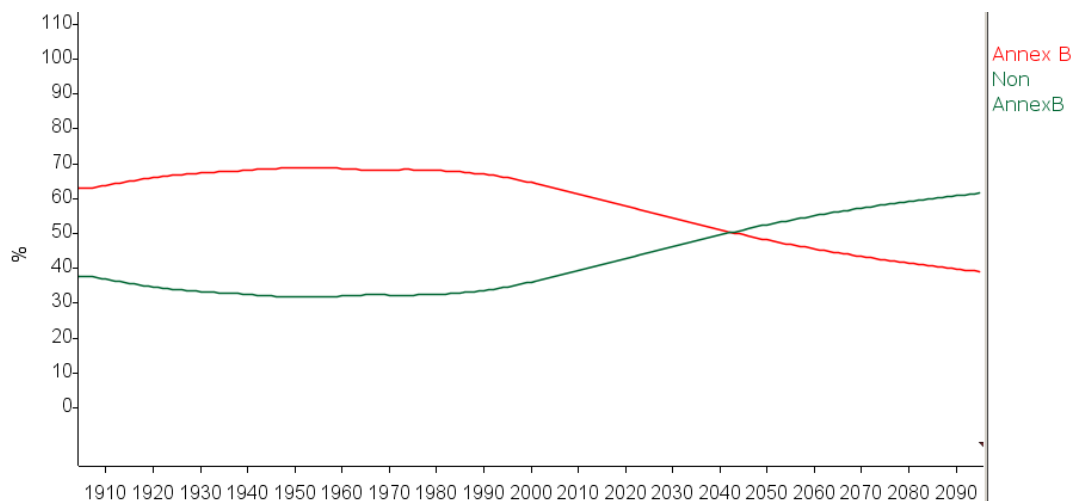


Figura 5.10 – Responsabilidades relativas das emissões de combustíveis fósseis, CH₄ e N₂O

Considerando as emissões históricas de CO₂ de combustíveis fósseis, CH₄ e N₂O com o cenário de emissões B2, as responsabilidades pelo aumento da temperatura dos países não-Anexo I se equivalerão às responsabilidades dos países Anexo I por volta de 2040.

Fonte: Elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

Incluindo as emissões de CO₂ da mudança do uso da terra do modelo IVIG/MEMUT-2, variando as 2 classificações de biomas e a parametrização de acordo com o ISAM a partir de 1750, a responsabilidade relativa dos países não-Anexo I seria equivalente à dos países Anexo I por volta de 2030⁴⁶ (Figura 5.11) e utilizando o HOUGHTON E HACKLER (2002) seria em 2015⁴⁷ (Figura 5.12). Ainda assim, cabe destacar que a população dos países não-Anexo I representa cerca de 80% da população mundial em 2007.

⁴⁶ Para os cenários B2, B1, A2, A1F, A1T, A1B e a classificação de biomas A, os anos de equivalência são, respectivamente, 2035, 2035, 2035, 2035, 2035 e 2030.

⁴⁷ Para os cenários B2, B1, A2, A1F, A1T, A1B os anos de equivalência são, respectivamente, 2015, 2020, 2015, 2015 e 2015.

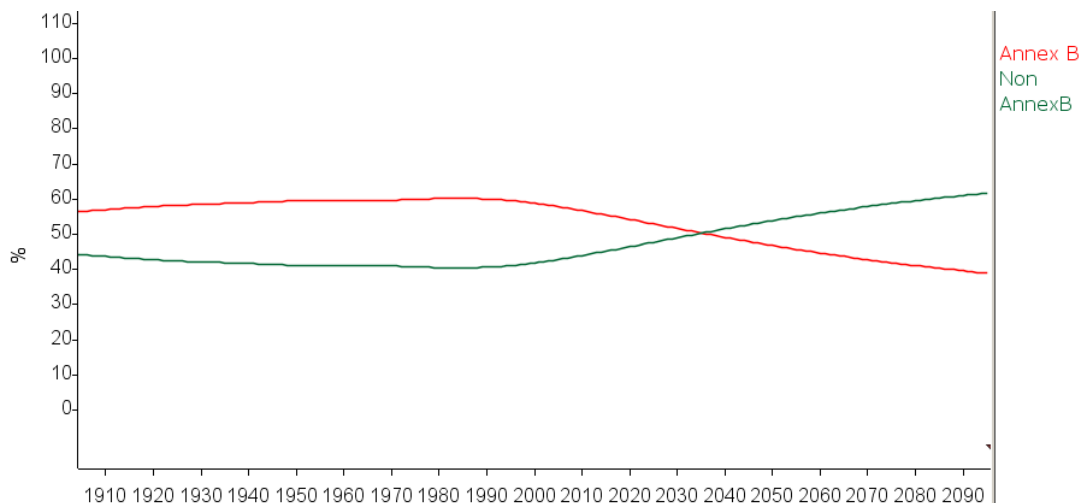


Figura 5.11 – Responsabilidades relativas das emissões de combustíveis fósseis, CH₄, N₂O e mudança do uso da terra do IVIG/MEMUT-2A

Considerando as emissões de CO₂ de combustíveis fósseis, mudança do uso da terra com IVIG/MEMUT-2A, CH₄ e N₂O mais as emissões do cenário B2, as responsabilidades pelo aumento da temperatura dos países não-Anexo I se equivalerão às responsabilidades dos países Anexo I por volta de 2030.

Fonte: Elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

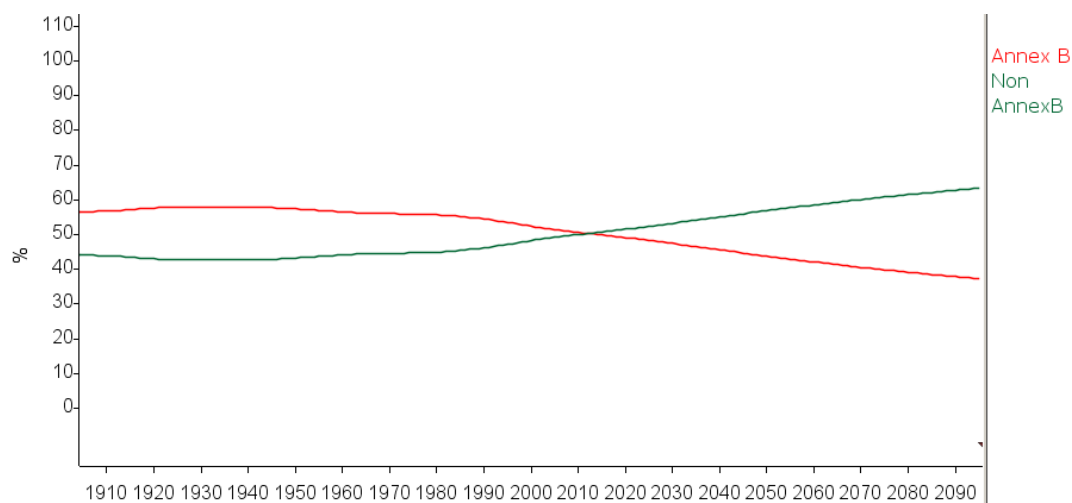


Figura 5.12 – Responsabilidades relativas das emissões de combustíveis fósseis, CH₄, N₂O e mudança do uso da terra de Houghton

