

Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas



Carlos A. Nobre
Julia Reid
Ana Paula Soares Veiga



Realização

Rede CLIMA e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas

Projeto gráfico e diagramação

Magno Studio

Fotos da capa e contra-capas

Agência Estado, Eduardo Arraut,
Fabiano Scarpa, Julia Reid, SxChu

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Nobre, Carlos A.

Fundamentos científicos das mudanças climáticas
/ Carlos A. Nobre, Julia Reid, Ana Paula Soares Veiga.
- São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012.
44 p.

Transcrição de palestra proferida por Carlos A.
Nobre em novembro de 2010 em Brasília, DF

ISBN: 978-85-17-00064-5

1. Mudança climática. I. Reid, Julia. II. Veiga, Ana
Paula Soares. III. Título.

Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas

Carlos A. Nobre
Julia Reid
Ana Paula Soares Veiga

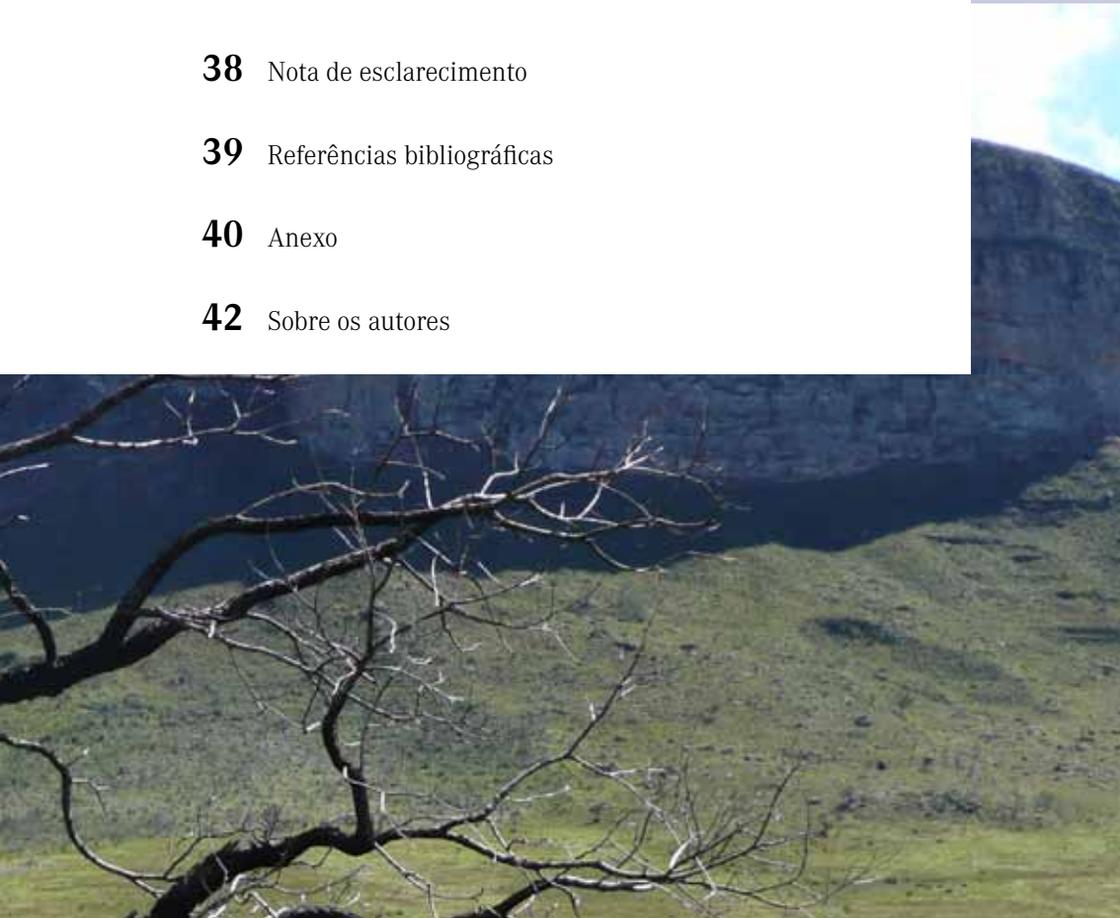
Texto elaborado a partir da transcrição da palestra “Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas”, proferida por Carlos A. Nobre em Brasília (DF) em 11 de novembro de 2010, como parte da programação do Seminário Internacional Mudanças Climáticas, organizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas e Defesa do Meio Ambiente. A elaboração do texto, de autoria de Julia Reid, incluiu pesquisas de base científica e inserção de figuras ilustrativas. Também foram realizadas revisão e adaptação de linguagem, por Ana Paula Soares Veiga.

1ª edição
INPE
São José dos Campos
2012

Índice

- 06** Abreviaturas e siglas
- 07** Apresentação
- 08** Principal razão da elevação da temperatura média na Terra nos últimos 150 anos: natural versus antropogênica
- 21** Quais são os *feedbacks* positivos e negativos do CO₂?
- 25** As projeções de mudanças climáticas do IPCC foram superestimadas?
- 29** Quais são as consequências das mudanças climáticas e do aquecimento global para a economia e a saúde humana?



- 
- 31** Como devem ser analisados os erros cometidos pelo IPCC em relação às geleiras do Himalaia?
 - 32** Qual é o papel das nações em desenvolvimento e desenvolvidas em relação às mudanças climáticas?
 - 35** Para onde caminhamos?
 - 38** Nota de esclarecimento
 - 39** Referências bibliográficas
 - 40** Anexo
 - 42** Sobre os autores
- 

Abreviaturas e siglas

CFC	Clorofluorcarbono ou clorofluorcarboneto
COP 15	15ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, realizada em Copenhague em 2009
COP 16	16ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, realizada em Cancun em 2010
COP 17	17ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, realizada em Durban em 2012
EUA	Estados Unidos da América
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GEE	Gases de Efeito Estufa
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
IPCC-AR4	Fourth Assessment Report (Quarto Relatório de Avaliação do IPCC)
IPCC-AR5	Fifth Assessment Report (Quinto Relatório de Avaliação do IPCC)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PIB	Produto Interno Bruto
SRES	Special Report on Emission Scenarios (Relatório Especial de Cenários de Emissões, elaborado pelo IPCC)
UNEP	United Nations Environment Programme (PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)
USP	Universidade de São Paulo

Apresentação

O tema mudanças climáticas tornou-se recorrente em nosso cotidiano, em reportagens dos meios de comunicação, nas escolas, nas esferas governamentais. Pela sua abrangência, complexidade e multidisciplinaridade, as pesquisas visando o entendimento de suas causas, de seus impactos e formas de mitigação representam um dos maiores desafios da ciência, em nível global.

Esta publicação, dirigida a estudantes, educadores, responsáveis por políticas públicas, profissionais de comunicação e público em geral, tem como objetivo apresentar, em linguagem acessível, a fundamentação científica das mudanças climáticas, embasada no conhecimento mais atualizado existente sobre o assunto.

Esperamos que o material possa ser útil na divulgação científica das mudanças climáticas, contribuindo para a conscientização da importância das ações em direção a uma economia comprometida com a redução das emissões de gases de efeito estufa, ao desenvolvimento sustentável e à erradicação da pobreza.

Boa leitura!

Os autores

Meu objetivo neste seminário é tratar da fundamentação científica das mudanças climáticas – portanto, da ciência, uma vez que não existe verdade absoluta em ciência. Ciência é muito diferente, por exemplo, de religião. Ela está sempre evoluindo e buscando a melhor explicação para o que acontece na natureza. E a beleza do método científico é a possibilidade da autocorreção, o que a religião não permite. A religião é composta de verdades imutáveis e absolutas, que alguém escreveu em algum momento da história, e aquilo não muda. As diferenças podem parecer um pouco retóricas, mas são fundamentais para entender inclusive a natureza de algumas críticas ao trabalho do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas).

Principal razão da elevação da temperatura média na Terra nos últimos 150 anos: natural versus antropogênica.

Primeira pergunta: por que a temperatura está aumentando nos últimos 150 anos, e qual é a responsabilidade de ações humanas versus processos naturais nesse aquecimento? O clima varia naturalmente em todas as escalas temporais e espaciais. Isso pode ser percebido no acompanhamento da variação climática da Terra nos últimos 800 mil anos (Figura 1), que pode ser comprovada a partir do registro deixado pelas bolhas de ar aprisionadas nas geleiras da Antártica. Há todo tipo de variação.

Nos últimos 400 mil anos, ocorreram quatro ciclos distintos. Esses ciclos são glaciais e interglaciais. No pico interglacial, no qual nos encontramos, a temperatura está mais alta cerca de 5°C a 6°C em relação ao pico do último período glacial, 20 mil anos atrás. Há 120 mil anos, tivemos o último período interglacial e a temperatura estava um pouco acima da temperatura atual.

Destaca-se que todas essas variações são naturais. Não há tempo, nesta curta palestra, para explicar por que isso acontece. Só que nos últimos 100 a 150 anos, o ritmo em que a temperatura começou a subir está muito maior do que ocorria até então. Por exemplo, na última glaciação, há 20 mil anos, como já dito acima, a superfície do planeta estava de 5°C a 6°C mais fria. A Terra levou 10 mil anos para aquecer e entrar na fase interglacial, que chamamos de Holoceno. Agora, nas últimas duas décadas, ela está aquecendo quase 0,2°C por década, que é um ritmo 50 vezes mais acelerado do que o ciclo natural glacial-interglacial. Alguma coisa diferente está acontecendo. Se fosse natural teria de ser explicado o que justifica o planeta se aquecer numa velocidade tão espantosa, completamente fora do que conhecemos por vários milhões de anos.

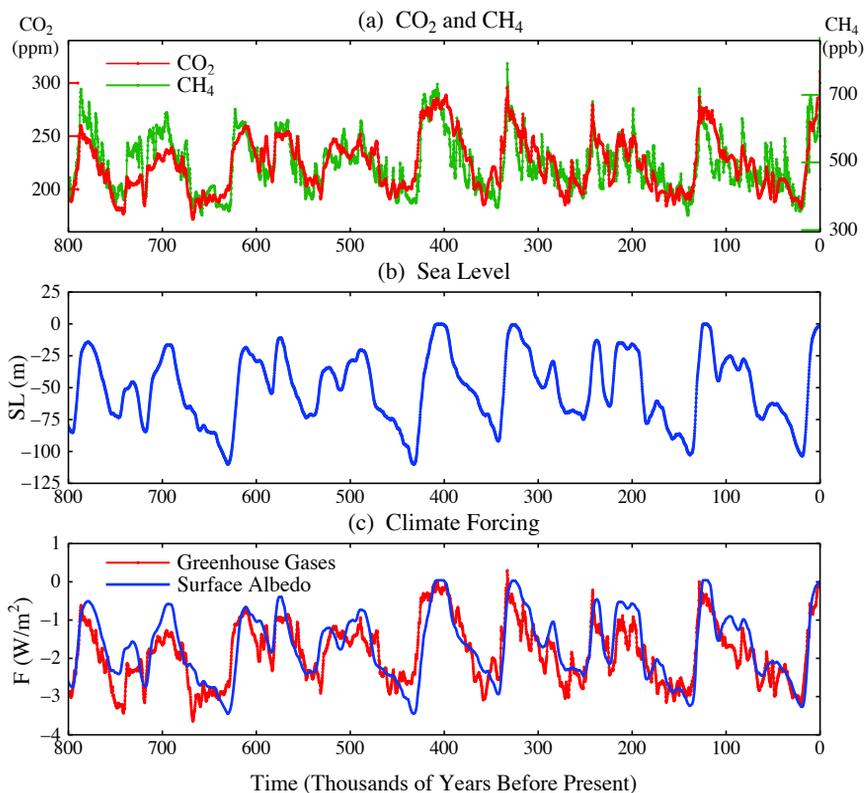


Figura 1. CO₂ e CH₄, nível do mar e forçantes climáticas resultantes para os últimos 800 mil anos. Fonte: Hansen et al. 2008.

A Figura 2 (*na próxima página*), do último relatório do IPCC de 2007, traz um quadro em que o aquecimento aparece como inequívoco. A temperatura média global à superfície subiu quase 0,8°C nos últimos 120

anos, o nível do mar subiu quase 20 centímetros na média global durante o Século XX, a área coberta com neve está diminuindo e as geleiras estão derretendo.

Mudanças na Temperatura, no Nível do Mar e na Cobertura de Neve do Hemisfério Norte

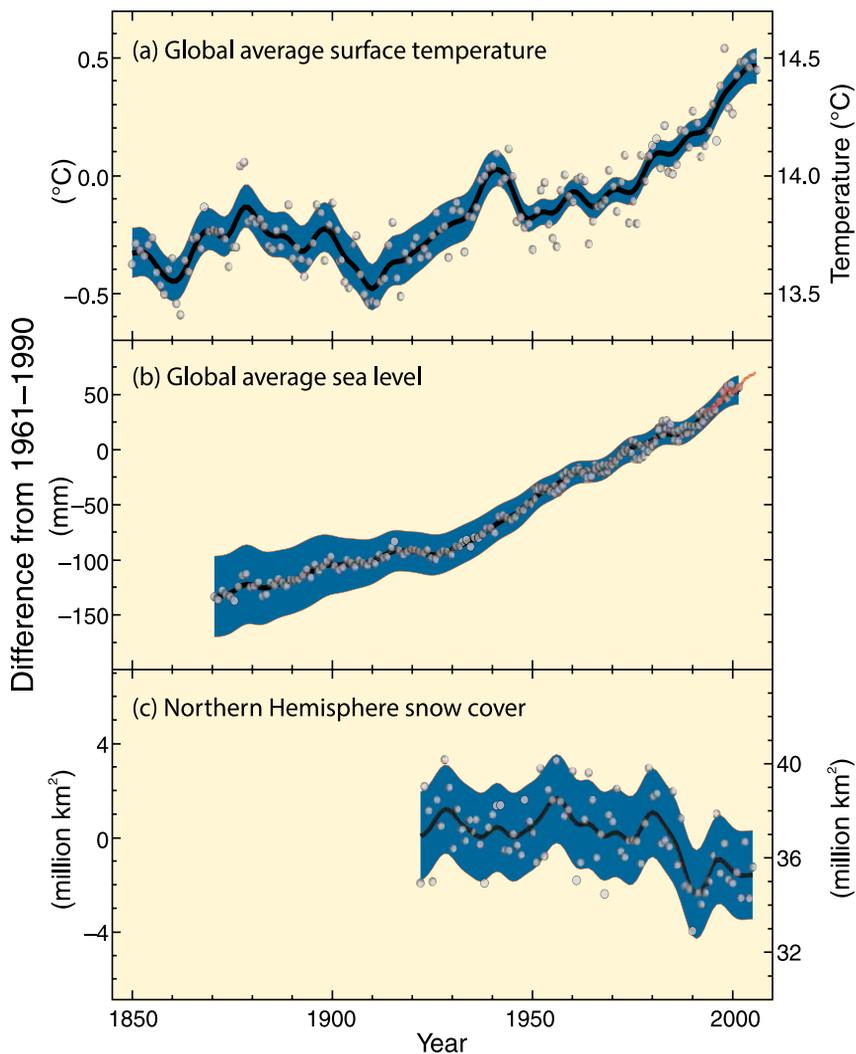


Figura 2. Mudanças observadas na (a) temperatura média global da superfície; (b) média global da elevação do nível do mar a partir de dados de marégrafos (azul) e satélites (vermelho) e (c) cobertura de neve do Hemisfério Norte para março-abril. Todas as mudanças são relativas às médias correspondentes para o período de 1961 a 1990. As curvas suavizadas representam valores médios decenais, enquanto que os círculos indicam valores anuais. As áreas sombreadas são os intervalos estimados com base em uma análise abrangente das incertezas conhecidas (a e b) e nas séries temporais (c). Fonte: IPCC, 2007.

É fundamental observar que o oceano está aquecendo. Se o planeta está mais quente, temos que imaginar que o Sistema Terrestre - atmosfera-superfície continental - criosfera-oceano - está num estado mais alto de energia, ou seja, tem mais energia. E essa energia está indo para o oceano. Oitenta por cento desse acréscimo de energia - pelo fato de a temperatura média do planeta estar $0,8^{\circ}\text{C}$ mais quente - vai para o oceano. Os dados oceânicos mostram esse aquecimento. Os fatos são consistentes e o aquecimento é inequívoco.

Supondo que não houvesse nenhuma relação entre os gases de efeito estufa e o aquecimento, e alguém fizesse a seguinte pergunta: “mas os gases estão aumentando na atmosfera?” Não há nenhuma dúvida de que eles estão aumentando. Vamos examinar se esse aumento dos gases poderia não ter como origem o processo de combustão - quando queimamos carvão, petróleo, gás natural, floresta, e o produto final é o gás carbônico. Que o produto final da combustão é o gás carbônico é sabido há 200 anos pela química. Mas alguém poderia argumentar que talvez o inequívoco aumento da quantidade de gás carbônico na atmosfera terrestre poderia vir do CO_2 inorgânico, que não passou pela fotossíntese e que está lá nas profundezas do magma e que, por algum fenômeno geofísico como erupções vulcânicas, chega à atmosfera, mas faz parte do CO_2 original que existia em

nosso planeta. O CO_2 é o gás mais abundante do universo, existe em todos os lugares do universo.

O aumento do CO_2 observado na atmosfera é aquele resultante da queima de combustíveis fósseis, da queima de florestas. Não é aquele liberado quando um vulcão entra em erupção. Há fissuras na Terra das quais também surge CO_2 inorgânico. Tudo isso acontece, mas em uma taxa de emissão muito pequena. O CO_2 que está aumentando na atmosfera realmente é predominantemente orgânico, uma vez que passou por fotossíntese e é um CO_2 produzido pela queima realizada por atividades humanas em sua total maioria. A prova disso vem das medidas de um isótopo estável do átomo de carbono, o Carbono-13 (^{13}C) (12 prótons e 13 nêutrons no núcleo atômico). Todas as substâncias com carbono (C) têm uma proporção diferente do ^{13}C em relação ao Carbono-12 (^{12}C). Por exemplo, o carvão tem proporção menor de ^{13}C do que a proporção encontrada na atmosfera. Assim, combustão de carvão irá injetar CO_2 com menor concentração de ^{13}C , diminuindo a concentração atmosférica de ^{13}C . Precisas observações destes balanços de isótopos na atmosfera revelam a origem do carbono adicional, e estes apontam para as fontes fósseis e a queima de florestas como as responsáveis pelo aumento desse gás na atmosfera.

Alguns podem perguntar se não existiria outra explicação para o aumento de temperatura. Por exemplo, que o aquecimento é provocado pelo aumento da quantidade de energia solar que está chegando à Terra. Esta é uma legítima questão e precisamos respondê-la. Ou mesmo, que as emissões vulcânicas jogam uma quantidade muito grande de partículas e gases na atmosfera, o que, teoricamente, poderia também esquentar. Mas, na verdade, a maioria dessas partículas reflete radiação, portanto, os aerossóis de vulcão esfriam a atmosfera e não esquentam, ao contrário do que se pensa.

Tudo deve ser estudado e a ciência hoje avançou muito na resposta a essas perguntas e outras perguntas. A radiação solar que atingiu o topo da atmosfera durante o Século XX em média foi crescente e resultou em aquecimento. Mas lembramos que, de aproximadamente 1990 até 2010 – são 20 anos –, a radiação solar que chega à Terra está diminuindo. O valor da forçante de radiação solar é pequeno, portanto, ela sozinha não explicaria o aumento de temperatura observado.