Considerando as emissões de CO₂ de combustíveis fósseis, mudança do uso da terra com HOUGHTON e HACKLER (2002), CH₄ e N₂O mais as emissões do cenário B2, as responsabilidades pelo aumento da temperatura dos países não-Anexo I se equivalerão às responsabilidades dos países Anexo I por volta de 2030.

Fonte: Elaboração própria a partir de JCM5 (MATTHEWS, 2006).

Portanto, a realização de exercícios de avaliação do ponto de intersecção entre as responsabilidades dos países do anexo I e não-anexo I são importantes para a negociação internacional, pois os países desenvolvidos têm argumentado que os países em desenvolvimento devem assumir compromissos quantitativos porque suas emissões anuais seriam em breve equivalentes às dos países desenvolvidos, como o

caso da China em que suas emissões já teriam ultrapassado as dos EUA em 2006⁴⁸. Entretanto, refutamos este argumento utilizando a metodologia empregada nesta tese, pois estimamos que a contribuição das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O da China para o aumento da temperatura se equivalerá à dos EUA depois de 2080 em qualquer cenário de emissões do IPCC, mesmo considerando as variações das estimativas de emissões da mudança do uso da terra.

Todavia, conforme mostrado Tabela 5.2, as responsabilidades históricas de grandes países em desenvolvimento (China, Índia, Brasil e Indonésia) estariam entre as 10 maiores pelo aumento da temperatura média global. Neste caso, deixa de ser válido o argumento de que as responsabilidades históricas dos países desenvolvidos são muito maiores e que os países em desenvolvimento não devem assumir compromissos. Novas metodologias de atribuição das responsabilidades diferenciadas devem ser empregadas para fortalecer o conceito das “responsabilidades comuns mas diferenciadas”, como a responsabilidade per capita.

⁴⁸ De acordo com as estimativas da Agência Holandesa para Avaliação do Meio Ambiente (www.mnp.nl).

6 CONCLUSÕES

As nações enfrentam um grande dilema no combate à Mudança do Clima. O estabelecimento do limite da interferência perigosa do sistema climático é incerto e depende da sensibilidade política. Mesmo que este limite seja acordado, a proposta e adoção de qualquer regra de alocação de esforços de redução de emissões de GEEs ainda será polêmica. A divisão do ônus da mitigação da mudança do clima vem sendo discutida há mais de uma década e está longe de ser resolvida. Regras simples são fáceis de serem compreendidas e têm maiores chances de serem aceitas em negociações. Conceitos de justiça e equidade se tornaram muito evidentes e têm evoluído. Se para os países desenvolvidos é difícil mudar as suas matrizes energéticas, é ainda mais difícil para os países em desenvolvimento mudar o modelo de desenvolvimento. Nesta tese exploramos o conceito do modelo simples climático da proposta da delegação brasileira à Convenção do Clima para a divisão do ônus da mitigação da mudança do clima e calculamos a contribuição relativa para a mudança do clima por país e concluímos que modelos simples são bons instrumentos para o cálculo das responsabilidades históricas. Também concluímos que as maiores incertezas estão relacionadas às estimativas das emissões da mudança do uso da terra, incerteza que também é latente no balanço de carbono das décadas recentes (e.g. IPCC, 2007).

As emissões de CO₂ da mudança do uso da terra, CH₄ e N₂O foram explicitamente excluídas da Proposta do Brasil, porque aplicou a metodologia para os dados disponíveis de emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis (UNFCCC, 1997). Concluímos que a inclusão destes gases e setor influencia consideravelmente no cálculo das contribuições históricas. As emissões de CO₂ da mudança do uso da terra, CH₄ e N₂O foram responsáveis por cerca de 50% do aquecimento global entre 1750 e 2000 e aumentam a contribuição relativa dos países não-Anexo I. A responsabilidade relativa das emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis dos países do Anexo I seria de 77% entre 1750 e 2000, mas incluindo as emissões de CH₄ e N₂O diminuiria para 64% e atribuindo-se as diferentes estimativas de emissões da mudança do uso da terra estaria entre 52 e 58%.

Estimamos que as responsabilidades históricas dos países não-Anexo I se equivalerão às dos países Anexo I depois da metade do século XXI se considerarmos

apenas as emissões históricas de CO₂ oriundas do consumo de combustível fóssil; ao incluirmos as emissões de CH₄ e N₂O e da mudança do uso da terra a intersecção será entre 2015 e 2030.

Também fica evidente que as responsabilidades históricas de grandes países em desenvolvimento (China, Índia, Brasil e Indonésia) estão entre as 10 maiores devido ao aumento da temperatura média global. Entretanto, estes países correspondem a cerca de 80% da população mundial e a discussão sob base per capita fica latente. Além disto, apesar das emissões de GEEs da China terem ultrapassado as dos EUA, o conceito de responsabilidades históricas ressalta que sua contribuição para o aumento da temperatura se equivalerá à dos EUA depois de 2080 com qualquer estimativa usada de emissões da mudança do uso da terra e cenário de emissões do IPCC.

O modelo proposto na Proposta do Brasil (UNFCCC, 1997) não era adequado para o cálculo das concentrações de CO₂ nem para o aumento da temperatura porque utilizava um modelo de carbono impreciso e um modelo climático que não possuía o relaxamento do clima. A revisão do modelo (FILHO e MIGUEZ, 2001) corrigiu estes problemas incorporando ao modelo de carbono a soma de frações exponenciais de decaimento e o relaxamento do sistema climático. A comunidade científica nos últimos anos mostrou que a proposta não tem restrições nos seus aspectos científicos, apenas falta de interesse político para a definição dos aspectos metodológicos. A utilização de modelos simples de carbono e diferentes parametrizações não é uma restrição para o cálculo das contribuições relativas, mas para o cálculo das temperaturas absolutas o consenso de um modelo de carbono é crítico.

A introdução de modelos não lineares no modelo climático simples impossibilita o cálculo analítico das responsabilidades para o aumento absoluto da temperatura (e.g. a soma das contribuições das partes ou de diferentes gases não é igual à contribuição para o aumento da temperatura do todo). Entretanto, não influem consideravelmente nas responsabilidades relativas, pois as influências das não linearidades do ciclo de carbono e do forçamento radiativo praticamente se cancelam. Conseqüentemente, o modelo simples de atribuição de causa e efeito das emissões e aumento da temperatura média global da nota técnica de MEIRA FILHO e MIGUEZ (2001) e ROSA e RIBEIRO (2001) permanecem válidos para cálculos relativos.

Contudo, utilizamos nas nossas estimativas um modelo simples que incorpora as não linearidades do sistema climático sem a perda de eficiência computacional.

As estimativas de emissões históricas por regiões utilizadas em den ELZEN *et al.* (2005a) são incompletas no que diz respeito às emissões da mudança do uso da terra dos países do Anexo I, pois estas são consideradas nulas. Além disto, utilizou-se um escalonamento entre as emissões do EDGAR 1.4 com os cenários do IPCC-SRES em 1990, atribuindo 2 vezes mais emissões da mudança do uso da terra dos países não-Anexo I, saltando de 174 Gt C para 338 Gt C.

Dentre os aspectos metodológicos, o período de tempo escolhido para atribuir responsabilidades para a Mudança do Clima tem grande impacto nas contribuições regionais. Escolhendo períodos mais recentes reduz-se a contribuição dos países desenvolvidos para o aumento da temperatura. Dentre os aspectos científicos, a escolha das estimativas de emissões da mudança do uso da terra tem grande impacto nas contribuições regionais (principalmente nos países onde o desmatamento é relativamente grande e incerto, e.g. Brasil e Indonésia). Entretanto, a limitação dos dados não é um fator limitante para um acordo político baseado na Proposta do Brasil.

Modelos simples de clima são ferramentas poderosas e devem ser usada para avaliar o aquecimento futuro, passado e presente de emissões de diferentes GEEs no lugar do GWP, haja vista que este índice não leva em conta a reposta do clima e compara o efeito cumulativo do forçamento radiativo ao longo de um período futuro em uma atmosfera de composição constante. Por exemplo, o GWP de 20 e 100 anos do CH₄ é 62 e 23, respectivamente; o efeito de um pulso de emissões no aumento da temperatura em 20 e 100 anos do CH₄ é equivalente a 38 e 3 unidades de CO₂, respectivamente.

Em relação às estimativas de emissões da mudança do uso da terra, concluímos que o IVIG/MEMUT-2 responde bem aos cálculos de balanço global de carbono, melhor do que utilizando as emissões de mudança do uso da terra de HOUGHTON e HACKLER (2002) para o fim do século XX. Apesar do IVIG/MEMUT não considerar todas as mudanças de cobertura florestal (desmatamento não associado à conversão para agricultura e pastagem) ele pode ser usado como uma estimativa segura de emissões para a mudança do uso da terra por país. A fonte de dados do IVIG/MEMUT, o banco de dados de mudança de uso da terra do HYDE 2.0, vem sendo amplamente utilizado para estudos relacionados ao balanço do carbono e

aquecimento global (e.g. MCGUIRE *et al.*, 2001 e BROVKIN *et al.*, 2004) e tem se mostrado confiável. Aplicou-se o IVIG/MEMUT com o banco de dados de uso da terra SAGE (RAMANKUTTY e FOLEY, 1999), mas este banco de dados considera apenas as áreas de agricultura ignorando mudanças no uso da terra para pastagem. Recentemente o HYDE lançou a versão 3.0, que incorpora o mapa de 2000 e usa uma resolução de 5' x 5' (klein GOLDEWIJK *et al.*, submetido) que poderá refinar os estudos.

Diferentes classificações de biomas e suas parametrizações influenciaram consideravelmente nas emissões de CO₂ do IVIG/MEMUT-2. A escolha do mapa de vegetação é um dos fatores de maior impacto nas estimativas de emissões de CO₂, pois os mapas de bioma não concordam plenamente nas áreas de florestas e savanas. Esta é uma das explicações entre diferentes estimativas de emissões da mudança do uso da terra. A falta de dados, a complexidade dos vetores do desmatamento, incertezas na classificação de biomas e fatores de conteúdo de carbono, ambigüidades nas definições de floresta tornam as estimativas de emissões da mudança do uso da terra altamente incertas. Portanto, as estimativas das emissões de CO₂ da mudança do uso da terra ainda estão longe de serem conclusivas.

As incertezas das emissões relacionadas às emissões da mudança do uso da terra são grandes para as décadas recentes e ainda maiores para o passado. O IVIG/MEMUT-2 pode ser usado para analisar outros vetores de desmatamento. Apesar de existirem dados mais robustos para a década de 90, ainda são inconclusivos e apenas para alguns países, e.g. os dados de desmatamento por país da pesquisa por país da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO, poderiam ser usados para as décadas de 80 e 90, entretanto ACHARD *et al.* (2004) e DEFRIES *et al.* (2002) demonstraram através de imagens de satélites que as taxas de desmatamento da FAO são superestimadas em 114% para as áreas tropicais, principalmente na África e em 30% sem a África. Portanto, estes dados não são fáceis de serem incorporados e são criticados por alguns autores (e.g. TUCKER e TOWNSHEND, 2000). Ainda que os resultados de taxas de desmatamento sejam refinados para anos recentes, as incertezas associadas ao passado serão grandes e continuarão a assombrar as estimativas das responsabilidades históricas. Portanto, a inclusão dos dados da FAO, ou estudos específicos como imagens satelitais para algumas regiões, enviesará os resultados das emissões presentes em relação às passadas.

A metodologia que desenvolvemos nesta tese para o escalonamento de bancos de dados em nível de regiões das emissões históricas de CH₄, N₂O e CO₂ da mudança do uso da terra para nível de país foi necessária para estimar as contribuições relativas por país. Entretanto, o desenvolvimento de modelos de emissões históricas de CH₄, N₂O por país poderá explorar melhor as incertezas associadas a essas estimativas. O conceito que desenvolvemos de sumidouro potencial da mudança do uso da terra com sendo a integral das emissões passadas, se mostrou funcional para a redução dos cenários do IPCC para nível de país, mas diverge quando usadas diferentes estimativas históricas de emissões. Assim, modelos mais sofisticados devem levar em consideração mudanças na demanda de agricultura, efeito do clima na vegetação etc., porém esta primeira aproximação se mostrou útil para nossas análises.