A Figura 3A sumariza as forçantes radiativas responsáveis por mudanças climáticas simuladas de 1880 a 2003. Essa figura mostra o efeito total de cada gás, aerossóis ou radiação solar incidente, ou seja, cada forçante climática tem uma eficiência maior ou menor em alterar a temperatura global. A forçante que está para cima (valor positivo em W/m^2) funciona para esquentar o planeta, e a que está

para baixo, esfria (valor negativo em W/m^2). A radiação solar está um pouco mais forte, esteve levemente mais forte no Século XX do que, por exemplo, no Século XXI. A curva vermelha do gráfico da figura A representa a maior forçante, que é a mistura de gases de efeito estufa (GEEs) - gás carbônico (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso N_2O , clorofluorcarbonos (CFCs) e outros gases-traço, totalizando $2.75 W/m^2$. A curva azul escuro representa os aerossóis estratosféricos de vulcões, que causam uma grande forçante negativa esporadicamente, resultando em um esfriamento razoável de até $2,5 W/m^2$ imediatamente após a erupção.

Precisamos observar o conjunto. Repito, algumas forçantes têm o efeito de esquentar e outras de esfriar a atmosfera, mas a temperatura final observada está aumentando. O balanço das forçantes entre 1880 e 2003 é de $+1.8 W/m^2$, com uma incerteza de $\pm 0.85 W/m^2$ devido quase inteiramente aos aerossóis.

A temperatura média global é simulada pelo modelo computacional do sistema climático global do Goddard Institute for Space Studies, da NASA, respondendo ao conjunto destas forçantes, e concorda bem com as observações de temperaturas (Figura 3B).

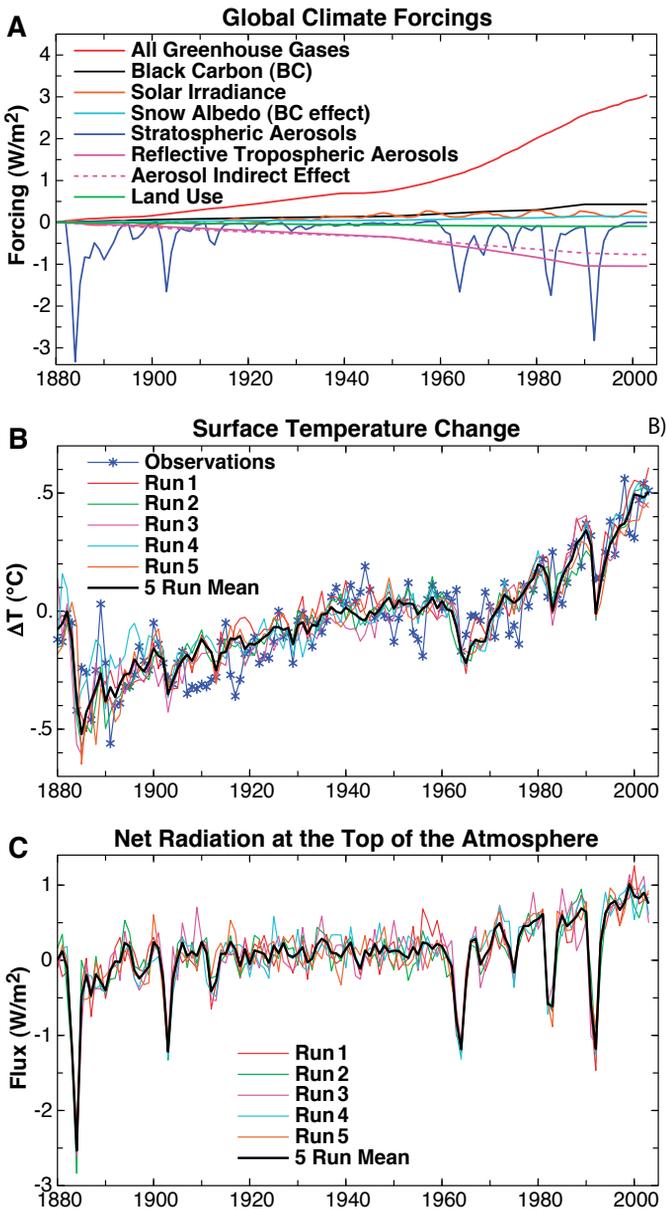


Figura 3. (A) Forçantes radiativas utilizadas para produzir simulações globais climáticas. (B) Mudanças de temperatura simuladas e observadas. Antes de 1900, a curva de temperaturas observadas é baseada em observações em estações meteorológicas e o modelo é amostrado nos mesmos pontos, enquanto após 1900 as observações incluem temperaturas de superfície do mar para as áreas oceânicas, e o modelo representa a média global de temperatura à superfície. (C) Balanço de radiação no topo da atmosfera nas simulações climáticas. Cinco simulações climáticas são realizadas apenas em condições iniciais. Fonte: Hansen et al, 2005.

A curva do gráfico com “estrelinhas” mostra as alterações de temperatura na superfície da Terra. Esta é baseada em observações em estações meteorológicas e o modelo (curva preta) é uma amostra nos mesmos pontos, sendo que depois de 1900 as observações incluem a temperatura da superfície do mar para a área do oceano, e o resultado do modelo climático representa a média global da temperatura à superfície. Quando observamos a curva preta, vemos a média de temperatura obtida a partir do modelo climático. Por exemplo, quando há uma erupção vulcânica, há uma queda brusca da temperatura observada e podemos constatar o mesmo no modelo climático, quando colocamos essas forçantes. O modelo climático é apenas uma representação das temperaturas observadas, mas as temperaturas do modelo seguem muito bem as temperaturas observadas. No modelo há, inclusive, temperaturas mais baixas do que as das observações.

Na Figura 4 temos um sumário do funcionamento do sistema climático através da comparação de simulações com modelos climáticos com as observações de temperatura média à superfície para o Século XX. O sistema climático é muito complexo e responde a cada uma dessas forçantes que acabamos de ver. A curva preta, nas Figuras a e b, representa as anomalias de temperatura média global observadas. Na Figura 4a, temos

simulações da temperatura média global com forçantes antropogênicas e naturais e na Figura 4b, temos simulações com forçantes naturais apenas. Na Figura 4b podemos notar que sem os dados de emissões dos gases de efeito estufa (curva azul considera apenas forçantes naturais como a variação da radiação solar que atinge a Terra e erupções vulcânicas), não é possível se reproduzir o aquecimento observado dos últimos 50 anos (curva preta). A melhor explicação para esse aumento da temperatura nos últimos 50 anos mostrado na Figura 4 é o acúmulo dos gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera. Existe incerteza, mas a melhor explicação é essa, e nós não temos como mudar isso neste momento. Esta comparação entre as anomalias de temperatura média global com as forçantes naturais e antropogênicas é hoje o estado mais avançado do conhecimento. É imperfeito, não conseguimos explicar tudo, mas é a melhor explicação. Devemos lembrar que em ciência, sempre temos de referendar a melhor explicação até que uma superior, cientificamente robusta, possa substituí-la.

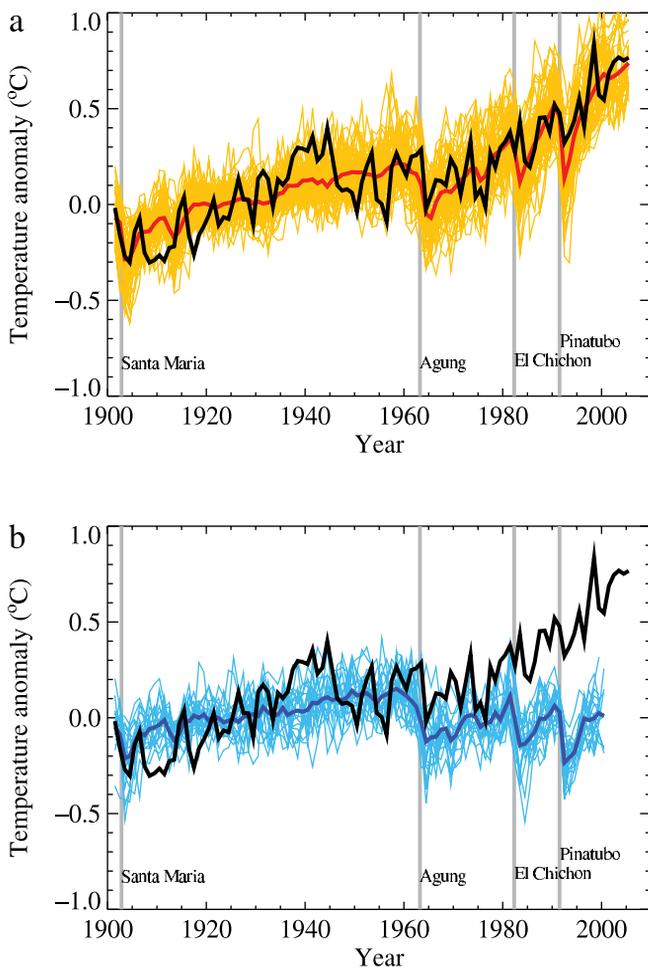


Figura 4. Comparação entre anomalias de temperatura média global (°C) de observações (preto) e simulações forçadas com (a) ambas forçantes radiativas antropogênicas e naturais e (b) forçantes radiativas naturais apenas. Todos os dados são mostrados como anomalias de temperatura média global relativa ao período de 1901 a 1950, como observado (preto, Hadley Centre/Climatic Research Unit gridded surface temperature data set (HadCRUT3); Brohan et al., 2006) e, em a) como obtido de 58 simulações produzidas por 14 modelos com ambas forçantes antropogênicas e naturais. O multi-modelo de um conjunto de médias é mostrado como uma curva espessa vermelha e simulações individuais são mostradas em curvas finas amarelas. Linhas verticais cinza indicam o período dos maiores eventos de erupções vulcânicas. Estas simulações, que terminaram antes de 2005, foram estendidas até 2005 através do uso dos primeiros anos das simulações do cenário A1B do IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES), que continuaram a partir das respectivas simulações do Século XX, quando disponíveis. A simulação da anomalia da média da temperatura global em (b) são 19 simulações, produzidas por cinco modelos com forçantes naturais apenas. O multi-modelo de um conjunto de médias é mostrado como uma curva espessa azul e simulações individuais são mostradas como curvas finas azuis. Simulações são selecionadas que não exibem excessivas distâncias amostradas nas simulações de controle (não mais que 0,2°C por século). Cada simulação foi amostrada para que a cobertura corresponda às observações. After Stott et al. (2006b). Apud IPCC, WGI, 2007.

A Figura 5 mostra as emissões estimadas nos últimos mil anos. Há uma semelhança muito grande entre a curva de emissão (superior) e a

de concentração de CO_2 (inferior), mostrando que parte desse carbono não desaparece do sistema e permanece na atmosfera.

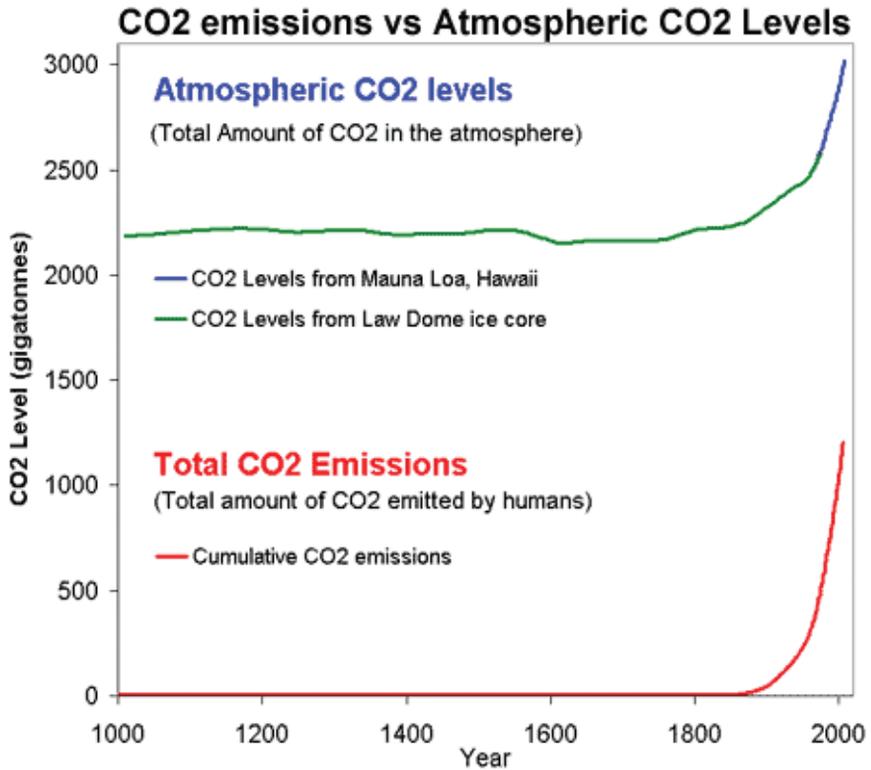


Figura 5. Níveis de CO_2 (curva verde - Law Dome, East Antarctica e curva azul - Mauna Loa, Hawaii) e emissões cumulativas de CO_2 em gigatoneladas de CO_2 (curva vermelha - CDIAC). Enquanto os níveis atmosféricos de CO_2 são comumente expressados em partes por milhão, aqui eles são mostrados como a quantidade de CO_2 na atmosfera em gigatoneladas. A curva acima representa a quantidade total de CO_2 na atmosfera versus a curva abaixo que representa a quantidade total de CO_2 que foram emitidas na atmosfera pelas atividades antrópicas. Fonte: Cook, 2011.

O gráfico da figura 6A mostra as concentrações de CO_2 (médias anuais) medidas por observações contínuas durante o período de 1970 a 2005, sendo que a curva preta são medições feitas no Hemisfério Norte e a curva em azul, no Hemisfério Sul, onde há mais oceanos. A curva da concentração de CO_2 no Hemisfério Norte tem maiores oscilações devido à maior quantidade de biosfera terrestre (um pronunciado ciclo de fotossíntese retirando CO_2 da atmosfera na primavera e verão e decomposição da matéria orgânica devolvendo CO_2 para a atmosfera no outono e inverno), ou seja, os ciclos sazonais de CO_2 são maiores no Hemisfério Norte do que no Hemisfério Sul.

Podemos supor que esse CO_2 seja de origem inorgânica, ou seja, ele viria de erupções

vulcânicas, das fissuras, portanto, e já chegaria à atmosfera como CO_2 . Por outro lado, podemos supor que esse CO_2 seja de origem orgânica, ou seja, o carbono (C) do petróleo, do carvão, e do gás natural sofre o processo de combustão, e em combinação com o oxigênio (O_2) da atmosfera, produz CO_2 . Caso a suposição aceita seja o processo de CO_2 de origem orgânica, deve haver uma diminuição do oxigênio, pois o processo de combustão consome oxigênio (O_2). E isso realmente acontece, como é visto nas curvas rosa e ciano no gráfico da Figura 6a. O CO_2 (curvas preta e azul escuro) não para de aumentar e observamos o oxigênio (curvas rosa e azul claro), diminuir. Então, é muito consistente.

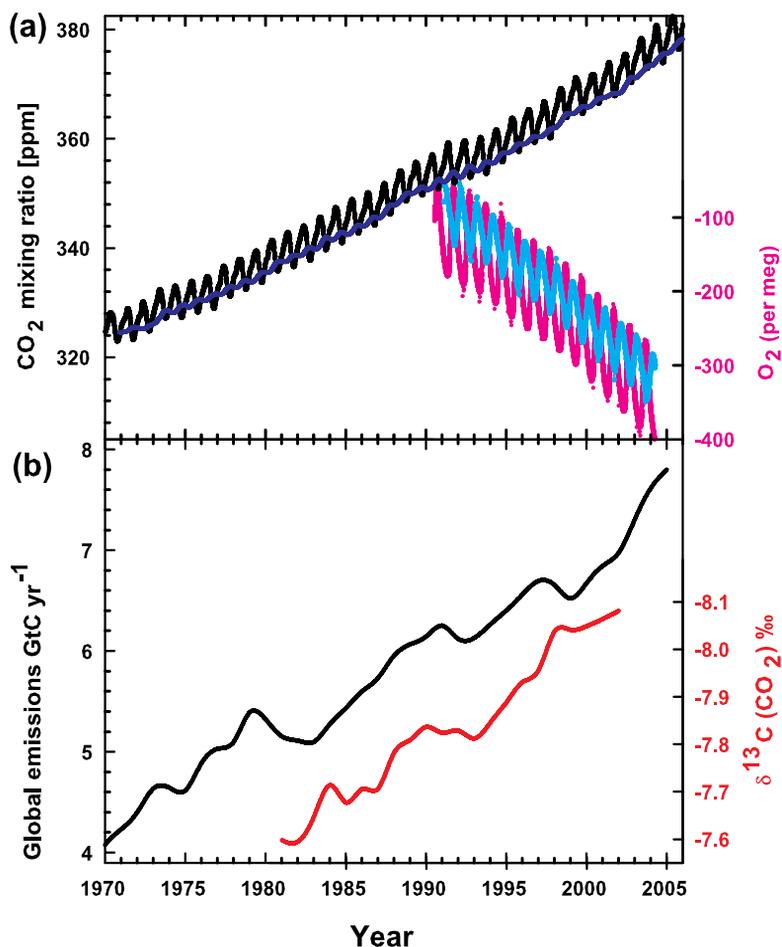


Figura 6. Concentrações e emissões recentes de CO₂. (a) concentrações de CO₂ (médias anuais) medidas por observações contínuas durante o período de 1970 a 2005 em Mauna Loa, Hawaii (19°N, preto; Keeling e Whorf, 2005) e Baring Head, New Zealand (41°S, azul; seguindo técnicas de Manning et al., 1997). Devido à maior quantidade de biosfera terrestre no Hemisfério Norte, ciclos sazonais em CO₂ são maiores lá do que no Hemisfério Sul. No canto inferior direito do painel, medições de oxigênio atmosférico (O₂) de amostras de balão são mostradas de Alert, Canadá (82°N, rosa) e Cabo Grim, Austrália (41°S, ciano) (Manning e Keeling, 2006). A concentração de O₂ é medida através das diferenças na proporção de O₂/N₂ na unidade 'per meg' (1 per meg = 0.001‰) de uma referência arbitrária, análoga à unidade 'per mil' normalmente usada em isótopos estáveis, mas onde o razão é multiplicada por 106 em vez de 103 porque muito pequenas alterações são medidas. (b) Emissões globais anuais de CO₂ de queima de combustíveis fósseis e manufatura de cimento em GtC yr⁻¹ (preto) ao longo de 2005, usando dados do site do CDIAC (Marland et al, 2006) até 2003. Dados relativos às emissões para 2004 e 2005 são extrapolados do CDIAC, usando dados da BP Revisão Estatística da Energia do Mundo (BP, 2006). Emissões de uso da terra não são mostradas; estima-se que estas estão entre 0,5 e 2,7 GtC yr⁻¹ para a década de 90. Médias anuais da proporção de ¹³C/¹²C medido em CO₂ atmosférico em Mauna Loa de 1981 a 2002 (vermelho) também são mostradas (Keeling et al, 2005). Os dados de isótopos são expressos em desvio ¹³C(CO₂) ‰ (per mil) de uma calibração padrão. Observe que esta escala é invertida para melhorar a clareza. Fonte: IPCC, AR4, WGI, 2007.