Portanto, esta tese é uma contribuição relevante ao cálculo das contribuições históricas dos países para a Mudança do Clima, subsidiando importantes princípios da Convenção do Clima. Ela é continuidade de uma série de iniciativas nacionais e internacionais que se desenvolveram durante a década de 1990 e que deverão prosseguir.

BIBLIOGRAFIA

- ACHARD F., H. D. EVA, P. MAYAUX, H. J. STIBIG, and A. BELWARD. 2004. "Improved estimates of net carbon emissions from land cover change in the tropics for the 1990s". *Global Biogeochemical Cycles*, 18: GB2008, doi:10.1029/2003GB002142.
- ACKERMAN, DM. 2004. *Global Climate Change: Selected legal Questions about the Kyoto Protocol*. Counting California. Acessado em 07-06-2004 no endereço <http://countingcalifornia.cdlib.org/crs/pdf/98-349.pdf>.
- AGARWAL, A., NARAIN, S., 1998. *Global Warming: in an unequal world*. New Delhi: Centre for Science and Environment.
- ANDRANOVA, N. SCHLESINGER, M. 2004. "Importance of Sulfate Aerosol in Evaluating the Relative Contributions of Regional Emissions to the Historical Global Temperature Change". *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 9: 383-390. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- ARAÚJO, M.S.M. 2000. *Ética, Equidade e Mudança do Clima*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ARAÚJO, M.S.M.; CAMPOS, C.P; ROSA, L.P. 2007a. "Historical Manure Management N₂O emission and enteric fermentation CH₄ emission of domestic livestock by country". *Climate Research*, Vol. 34: 253-258.
- ARAÚJO, M.S.M.; SILVA, C.; CAMPOS, C.P. 2007b. "Land use change sector contribution to the carbon historical emissions and the sustainability case study of the Brazilian Legal Amazon". *Renewable & Sustainable Energy Review*, (aceito para publicação).
- ARRHENIUS, S. 1896. "On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature on the ground". *Philos. Mag. J. Sci.* S15 41, 237–276.
- BAUMERT, K.A.; BHANDARI, R.; KETE, N. 1999 . *What Might a Developing Country Climate Commitment Look Like?* World Resources Institute. Washington, DC.
- BETTS, R.A. 2000. "Offset of potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo". *Nature*. Vol 408: 187-190.
- BLASER, J. 2006. *International Forest Policies and politics: their implications on deforestation*. Juergen Blaser e Carmenza Robledo. Workshop on Reducing Emissions From Deforestation in Developing Countries, Graz, Viena, 10-12 May, 2006.
- BONAN, G.B.; POLLARD, D.; THOMPSON, S.L. 1992. "Effects of boreal forest vegetation on global climate." *Nature*. Vol 359: 716-718.
- BOND, T. C.; BHARDWAJ, E.; DONG, R.; JOGANI, R.; JUNG, S.; RODEN, C.; STREETS, D. G.; TRAUTMANN, N. M. 2007. "Historical emissions of black and organic carbon aerosol from energy-related combustion, 1850–2000". *Global Biogeochem. Cycles*, Vol. 21, GB2018, doi:10.1029/2006GB002840.
- BRIGADÃO, C. 1992. *Dicionário de Ecologia*. Rio de Janeiro, Brasil: Toplooks.
- BROVKIN, V.; SITCH, S.; BLOH, W.V.; CLAUSSEN, M.C.; BAUER, E.; CRAMER, W. 2004. "Role of land cover changes for atmospheric CO₂ increase and climate change during the last 150 years." *Global Change Biology*, Vol. 10: 1253-1266.

- BROWN, I.F.; MARTINELLI, L.A.; THOMAS, W.W.; MOREIRA M.Z.; FERREIRA, C.A.C.; VITORIA, R.A. 1995. "Uncertainties in the biomass of Amazonian Forest: an example from Rondônia, Brazil", *Forest Ecology and Management*, Vol 75: 175-189.
- BROWN, S. B.; SCHOEDER, P.; KERN, J. S. 1999. "Spatial distribution of biomass in forest of the eastern USA", *Forest Ecology and Management*, Vol.123(2/3): 81-90, jan.1999.
- CAIT. 2003. *Climate Analysis Indicators Tool version 1.5*. Washington, DC: World Resources Institute, 2003. Disponível em: <http://cait.wri.org>.
- CALDEIRA. 2005. *Long-term consequences of continued carbon dioxide emission to the atmosphere*. Ken Caldeira. Department of Global Ecology, Carnegie Institution. In: Seventh Carbon Dioxide Conference – Boulder, Colorado, EUA. Setembro 25-30, 2005.
- CANADELL, J. G.; CIAIS, P.; COX, P.; HEIMANN, M. 2004. "Quantifying, understanding and managing the carbon cycle in the next decades." *Climatic Change*, Vol. 67(2-3): 147-160.
- CENTENO, J.C. 2001. 'Opinions: The need to reforest the Earth', *Climate Change and Forestry Mailing List*, No. 10/2001, 25 julho de 2001. Lista de mensagens da FAO, Food and Agriculture Organization. Página da Internet www.fao.org/forestry/climate, novembro de 2001.
- CHASE, T. N. ; R. A. PIELKE, et al. 2000. "Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter." *Climate Dynamics*, 16(2-3): 93-105.
- CHRISTENSEN, T.R.; COX, P. 1995. "Response of methane emission from arctic tundra to climatic change: results from a model simulation". *Tellus*, 47B: 301-309.
- Claussen, E.; Neilly, L.M. 1998. *The Complex Elements of Global Fairness*. Pew Center on Global Climate Change. Washington, USA.
- COMUNIDADE EUROPÉIA. 1996. 1939th Council meeting Environment. Council conclusions 8518/96. Luxemburgo.
- CONVENÇÃO DO CLIMA, 1992. Convenção Sobre a Mudança do Clima. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Publicado pela Unidade de Informações sobre Mudança do Clima (PNUMA) (IUC) em nome do Secretariado Permanente da Convenção. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. 30p
- de CAMPOS, C.P. 2001. A Questão da Conservação de Florestas Tropicais na Mitigação da Mudança do Clima e no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Dissertação de Mestrado. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- de CAMPOS, C. P. ; ARAÚJO, M.S.; ROSA, L.P. 2005. "Historical CO2 emission and concentrations due to land use change of croplands and pastures by country." *Science of the Total Environment*, Vol. 346(1-3): 149-155.
- DEFRA 2005. *Avoiding Dangerous Climate Change - Event sponsored by UK Department for Environment, Food and Rural Affairs*. Acessado em março de 2006 no endereço www.stabilisation2005.com.