O CO₂ inorgânico, que vem das profundezas do magma da Terra, tem uma fração de isótopo Carbono-13 (¹³C), que é um isótopo do átomo do carbono bem conhecido. Como explicado anteriormente, todas as substâncias com carbono têm uma proporção diferente de ¹³C, que tem uma fração de porcentagem de átomos com um nêutron a mais no núcleo, versus o Carbono-12 (¹²C), que é um dos isótopos mais abundantes. E quando se faz esse CO₂ inorgânico passar milhares de vezes pelo ciclo da fotossíntese, onde esse CO₂ inorgânico se torna orgânico, começa a haver o que é chamado de fracionamento isotópico. A porcentagem de isótopos ¹³C vai ficando mais débil.

Desta forma, se olharmos a porcentagem de ¹³C e de ¹²C na atmosfera, conseguimos saber se esse aumento vem mais do carbono que passou pela fotossíntese - carvão, petróleo, gás natural, floresta - ou se, por acaso, seria aquele CO₂ inorgânico que saiu de uma erupção vulcânica ou de uma fissura. Os dados também não nos deixam mentir: a quantidade de ¹³C em relação à ¹²C está mostrando que

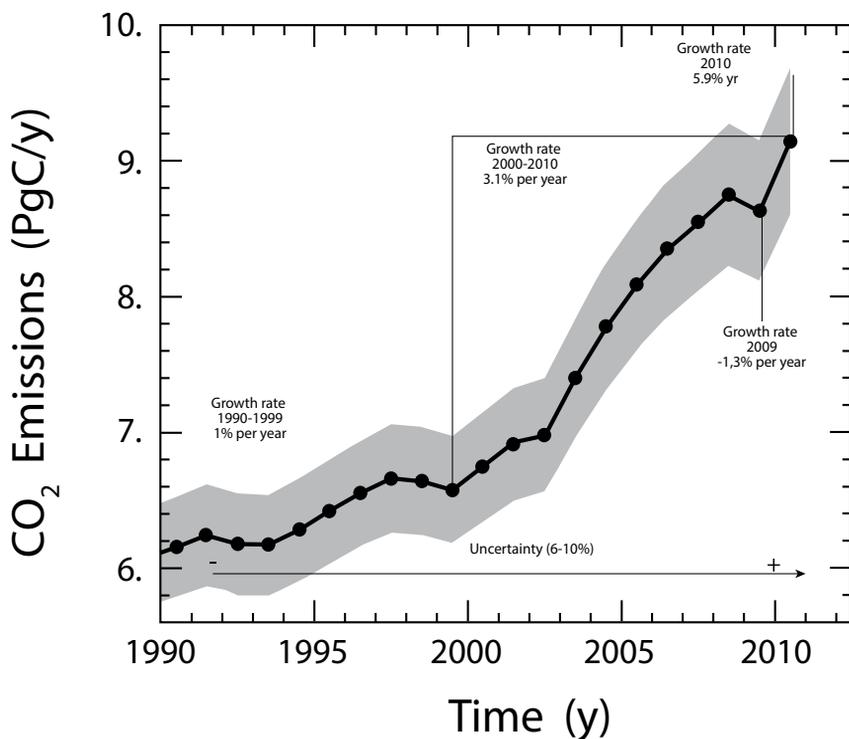
há cada vez menos ¹³C na atmosfera (curva vermelha da Figura 6b - observe que esta escala é invertida para melhorar a clareza). Mais uma prova de que a assinatura isotópica, como chamamos, é do CO₂ orgânico produzido pela queima do carvão, do petróleo e do gás natural realizada por atividades humanas.

Em 1992, há 18 anos, durante a ECO-92 ou Rio-92, houve a promessa de diminuição das emissões de CO₂. Estamos em 2010 e as emissões só aumentaram. De 1992 para 2010, as emissões de CO₂ de origem fóssil aumentaram em 43%. As concentrações de CO₂ já ultrapassaram os 390 ppm em 2010, mas se considerarmos o CO₂-equivalente¹, que adiciona o potencial de aquecimento radiativo do metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) e colocarmos na unidade de potencial de aquecimento radiativo do CO₂, já estamos em uma concentração equivalente de 463 ppm. Já o CO₂ equivalente com aerossóis² resfria a superfície ao refletir radiação solar e a concentração equivalente baixa para 396 ppm-400 ppm³ (Figura 7).

1. Medida métrica utilizada para comparar as emissões de vários gases de efeito estufa com base no potencial de aquecimento global de cada um. O dióxido de carbono (CO₂) equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas de gases de efeito estufa (GEEs) emitidas pelo seu potencial de aquecimento global. Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO₂. Então, dizemos que o CO₂ equivalente do metano é igual a 21.

2. A atmosfera terrestre contém aerossóis de vários tipos e concentrações, incluindo quantidades de (1) material inorgânico natural como fumaça, sal marinho e gotículas de água, (2) material orgânico natural, pólen, esporos, bactérias e (3) produtos de combustão antropogênicos como fumaça, cinzas, e outras poeiras.

3. ppm: concentração em partes por milhão.



Concentration in 2008

CO ₂	385 ppm	A concentration of 450 ppm CO ₂ -eq (plus aerosols) gives a 50/50 chance to a temperature increase of less than 2°C.
CO ₂ -equivalent	463 ppm	
CO ₂ -equivalent with aerosols	396 ppm	

Figura 7. Emissões de CO₂ de combustíveis fósseis. Aumento observado relativo de 2000 a 2008: 3,5% e cenários do IPCC: 1,6% a 2,7%. Fonte: Global Carbon Project 2011 (Peters et al. 2011, Nature CC; Data: Boden, Marland, Andres-CDIAC 2011; Marland et al. 2009).

Os inúmeros cálculos feitos hoje indicam que se quisermos ser consistentes com a 15ª Conferência das Partes (COP15) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, realizada em Copenhague em 2009 – apesar de a COP15 ter sido considerada um fracasso –, todos os esforços deverão ser empreendidos para não deixar a temperatura subir mais que 2°C. Dois graus são compatíveis com emissões que levem as concentrações de CO₂-equivalente a valores entre de 450, 500 ppm, ou seja, estamos no limite. Mas temos que encontrar hoje a solução para restringir o aumento em até 2°C, não daqui a 50 ou 100 anos. Esse é um pano de fundo para debates. Em outras palavras, o que é necessário em termos de acordos internacionais, de vontade política e em termos de hábitos é a mudança de comportamento dos consumidores globais e a mudança de tecnologia para produção limpa, principalmente a produção de energia limpa.

Quais são os *feedbacks* positivos e negativos do CO₂?

Com relação ao *feedback* positivo, o CO₂ atua como um gás de efeito estufa e não haveria vida na Terra se não fosse o efeito estufa. Poderia haver vida no fundo do oceano, mas seria uma vida muito diferente. A vida na Terra depende de uma temperatura acima de zero grau e

substancialmente inferior a 100°C. A curva da Figura 8 é a temperatura que um planeta teria a certa distância do Sol, com o efeito estufa natural atmosférico (bolinha preta) e sem esse efeito (bolinha branca). Vênus está muito próxima do Sol, a Terra mais distante e Marte bem mais distante, quase o dobro de distância que Vênus. A temperatura de Vênus é de 450°C com o efeito estufa natural atmosférico em uma atmosfera predominantemente constituída de CO₂. A temperatura da Terra devia ser de -18°C (bolinha branca), mas é de 15°C (bolinha preta). Essa diferença de 33°C se deve primordialmente ao efeito estufa atmosférico. É isso o que mantém a vida na Terra, de um modo geral. Marte não tem praticamente atmosfera, perdeu a atmosfera, e então sua temperatura é próxima de -55°C (bolinha branca). Portanto, o efeito estufa da atmosfera da Terra é fundamental e de grande importância.

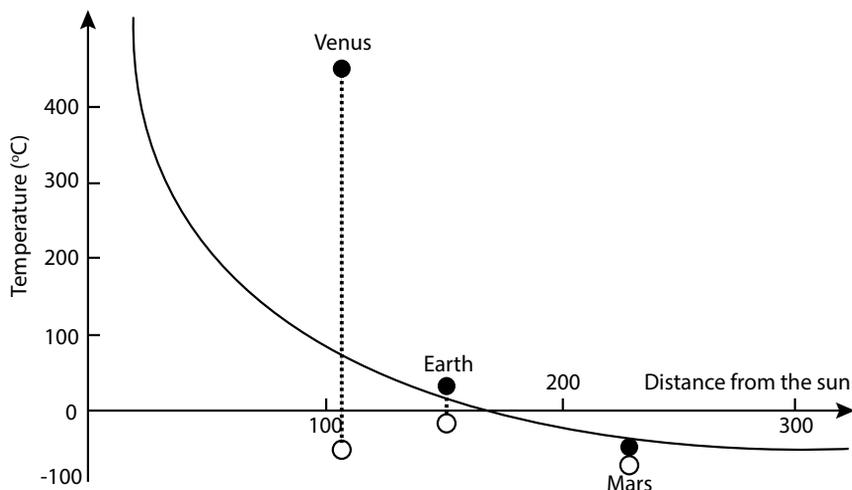


Figura 8. Efeito estufa natural da atmosfera na temperatura da Terra, Marte e Vênus. Fonte: Philander, (1998).

Quando olhamos numericamente os vários gases da atmosfera (Figura 9), vemos o principal dos gases de efeito estufa natural é o vapor d'água, que contribui com 20°C dos 33°C acrescentados à temperatura da superfície da Terra por conta do efeito estufa natural da atmosfera. O dióxido de carbono existente contribui com 7°C, só que a sua concentração atmosférica está aumentando. A contribuição do metano para o aumento da temperatura é bem menor, mas a sua concentração na atmosfera também está aumentando, e muito. O óxido nitroso também está aumentando. Como o vapor d'água é o gás de efeito estufa principal, alguém poderia questionar “então, isso tudo é controlado pelo vapor d'água, devemos ignorar o CO₂, pois

este tem uma influência menor no aumento da temperatura”. Mas na verdade esta influência não é pequena; são 7°C em 33°C.