- DEFRIES R. S., R. A. HOUGHTON, M. C. HANSEN, C. B. FIELD, D. SKOLE, and J. TOWNSHEND. 2002. "Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 90s." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 99:14256-14261.
- den ELZEN, M. e SCHAEFFER, M. 2002. "Responsibility for past and future global warming: Uncertainties in attributing anthropogenic climate change". *Climatic Change*, 54(1-2): 29–73.
- den ELZEN, M.; BERK, M.; SHAEFFER, M.; OLIVIER, J.; HENDRICKS, C.; METZ, B. 1999. The Brazilian proposal and others to international burden of responsibilities: a policy evaluation and methodological aspects using the FAIR model. Global Change, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change (RIVM report no. 410200029). Bilthoven, The Netherlands.
- den ELZEN, M.; FUGLESTVEDT, J.; HÖHNE, N.; TRUDINGER, C.; LOWE, J.; MATTHEWS, B.; ROMSTAD, B; de CAMPOS, C.P; ANDRONOVA, N. 2005a. "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific uncertainties and methodological choices". *Environmental Science and Policy*, 8: 614-636.
- den ELZEN, M.; SCHAEFFER, M.; LUCAS, P. 2005b. "Differentiating future commitments on the basis of countries' relative historical responsibility for climate change: uncertainties in the "Brazilian Proposal" in the context of a policy implementation". *Climatic Change*, VOL. 71: 277-301.
- EDGAR. 2004. *Emission Database for Global Atmospheric Research*. Endereço da Internet <http://arch.rivm.nl/env/int/coredata/edgar/>.
- ENTING, I. 1998. *Attribution of greenhouse gas emissions, concentrations and radiative forcing*. Technical Paper 38, Aspdale Victoria, Australia.
- FAO 1990. "Forest Resources Assessment 1990". Tropical countries. FAO Forestry Paper 112. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Roma, Itália.
- FAO 1995. "Forest Resources Assessment 1990. Global Synthesis". Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. FAO Forestry Paper 124. Roma, Itália.
- FAO 2001a. "State of the World's Forests 2001". Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. 191 p. Roma.
- FAO 2001b. "Global Forest Resources Assessment 2000 main report." Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. 479 p. Roma.
- FAO 2005. "Global Forest Resources Assessment 2005" Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação.
- FAOSTAT. 1996. *Banco de dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação*. Disponível no endereço <http://faostat.fao.org>, acessado em 1996.
- FAOSTAT. 2006. *Banco de dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação*. Disponível no endereço <http://faostat.fao.org>, acessado em maio de 2005.
- FEARNSIDE, P.M. 2000. "Global Warming and Tropical Land Use Change: Greenhouse Gas Emissions from Biomass Burning, Decomposition and soils in Forest Conversion, Shifting Cultivation and Secondary Vegetation". *Climate Change* v.46, pp. 115-158. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

- FEDDEMA, J.; OLESON, K; MEARNNS, G.B.L.; WASHINGTON, W. NYCHKA, G.M.D. 2005. "A comparison of a GCM response to historical anthropogenic land cover change and model sensitivity to uncertainty in present-day land cover representations." *Climate Dynamics*, 22(6): 581-609.
- FERNANDES, S. D.; TRAUTMANN, N. M.; STREETS, D. G.; Roden, C. A.; BOND T. C. 2007. "Global biofuel use, 1850 – 2000". *Global Biogeochem. Cycles*, 21, GB2019, doi:10.1029/2006GB002836.
- GITZ, V. *Usage des terres et politiques climatiques globales*. Thèse de doctorat de Sciences de l'Environnement, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts. Paris, France.
- GOSSERIES, A. 2004. *Historical Emissions and Free-riding*. Mimeo. Post-Doctoral Reesearch Fellow (Belgian National Fund for Scientific Research – FNRS, Belgium), Université catholique de Louvain.
- GOVINDASAMY, B., P. B. DUFFY, et al. (2001). "Land use Changes and Northern Hemisphere Cooling." *Geophysical Research Letters*, Vol. 28(2): 291-294.
- GRUBB, M. 1995. "Seeking fair weather: ethics and the international debate on climate change". *Int. Affairs*, 71(3): 463–496.
- HARVEY, D., GREGORY, J., HOFFERT, M., JAIN, A., LAL, M., LEEMANS, R., RAPER, S., WIGLEY, T. AND WOLDE, J. de 1997. *An introduction to simple climate models used in the IPCC second assessment report*. IPCC Technical Paper II, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- HAXELTINE, A.; PRENTICE, I. C. 1996. "BIOME3: An equilibrium terrestrial biosphere model based on ecophysiological constraints, resource availability, and competition among plant functional types". *Global Biogeochem. Cycles*, Vol. 10(4), p. 693-709 (96GB02344).
- HÖHNE, N. e ULLRICH, S. 2003. *Third expert meeting on scientific and methodological aspects of the proposal by Brazil, 8-9 September*, Meeting report, ECOFYS, www.match-info.net, Cologne.
- HÖHNE, N.; BLOK, K. 2005. "Calculating historical contributions to climate change – discussing the 'Brazilian Proposal'". *Climatic Change*, 71: 141-173.
- HOLDRIDGE, L.R. 1967. *Life Zone ecology*. Ver. Ed. San José, Costa Rica, Tropical Science Center, 266p.
- HOUGHTON, R. A.; HOBBIE, J. E.; Melillo, J. M.; MOORE, B.; PETERSON, B. J; SHAVER, G. R.; WOODWELL, G. M. 1983 "Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980 – A net release of CO₂ to the atmosphere". *Ecol. Monogr.*, Vol. 53(3), 235–262.
- HOUGHTON, R.A., 1991a. "Releases of carbon to the atmosphere from degradation of forests in tropical Asia", *Canadian Journal of Forest Research*, Vol 21(1): 87-90.
- HOUGHTON, R.A. 1991B. "Tropical Deforestation and Atmospheric Carbon-Dioxide." *Climatic Change*, Vol. 19(1-2): 99-118.
- HOUGHTON, R.A., SKOLE, D.L., LEFKOWITZ, D.S. 1991. "Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. 2. Net release of CO₂ to the atmosphere". *Forest Ecology and Management*, Vol.38(3/4):173-99.
- HOUGHTON, R.A. 1996. "Converting terrestrial ecosystems from sources to sinks of carbon", *Ambio* 25(4): 267-272.