GASES DO EFEITO ESTUFA	ΔT	CRESCIMENTO
Vapor D'água	20°C	-
Dióxido De Carbono	7°C	36%
Ozônio	2 A 3°C	-
Óxido Nitroso (N ₂ O, Derivados)	1,4°C	18%
Metano	0,8°C	150%
Demais Gases	0,6°C	-

Figura 9. Influência relativa dos gases de efeito estufa no efeito estufa natural da atmosfera da Terra (coluna do meio) e crescimento das concentrações atmosféricas devido às emissões antropogênicas para CO₂, CH₄ e N₂O desde o início da Era Industrial.

Se considerarmos todos os lagos e reservatórios construídos nos continentes, a evaporação que poderia aumentar eventualmente a concentração de vapor d'água é muito pequena perto da evaporação do oceano, que compreende 71% da superfície da Terra. Então, não controlamos o vapor d'água. Podemos fazer irrigação e lagos, mas não mudaríamos significativamente a concentração total de vapor d'água. Mas estamos mudando muito a concentração dos outros gases, basta olhar os números. Por isso o esforço muito grande na tentativa de diminuir CO_2 , que é um gás influenciado pela atividade humana, assim como o metano, o óxido nitroso e os CFCs.

Não temos o que fazer com o vapor d'água. Só que o vapor d'água acaba sendo também um gás importantíssimo no aquecimento global, mas de forma indireta. Quando a temperatura aumenta, a atmosfera retém mais vapor d'água. A temperatura aumenta porque estamos aumentando a emissão de dióxido de carbono, ozônio troposférico, óxido nitroso, metano etc. E a atmosfera retém mais vapor d'água, o que origina o efeito estufa adicional. Então, quando tomamos esse cenário no qual dobramos o CO_2 , 40% daquele aumento de temperatura - vamos supor $1,5^\circ\text{C}$ ou 2°C - são de vapor d'água que atingiu a atmosfera por causa do aumento original de CO_2 .

O processo de captura de CO_2 pelas plantas através da fotossíntese e a transformação do CO_2 em biomassa têm um papel importante na mitigação dos impactos causados pelas concentrações crescentes de CO_2 na atmosfera. No entanto, as plantas capturam CO_2 até certo limite. Quando o CO_2 na atmosfera aumenta, elas tendem a capturar mais CO_2 e a crescer mais (transformação de CO_2 em biomassa).

O pesquisador da USP Prof. Marcos Buckeridge tem realizado uma série de experimentos sobre as respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas globais. Nesses experimentos as plantas são expostas em estufas e submetidas a um aumento da concentração de CO_2 (Figura 10). Antes do início da Revolução Industrial, que marcou a aceleração das emissões, a concentração de CO_2 se encontrava mais ou menos em 280 ppm. Nesse experimento, a concentração de CO_2 dentro da estufa é mantida em 4 níveis (280, 360, 720 e 1000 ppm) e a resposta da assimilação fotossintética de plantas é medida. Durante o processo da fotossíntese, há produção de matéria orgânica, então, há um aumento em biomassa das plantas. Portanto, o fato de que as plantas gostam do aumento de CO_2 é verdadeiro, uma vez que esse comportamento foi comprovado em experimentos controlados

em estufa, ainda que Figura 10 indique que este efeito não é linear, isto é, é maior para menores concentrações de CO_2 . Quando se vai a campo, há inúmeros experimentos com o aumento CO_2 de uma floresta, aumento CO_2 de uma cultura agrícola. Mas no campo, com condições reais, os aumentos são bem menores. Por exemplo, em florestas de latitudes médias, o aumento de CO_2 corresponde somente a 25% desse valor de laboratório. Apesar do observado de que as plantas tendem a capturar mais CO_2 e a crescer mais (transformação de CO_2 em biomassa) numa atmosfera enriquecida de CO_2 , o aumento da concentração desse gás faz com que a temperatura aumente.

E a questão é que à medida que a temperatura aumenta, pode-se ultrapassar o ponto ótimo de assimilação fotossintética em resposta à temperatura e, após esse ponto, a fotossíntese começa a diminuir com aumentos adicionais de temperatura. Por exemplo, há um limite teórico - aproximadamente 43°C - que se for ultrapassado, a fotossíntese para totalmente. Não tem fotossíntese no meio do dia nas plantas do deserto - lá a temperatura passa de 45°C . A fotossíntese em plantas do deserto é no começo da manhã e no fim da tarde. Esse é um limite que a evolução natural, biológica, darwiniana criou. Portanto, há limites até na fotossíntese.

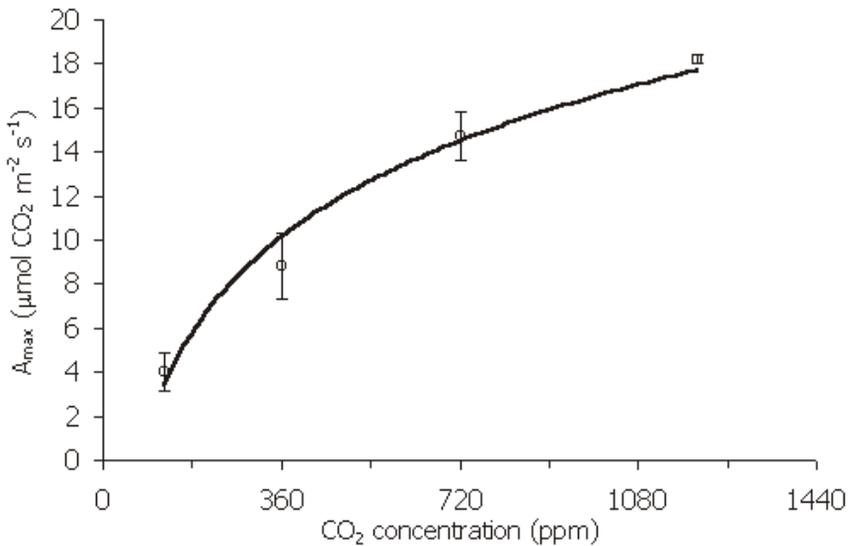


Figura 10. Aumento da fotossíntese e efeitos gerais de elevado CO_2 na fisiologia da espécie nativa brasileira *Hymenaea courbaril* (Jatobá). Fonte: Aidar, M.P.M. (et al), 2002.

As projeções para meados deste século mostram que, se a temperatura continuar a subir, esse efeito que ocorre hoje, de as plantas absorverem CO₂, principalmente as florestas, desaparecerá. Primeiro, porque a temperatura vai começar a afetar a eficiência fotossintética. Segundo, porque uma temperatura mais alta oxida a matéria orgânica do solo e resulta em emissões de CO₂. Os solos das florestas vão começar a perder mais rapidamente carbono. Então, é bom registrar: sim, hoje, boa parte da explicação de por que as florestas de todo o planeta estão absorvendo CO₂ - inclusive nossa floresta amazônica - se deve a esse efeito positivo muito bem estudado em laboratório. Mas esse efeito positivo tem limites.

As projeções de mudanças climáticas do IPCC foram superestimadas?

Só poderemos dizer se as projeções de mudanças climáticas são exageradas, se são minimizadas, se estão certas

ou erradas, depois de acontecer o fato. Não podemos *a priori* saber. Por isso, se elas estão prevendo alguma coisa para o Século XXI, um dia nós vamos poder comprovar se estão exageradas. Acho que não estão. As projeções do IPCC no relatório de 2007 indicam uma faixa provável de aumento de temperatura de 1,8°C a 4,2°C. É uma faixa muito grande. E para sermos honestos, temos de falar: é esta faixa de maior probabilidade. Acho que a maioria dos cientistas diria que é bastante improvável que as temperaturas no final deste século estejam fora dessa faixa. Elas vão estar em algum lugar dentro dessa faixa. Portanto, não me parece *a priori* que alguém possa dizer que as projeções sejam exageradas. A Figura 11 mostra observações da temperatura média global de 1850 até 2005. A linha amarela do gráfico nos mostra a tendência de aumento de temperatura para os últimos 20 anos e esta tendência já é quase de 0,2°C de aumento de temperatura por década.

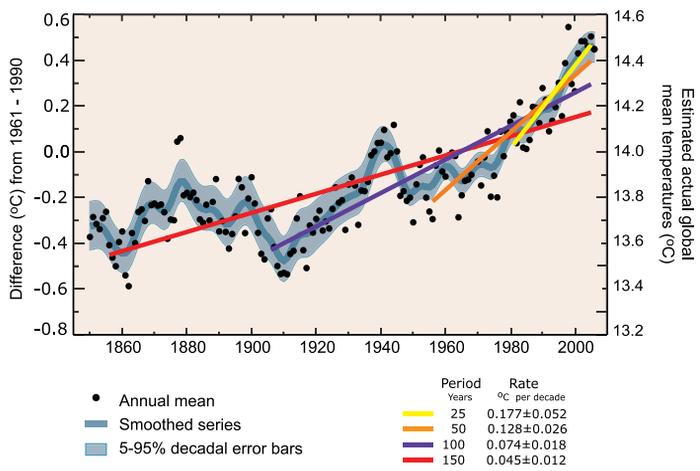
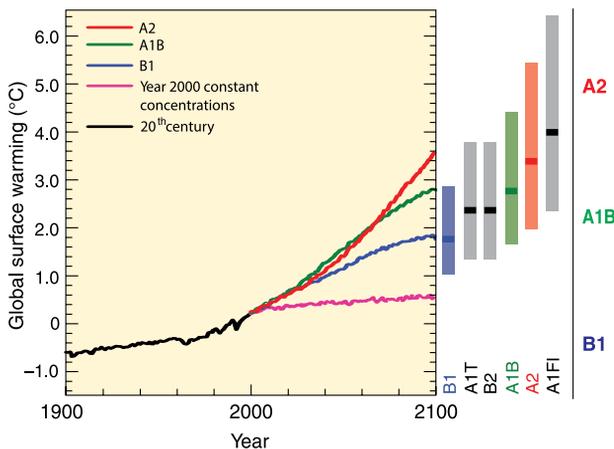


Figura 11. Observações de temperatura média global. Fonte: IPCC, 2007.

Qual é a forma de sabermos se os modelos matemáticos utilizados como principais ferramentas para projeções de mudanças climáticas no futuro são bons ou ruins? Temos de olhar não o futuro, porque não o sabemos, mas temos de olhar o presente e o passado. Os modelos são bons pelo menos para representar as temperaturas do Século XX, com incertezas. Uma comprovação disso é que eles evidenciam as subidas e descidas de temperatura observada após a emissão da poeira dos vulcões. Esses modelos seguem leis da física e representam os principais processos, não com perfeição absoluta, mas isso seria impossível de qualquer maneira. Assim, tais modelos computacionais são as melhores ferramentas disponíveis para projetar as mudanças climáticas no futuro. No entanto, realmente não existe uma maneira absoluta de garantir que a projeção futura será correta.

A maior incerteza, na verdade, não é a imperfeição dos modelos. A maior incerteza das projeções do IPCC é

o fato de não sabermos a trajetória futura das emissões dos gases de efeito estufa. No lado direito da Figura 12 são mostradas as margens de incertezas das projeções de aumento de temperatura. Aproximadamente metade dessa incerteza advém das diferenças entre modelos e metade, da incerteza de projeção das emissões. Ninguém consegue prever para que lado irá a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Copenhague (COP15) não chegou a um acordo. As reuniões subsequentes (COP16 em Cancun, México, e COP17 em Durban, África do Sul) avançaram muito pouco em garantir um grande acordo global que inverta a tendência crescente das emissões. A maior incerteza é que não sabemos qual será a trajetória para as emissões de gases de efeito estufa para o futuro, se o cenário futuro estimado tenderá ao menos pessimista ou o mais otimista³.



3. Veja a descrição dos cenários do IPCC no Anexo.

Figura 12. As curvas sólidas são médias globais do aquecimento da superfície produzidas por vários modelos (relativas a 1980-99) para os cenários A2, A1B e B1, mostradas como continuações das simulações do Século XX. O sombreamento denota a faixa de mais/menos um desvio-padrão para as médias anuais individuais dos modelos. A curva alaranjada representa o experimento em que as concentrações foram mantidas constantes nos valores do ano 2000. As colunas cinzas à direita indicam a melhor estimativa (linha sólida dentro de cada coluna) e a faixa provável avaliada para os seis cenários marcadores do SRES (documento especial em cenários de emissões do IPCC). A avaliação da melhor estimativa e das faixas prováveis nas colunas cinzas compreende os Modelos Climáticos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs) na parte esquerda da figura, bem como os resultados de uma hierarquia de modelos independentes e restrições das observações. IPCC, 2007.

Outra projeção do IPCC é em relação ao Ártico. O Oceano Ártico está aquecendo. Ele vinha esfriando levemente nos últimos dois mil anos e agora experimenta um grande aquecimento. A Figura 13 mostra as reconstruções das temperaturas do Oceano Ártico. O principal fator atribuído a esse aquecimento rápido é um fator físico muito conhecido, chamado *feedback* (retroalimentação) da refletividade. O gelo (a neve) reflete de 60% a 70% da radiação solar. Assim, relativamente pouca radiação é absorvida pela superfície e esses

lugares são muito frios. Já o oceano reflete apenas 6% desta radiação e cerca de 94% é absorvida. O aumento da temperatura dos oceanos aumenta o derretimento da neve e do gelo flutuando no mar, reduzindo a superfície de reflexão e aumentando assim a absorção solar, que aumenta as temperaturas ainda mais, e assim por diante. O aumento de temperatura faz com que o gelo seja consumido por baixo e depois a temperatura do ar vai “comendo” o gelo por cima. Esse fenômeno está acontecendo no Oceano Ártico.

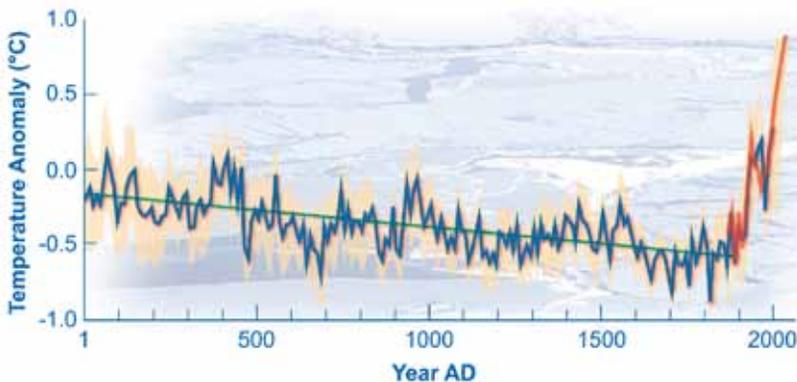


Figura 13. Registros de temperatura decadais do Ártico, cobrindo os últimos 2000 anos. Os dados foram predominantemente derivados de sedimentos lagunares (Kaufman, 2009) e mostram uma tendência generalizada de resfriamento em longo prazo. Esta reconstrução é consistente com uma simulação de clima transitória com o Community Climate System Model. A simulação sugere que a tendência em longo prazo foi causada pela redução constante na insolação verão devido a uma configuração orbital de deslocamento gradual. Durante o Século XX, no entanto, a tendência de resfriamento foi invertida, com quatro das cinco décadas mais quentes da reconstrução do ano de 2000 ocorrendo entre 1950 e 2000 (NCAR, 2011).

Fazendo uma análise no pico do verão, vamos notar que a cada ano no Oceano Ártico a mancha de gelo vai diminuindo. Em 2008, pela primeira vez pode-se cruzar do Oceano

Atlântico para o Pacífico pelo Ártico (Figura 14). E em 2009, pode-se cruzar pelo lado da Sibéria e depois pelos dois lados, Sibéria e Canadá.

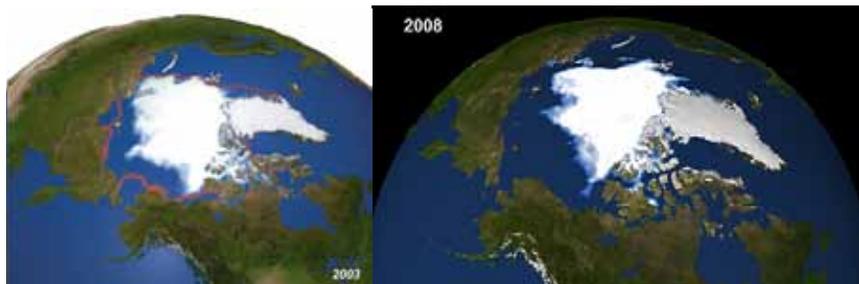


Figura 14. Alterações dramáticas no gelo do Ártico, Fonte: UNEP, 2011.

A área coberta por gelo do Ártico entrou em enorme decréscimo a partir dos anos 90 e se realimenta por causa desse efeito da refletividade do gelo que mencionei. Isso contraria as projeções do IPCC, feitas em 2007, de que esse gelo só diminuiria lá pelo final do século, pois está diminuindo muito mais rapidamente. Neste caso, esse decréscimo antecipado de gelo contraria a projeção feita pelo IPCC, uma vez que a projeção do fenômeno futuro se apresenta muito antes do registrado pelos modelos. Em outras palavras, as projeções indicadas nos relatórios do IPCC podem ser conservadoras, como no caso do gelo Ártico.

Quais são as consequências das mudanças climáticas e do aquecimento global para a economia e a saúde humana?

Como a ciência deve se portar numa área com tanto impacto socioeconômico? Quais as direções

que o mundo vai ter no futuro? Este é um campo novo para a ciência. Os cientistas foram sempre um pouco isolados. Publicavam os seus resultados nas revistas especializadas e muitas vezes esses resultados eram aplicados. Mas o cientista em si não participava diretamente do debate público sobre a aplicação dos novos conhecimentos públicos gerados.

Esse cientista não é mais o cientista dos tempos presentes. Cientista por definição não é advogado. Ele não defende uma causa, a não ser a causa da busca da melhor explicação científica sobre determinado fenômeno. Só que hoje estamos vendo a necessidade de ter o que chamaríamos de advocacia responsável. Não se trata de uma advocacia de posições políticas ou de movimentos organizados da sociedade civil, que são legítimos na sociedade. Isso não é o papel do cientista. No entanto, o cientista

não pode mais se isolar. Ele tem de sair, e este debate de hoje é um perfeito exemplo disso. O cientista não pode mais se furtar de participar desse debate, sempre levando em conta a sua metodologia, que é a busca da verdade científica. Então, é um ambiente novo e até certo ponto hostil para muitos cientistas, principalmente o ambiente da blogosfera. E muito desse debate acerca dos erros do IPCC foi aumentado exponencialmente pela blogosfera.

Não vamos nos esquecer da indústria dos combustíveis fósseis, essa indústria movimenta onze trilhões de dólares, quase 20% do PIB mundial. E mudar a trajetória dessa indústria é o que está em jogo. Não podemos chegar a 2100, ou mesmo a 2050, gerando 80% da energia do mundo com combustível fóssil se quisermos manter o aumento da temperatura abaixo de 2°C.

Os cientistas do IPCC que participam como autores dos relatórios não recebem por isso. Não é consultoria, não é privado. Quem recebe para escrever artigos de opinião para jornais muitas vezes conservadores, como Wall Street Journal, são alguns dos cientistas chamados céticos ou negacionistas, que são financiados pelos *lobbies* dos combustíveis fósseis. Assim, os cientistas que gostam de gerar as dúvidas são financiados por

lobbies de empresas de petróleo e carvão principalmente dos EUA. Felizmente, no Brasil, a Petrobras teve uma atitude muito mais neutra e equilibrada e não criou um *lobby* do tipo que é comum nos EUA para confundir o debate sobre os riscos do aquecimento global.