- HOUGHTON, R.A., 1999. "The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850 – 1990", *Tellus*, Vol 51B: 298-313.
- HOUGHTON, R.A. e D. SKOLE, C. NOBRE. 2000. "Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon". *Nature*, 403: 301-304.
- HOUGHTON, R.A. 2001. "Counting terrestrial sources and sinks of carbon." *Climatic Change*, Vol. 48(4): 525-534.
- HOUGHTON, R.A. 2003. "Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000." *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 55(2): 378-390.
- HOUGHTON, R. A.; HACKLER, J.L. 2003. "Sources and sinks of carbon from land-use change in China." *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 17(2): -.
- HOUGHTON, R.A. e HACKLER, J.L. 2002. *Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes*. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- HOYT, D.V.; SCHATTEN K.H. 1998. "Group sunspot numbers: A new solar activity reconstruction", *Solar Phys.*, 181, 491-512.
- HURTT, GC; FROLKING, S.; FEARON, M.G.; MOORE B.; SHEVLIAKOVA, E.; MALYSHEV, S.; PACALA, S.W.; HOUGHTON, R.A. 2006. "The underpinnings of land-use history: three centuries of global gridded land-use transitions, wood-harvest activity, and resulting secondary lands". *Global Change Biology*, Vol 12:7, 1208–1229. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01150.x
- INPE. 2000. *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 1998-1999*. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial: Documento da Internet no endereço www.inpe.gov.br.
- INPE. 2007. *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 1988-2006*. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial: Documento da Internet no endereço www.obt.inpe.gov.br/prodes.
- IPCC, 1995. *Climate Change 1995: The Science of climate Change*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, Meira Filho, L.G.; Callender, B.A.; Harris, N.; Cattenberg, A.; Maskell, K. (eds.) Cambridge University Press, United Kingdom.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguer, M.; van der Linden, P.J.; Dai, X.; Maskell, K.; Johnson, C.A. (eds.). Cambridge University Press, United Kingdom.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Manning, R.B.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- ITO, A. e PENNER, J.E. 2005. "Historical emissions of carbonaceous aerosols from biomass and fossil fuel burning for the period 1870-2000". *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 19, GB2028, doi:10.1029/2004GB002374.

- IVIG/SCE. 2004. Contribuições Históricas Brasileiras das Emissões de GEE, Concentrações e Mudança do Clima do Setor de Energia e Mudança do Uso da Terra. Relatório do projeto IVIG/COPPETEC/UFRJ: 4601, IVIG, Rio de Janeiro, Brasil.
- JAIN, A. K.; YANG, X. 2005. "Modeling the effects of two different land cover change data sets on the carbon stocks of plants and soils in concert with CO₂ and climate change". *Global Biogeochem. Cycles*, Vol 19(2), GB2015, doi:10.1029/2004GB002349.
- JOOS, F.; BRUNO, M.; FINK, R.; SIGENTHALER, U.; STOCKER, T.F.; QUÉRÉ, C.L.; Sarmiento, J.L. 1996. "An efficient and accurate representation of complex oceanic and biospheric models of anthropogenic carbon uptake". *Tellus*, 48B, 397-417.
- JOYCE, L.A., BIRDSEY, R.A., HAYNES, R.W., HEATH, L.S., MCGUIRE, A.L., MASSMAN, W., MILLS, J.R., 1995. *Productivity of America's Forests and Climate Change*. Washington, DC: United States Department of Agriculture.
- Klein GOLDEWIJK, C.G.M. 2001. "Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE Database". *Global Biogeochemical Cycles*, 15(2): 417-433.
- Klein GOLDEWIJK, C.G.M.; BATTJES, J.J. 1997. *A hundred year (1890-1990) database for integrated environmental assessments (HYDE, version 1.1)*, Rep. 422514002, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, The Netherlands.
- Klein GOLDEWIJK, C.G.M.; van DRECHT, G.; BOUWMAN, L. 2006. "Mapping contemporary global cropland and rangeland maps on a 5' resolution grid". Subm.
- KOSKELA, J., NYGREN, P., BERNINGER, F., LUUKKANEN, O. 2000. Tropical Forestry Reports: Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use: prospects and pitfalls. University of Helsinki, Department of forest Ecology. 87 pag.
- KRUG, T. 2006. *Policy Approaches and Incentives within a Country - an Example from Brazil*. Thelma Krug, National Institute for Space Research, Inter-American Institute for Global Change Research, Workshop Reducing Emissions From Deforestation in Developing Countries, Graz, 10-12 May, 2006.
- LAMBIM, E.F.; GEIST, H.J.; LEPERS, E. 2003. "Dynamics of land-use and landcover change in tropical regions". *Annual Rev Environ Resources*, Vol. 28:205– 41.
- LEAN, J.; BEER, J.; BRADLEY, R.S. 1995. "Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change", *Geophys. Res. Lett.*, 22, 3195-3198.
- LEEMANS, R.; van den BORN, G.J. 1994. "Determining the potential global distribution of natural vegetation, crops and agricultural productivity". *Watl. Air Soil Pollut.*, Vol. 76(1-2): 133-162.
- LORENA, R.B. 2003. Evolução do uso da terra em porção da Amazônia ocidental (Acre), com uso de técnicas de detecção de mudanças. Dissertação de mestrado. INPE. São José dos Campos.
- LOVELAND, T.R.; BELWARD, A.S. 1997. "The IGBP-DIS global 1km land cover data set, DISCover: first results". *Int. J. of Remote Sens.*, Vol 18: 3289-3295.

- MARLAND, G.; ANDRES, R. J.; BODEN, T. A.; JOHNSTON, C.; A. BRENKERT, 1999. Global, Regional, and National CO₂ Emission Estimates from Fossil Fuel Burning, Cement Production, and Gas Flaring: 1751-1996 (revised March 1999), Dataset NDP030. Carbon Dioxide Information and Analysis Center (CDIAC), Oak Ridge Laboratory, Oak Ridge, Estados Unidos da América.
- MATTHEWS B.J.H; van YPERSELE, J.P. 2003. UNFCCC Article 2, Stabilisation and Uncertainty, Engaging Citizens with a Web-Based Climate Model. Abstracts of World Climate Change Conference, Moscow.
- MATTHEWS B.J.H, 2004. *Optimal Climate Stabilisation under Uncertainty, Can an Interactive Model Make Risk Analysis More Transparent(ly)?* 2nd Workshop on Integrated Climate Models: an Interdisciplinary Assessment of Climate Impacts and Policies, ICTP Trieste, Italy. <http://www.ictp.trieste.it/~eee/workshops/smr1579/smr1579.htm>
- MATTHEWS, B.J.H. 2006. *Java Climate Model*. Updated 20th March 2007. Modelo com código fonte aberto: www.climate.be/jcm, www.chooseclimate.org.
- MCGUIRE, A. D.; SITCH, S.; CLEIN, J. S.; DARGAVILLE, R.; ESSER, G.; FOLEY, J.; HEIMANN, M.; JOOS, F.; KAPLAN, J.; KICKLIGHTER, D. W.; MEIER, R. A.; MELILLO, J. M.; MOORE, B.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; REICHENAU, T.; SCHLOSS, A.; TIAN, H.; WILLIAMS, L. J.; WITTENBERG, U. 2001. "Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO₂, climate and land use effects with four process-based ecosystem models". *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 15(1): 183-206.
- MCT 2001. *A Contribuições Históricas por países nas Emissões de Três Gases de Efeito Estufa (GEE)*. Relatório do projeto IVIG/COPPETEC/UFRJ:2747. IVIG/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- MEINSHAUSEN, M.; HARE, B.; WIGLEY, T.; Van VUUREN, D.; den ELZEN, M.; SWART, R. 2006. "Multi-gas emission pathways to meet climate targets". *Climatic Change*, Vol. 75(1-2): 151-194.
- MEIRA FILHO, L.G.; MIGUEZ, J.D.G. 2000. Technical Note: Note on the Time-dependent relationship between emissions of greenhouse gases and climate change. Ministry of Science and Technology, Federative Republic of Brazil.
- MYHRE, G.; MYHRE, A. 2003. "Uncertainties in Radiative Forcing due to Surface Albedo Changes Caused by Land-Use Changes". *Journal of Climate*, 16(10): 1511-1524.
- NAÇÕES UNIDAS. 1995. *World Population Prospects, 1950-2050*. The 1994 Revision, Rep. ST/ESA/SER.A/145, UN Population Division, New York.
- NAKICENOVIC, N. ALCAMO, J., DAVIS, G., de VRIES, B., FENHANN, J., GAFFIN, S., GREGORY, K., GRÜBLER, A. et al. 2000. Special Report on Emissions Scenarios (SRES). Working Group III of the International Panel on Climate Change (IPCC), 595 pp. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. (<http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>)
- NEUMAYER, E. 2000. "In defence of historical accountability for greenhouse gas emissions." *Ecological Economics*. Vol. 33: 185-192.
- NILSSON, S., SHVIDENKO, A., STOLBOVOI, V., GLUCK, M., JONAS, MATTHIAS, OBERSTEINER, M., 2001. *Full Carbon Account for Russia*. Endereço da Internet <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-00-021.pdf>, abril de 2001.

- OLIVER, J.E. 2005. *Encyclopedia of World Climatology*. 420 p. Published by Springer. Great Britain.
- PEREIRA, A.S. 2002. Do fundo ao mecanismo: gênese, características e perspectivas para o mecanismo de desenvolvimento limpo ao encontro ou de encontro à equidade. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- PERMAN, R.; MA, Y; MCGILVRAY, J. 1997. *Natural resource and Environmental Economics*. Editora Longman. 396 pgs.
- PERSHING, J. 2001. *Applying the Brazil Proposal: Data Issues*. Jonathan Pershing, International Energy Agency. Expert Meeting on the Review of Scientific and Methodological Aspects of the Proposal by Brasil. Bonn, Germany. May, 2001.
- PERSHING, J. 2006. *A Review of WRI's Climate Analysis Indicator Tool (CAIT)*. Jonathan Pershing, Climate, Energy and Pollution Program, World Resources Institute. Workshop International Climate Policy Post-2012 – Quantitative Tools and Negotiating Capacity. Beijing, China. February, 2006.
- PHILLIPS, O.L., MALHI, Y., HIGUCHI, N., LAURANCE, W.F., NUNEZ, P.V., VASQUEZ, R.M., LAURANCE, S.G., FERREIRA, L.V., STERN, M., BROWN, S., GRACE, J. 1998. "Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots", *Science* 282, 439–442.
- PIBE-GEE. 2004. Primeiro Inventário Brasileiros de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito estufa – Relatórios de Referência: Emissões e Remoções de Dióxido de Carbono por conversão de florestas e abandono de terras cultivadas. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília – DF.
- PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997. Protocolo de Quioto. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. 34p.
- RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. 1999. "Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992". *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 13(4): 997-1027.
- RAPER, S.C.B., GREGORY, J.M., OSBORN, T.J. 2001. "Use of an upwelling diffusion energy balance climate model to simulate and diagnose AOGCM results". *Climate Dyn.*, Vol. 17: 601–613.
- RICHARDS, J.F. 1990. *Land transformation, in The Earth as Transformed by Human Action*. Edited by B.L. Turner II et al., pp. 163-178, Cambridge Univ. Press, New York, 1990.
- RICHARDS, J.F.; FLINT, E. 1994. Historic land use and carbon estimates for South and Southeast Asia 1880-1980, Data set NDP-046 CDIAC/ORNL. Carbon Dioxide Infor. Anal. Cent., Oak Ridge Natl. Lab. Oak Ridge, Tenn.
- RODRIGUES, R.L.V. 2004. *Análise dos fatores determinantes do desflorestamento da Amazônia Legal*. Tese de D.Sc. PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- ROSA, L. P.; SCHAEFFER, R. 1995. "Global Warming Potentials. The Case of Emissions from Dams. *Energy Policy*, v. 23(2), p. 149-158, 1995.
- ROSA, L.P.; RIBEIRO, S.K. 1997. *The share of responsibility between developed and developing countries in climate change, Greenhouse Gas Mitigation*. In: Riemer, P.W.F., Smith, A.Y., Thambimuthu, K.V., Pergamon, 1998. (Eds.), Proceeding from the International Energy Agency Conference on GHG, Vancouver.

- ROSA, L.P., RIBEIRO, S. K., 1998. "Activities implemented jointly and the use of fuel alcohol in Brazil for abating CO2 emissions". *Energy Policy*, Vol. 26(2): 103-111.
- ROSA, L.P.; RIBEIRO, S.K. 2001. "The Present, Past, and Future Contributions to Global Warming of CO2 Emissions from Fuels". *Climatic Change*, Vol. 48(2-3): 289-308.
- ROSA, L.P.; RIBEIRO, S.K., MUYLAERT, M.S., CAMPOS, C.P. 2004 "Comments on the Brazilian Proposal and contributions to global temperature increase with different climate responses - CO2 emissions due to fossil fuels, CO2 emissions due to land use change". *Energy Policy*, Vol. 32(13): 1499-1510.
- ROTMANS, J.; SWART, R.J. 1990. "The role of the CH₄-CO-OH cycle in the greenhouse problem." *The Science of the Total Environment*, 94(3): 233-252. Elsevier.
- ROVERE, E. L. L. ; MACEDO, L. V. ; BAUMERT, K. A. 2002. *The Brazilian proposal on relative responsibility for global warming*. In: Baumert,K.A.; Blanchard, O.; Llosa, S.; Perkaus, J.F. (Org.). Building on the Quioto Protocol: options for protecting the climate. Washington DC: World Resources Institute, v., p. 157-174.
- SANTOS, E.O. 1999. Contribuição ao Estudo do Fluxo de Dióxido de Carbono dentro da Floresta Amazônica. Dissertação de M.Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- SHAFFER, G. and SARMIENTO, J. 2005. "Biogeochemical cycling in the global ocean 1. a new, analytical model with continuous vertical resolution and high-latitude dynamics". *J. Geophys. Res.*, Vol. 100(C2), 2659—2672.
- SHERRILL, E.I. 1999. Padrões de uso do solo, desmatamento na Amazônia e seus impactos ecológicos globais: um modelo econômico-ecológico de dinâmica regional. Tese de D.Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- SHINE, K.P.; FUGLESTVEDT, J.S.; HAILEMARIAM, K.; STUBER, N. 2005. "Alternatives to the Global Warming Potential for Comparing Climate Impacts of Emissions of Greenhouse Gases". *Climatic Change*, Vol 68: 281-302.
- SWART, R.J.; DE BOOIS, H.; ROTMANS, J. 1989 "Targeting climate change". *International Environmental Affairs*, Vol. 1, Part 3.
- THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE. 2001. *The Science of Climate Change*. Australian Academy of Sciences, Royal Flemish Academy of Belgium for Sciences and the Arts, Brazilian Academy of Sciences, Royal Society of Canada, Caribbean Academy of Sciences, Chinese Academy of Sciences, French Academy of Sciences, German Academy of Natural Scientists Leopoldina, Indian National Science Academy, Indonesian Academy of Sciences, Royal Irish Academy, Accademia Nazionale dei Lincei (Italy), Academy of Sciences Malaysia, Academy Council of the Royal Society of New Zealand, Royal Swedish Academy of Sciences, and Royal Society (UK). Página da Internet, www.royalsoc.ac.uk/templates/statements, visitada em julho de 2001.
- TOBLER, W.; DEICHMANN, U.; GOTTSEGEN, J.; Maloy, K. 1995. *The global demography project*. Tech Rep. TR-95-6, National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), Santa Bárbara, Califórnia, 1995.
- TRUDINGER, C.M.; ENTING, I.G. 2004. "Comparison of formalisms for attributing responsibility for climate change: non-linearities in the Brazilian Proposal". *Climatic Change*, Vol. 68: 67-99.

- TUCKER, C. J.; TOWNSHEND, J. R. G. 2000. "Strategies for monitoring tropical deforestation using satellite data". *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 21, 1461–1471.
- UNFCCC. 1997. *United Nations Framework on Climate Change: Ad Hoc Group on the Berlin Mandate*. Implementation of the Berlin Mandate: Additional proposals from Parties – Addendum – Note by the secretariat. 30 May 1997. FCCC/AGBM/1997/MIS.1/Add.3.
- UNFCCC. 1998. United Nations Framework on Climate Change: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice. Matters referred to the subsidiary body for scientific and technological advice by the plenary of the conference of the parties. 6 November 1998. FCCC/SBSTA/1998/L.7.
- UNFCCC. 1999. *United Nations Framework on Climate Change: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice*. Methodological Issues: Scientific and Methodological Aspects of the Proposal by Brazil. 30 October 1999. FCCC/SBSTA/1999/L.13.
- UNFCCC. 2001a. *United Nations Framework on Climate Change: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice*. Scientific and Methodological Aspects of the Proposal by Brazil. 10 July 2001. FCCC/SBSTA/2001/INF.2.
- UNFCCC. 2001b. Banco de Dados da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Página da Internet ghg.unfccc.int, julho de 2001.
- UNFCCC. 2001b. *United Nations Framework on Climate Change: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice*. Scientific and Methodological Aspects of the Proposal by Brazil. 26 July 2001. FCCC/SBSTA/2001/L.2.
- UNFCCC. 2001c. *United Nations Framework on Climate Change: UNFCCC secretariat*. Scientific and Methodological Aspects of the Proposal by Brazil: Background Paper. 9 April 2001.
- UNFCCC. 2002a. *United Nations Framework on Climate Change: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice*. Scientific and Methodological Aspects of the Proposal by Brazil. 16 October 2002. FCCC/SBSTA/2002/INF.14.
- UNFCCC. 2002b. *Methodological Issues: Scientific and Methodological Aspects of the Proposal by Brazil*. United Nations Framework on Climate Change: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice. 29 October 2002. FCCC/SBSTA/2001/INF.2.
- UNFCCC. 2006. *Scientific and methodological aspects of the Proposal by Brazil*. United Nations Framework on Climate Change: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice. 24 May 2006. FCCC/SBSTA/2006/L.13.
- USEPA. 2000. *Climate change resources: glossary*. Endereço da Internet www.epa.gov/globalwarming/publications/outreach/general/glossary.pdf, novembro de 2000.
- USEPA. 2003. *Global Anthropogenic Emissions of Non-CO₂ Greenhouse Gases 1990-2020*. (EPA Report 430-R-06-003) U.S Environmental Protection Agency. Endereço da internet <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international.html>, acessado em junho de 2007.
- van AARDENNE, J. A. ; DENTENER, F. J. ; OLIVIER, J.G.J. ; GOLDEWIJK, C.G.M.K.; LELIEVELD, J. 2001. "A 1 degrees x 1 degrees resolution data set of historical anthropogenic trace gas emissions for the period 1890-1990." *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 15(4): 909-928.

- VERBURG, P. 2005. *Models of Land Use and Land Cover Change: Progress over the last ten years*. Wageningen University, The Netherlands. LUCF Focus 3 office.
- WATSON, R.T.; NOBLE, I.R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, D.J.; DOKKEN, D.J. 2000. *Special Report: Land Use, Land-use Change, and Forestry*. Intergovernmental Panel on Climate Change. A Special report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- WMO. 2006. *World Data Centre for Greenhouse Gases, World Meteorological Global Atmosphere Watch*. Acessado em março de 2006 <http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg.html>.
- WOFSY. 2005. *Controls of carbon budgets in terrestrial ecosystems*. Steven C. Wofsy, Harvard University. In: Seventh Carbon Dioxide Conference – Boulder, Colorado, EUA. Setembro 25-30, 2005.
- WUNDER. 2006. *Causes and drivers of tropical deforestation: Can we reduce forest loss through global payments?* Sven Wunder, senior economist, CIFOR. Workshop on Reducing Emissions From Deforestation in Developing Countries, Graz, Viena, 10-12 May, 2006.