Em relação às consequências das mudanças climáticas para a saúde, vamos analisar o caso da malária. O protozoário da malária é transmitido ao homem pelo sangue por mosquitos do gênero *Anopheles*. A taxa de reprodução dos mosquitos, que influencia a taxa de transmissibilidade da malária, é influenciada pela temperatura. Notamos que aumenta bastante o risco de malária para aumentos não muito altos de temperatura (por exemplo, para um aumento de temperatura média global de 1,16°C através de previsões geradas por modelos) na Europa e na América do Norte (Figura 15). Esse é um impacto possível, não significa que vai acontecer, porque se o mosquito não carrega o protozoário *Plasmodium*, ele não transmite malária. Dos mosquitos do gênero *Anopheles* na Amazônia, apenas entre 4% a 8% carregam o *Plasmodium*. Se conseguíssemos eliminar o *Plasmodium* na natureza não haveria mais malária. Ainda não se conseguiu fazer isso. Portanto, medidas de saúde pública podem atenuar muitos desses impactos.

Malaria *Plasmodium vivax*

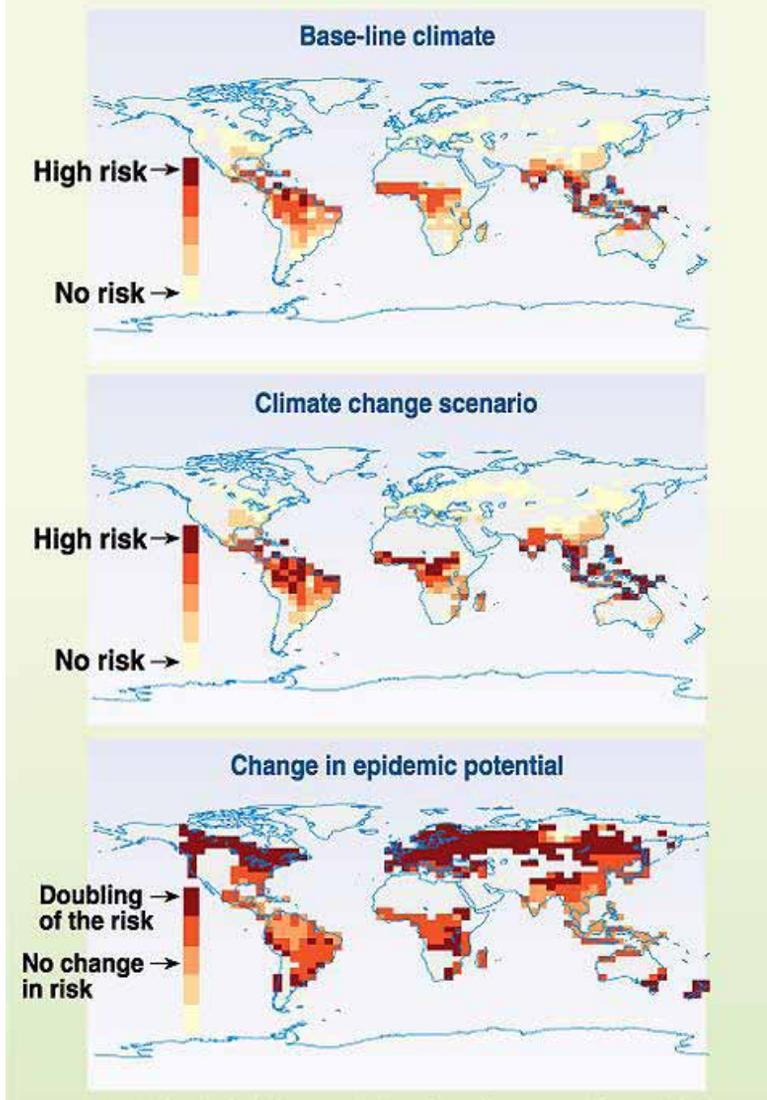


Figura 15. Potencial de áreas de risco para malária para condições climáticas base (1831-1980) e para um aumento médio de temperatura global de 1,16°C (baseado nos padrões climáticos gerados pelo ECHAM1-A GCM) e para mudanças na média anual do “potencial epidêmico” (EP), uma medida para capacidade vetorial, relativa ao clima base, para *P. vivax*. Fonte: Martens, P. et al. (1995), apud UNEP, 2011.

Como devem ser analisados os erros cometidos pelo IPCC em relação às geleiras do Himalaia?

A questão das geleiras do Himalaia⁴ foi um erro que o IPCC imediatamente reconheceu e por isso publicou uma errata em sua página na Internet após tal erro ter sido apontado. A questão fundamental é: por que alguém acredita ser tão grave em três relatórios, cada um com mais ou menos mil páginas, encontrar um erro como esse? As revistas mais importantes de ciência do mundo, *Science*, *Nature* e outras, não passam um ano sem que um artigo seja retirado de circulação. A *Nature* coloca uma nota dizendo “neste artigo, depois de publicado, descobriu-se que havia um erro”. E o artigo é retirado. Essa é a coisa mais comum. A natureza da ciência, repito, é de autocorreção.

Por isso, para quem é cientista, ter aparecido um erro que passou pelos processos de revisão, e logo foi corrigido, não é de grande consequência.

Também a blogosfera tentou falar que havia um erro sobre projeções

para a Amazônia, no que ficou conhecido como Amazongate⁵ e não havia erro nenhum, foi uma criação completamente sem sentido da blogosfera. E foi demonstrado que não existia erro nenhum. Na questão das geleiras do Himalaia havia um erro e foi rapidamente reconhecido e corrigido. E não há, em minha opinião, nenhum problema de em um relatório de três mil páginas ter sido encontrado um erro.

Porém, isso ensinou ao IPCC lições importantes. O secretário Ban Ki-moon pediu a várias academias de ciência do mundo que fizessem um comitê de alto nível para recomendar melhorias a todo o processo do IPCC. O diretor científico da nossa agência de apoio à ciência de São Paulo (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP), professor Carlos Henrique de Brito Cruz, foi um dos membros desse comitê. E eles fizeram uma série de recomendações. E o IPCC vai melhorar, o relatório do IPCC-AR5 será melhor que o IPCC-AR4.

A natureza de autocorreção tem sido suficiente para contrapor o movimento político,

4. No quarto relatório do IPCC, em 2007, foi relatado que as geleiras do Himalaia iriam desaparecer até 2035. Esse relato gerou uma série de críticas publicadas na mídia, uma vez que os pesquisadores climáticos superestimaram a probabilidade de as geleiras desaparecerem como resultado de aquecimento global.

5. Afirmação registrada no IPCC-AR4 de que até 40% das florestas amazônicas poderiam responder drasticamente mesmo a pequenas diminuições no nível das precipitações. A blogosfera publicou críticas infundadas a essa afirmação, uma vez que as mesmas ignoraram fatos científicos comprovados e as informações foram distorcidas.

o movimento do negacionismo, muito dele financiado por *lobbies* interessados na indústria do carvão e petróleo? Esses *lobbies* se utilizam frequentemente de redes conservadoras de comunicação (por exemplo, a Fox News), engajadas nesse movimento. O Wall Street Journal é totalmente engajado nesse movimento. É um movimento político conservador muito forte. Lembremos que um movimento conservador de indústria muito similar, o do *lobby* da indústria de tabaco, conseguiu adiar por quase dez anos a implementação de políticas públicas de saúde nos anos 60 e 70, nos EUA.

Os cientistas que integram este debate não podem mais se esconder, têm de aparecer mais e não podem esperar a cada 5-6 anos, que é o ciclo de publicações dos relatórios de avaliação do IPCC. Esse debate é comandado pelo que a ciência tem nos informado semanalmente. O processo de seleção dos autores do IPCC deve ser mais transparente. E principalmente - e é um papel nosso, educacional, dos cientistas, - temos de explicar didaticamente e com critério. O mundo é muito complexo e precisamos traduzir a complexidade de uma forma mais eficiente. Não adianta querer simplificar e levar para o simplismo coisas que são muito complexas. Temos de aprender a traduzir a complexidade para toda a população

e explicar o que é possível afirmar e o que não é possível afirmar.

Qual é o papel das nações em desenvolvimento e desenvolvidas em relação às mudanças climáticas?

Por fim, em relação ao papel dos países em desenvolvimento e desenvolvidos. Novamente, vamos abordar as emissões históricas. Nos últimos anos, a China aumentou muito suas emissões, a Índia também está aumentando muito suas emissões. Quando olhamos, hoje, o percentual de emissões dos países de 2008-2009, a China é o país que está com a maior fração, 23% das emissões do ano de 2008. Na Figura 16 temos somente emissões de queima de combustível fóssil, não dá para ver o Brasil nas emissões computadas, pois são os desmatamentos nossa principal fonte de emissões.

Number of Countries	Country	Cumulative Fraction	
1	China	.232	} 3 countries 50% Global Emissions
2	USA	.419	
3	India	.477	
4	Russia	.530	} 10 countries 2/3 Global Emissions
5	Japan	.573	
6	Germany	.599	
7	Canada	.617	
8	UK	.633	
9	South Korea	.652	} Top 5 + EU 80% Global Emissions
10	Iran	.668	
20	Poland	.800	
50 ⁽²⁰⁰⁵⁾	Belarus	.941	
100 ⁽²⁰⁰⁵⁾	Moldova	.992	
210		1.00	

Figura 16. Fração cumulativa total de emissões de combustíveis fósseis em 2008. Fonte: Gregg Marland, 2009.

O inventário das emissões brasileiras para 2005 registrou que quase 60% das nossas emissões vêm de desmatamento. Felizmente, tenho convicção de que 2005 foi o ano da máxima emissão da história brasileira. Não vamos passar 2005. Já estamos com bem menos hoje. Em 2009, 2010, a emissão brasileira já deve estar 20% abaixo da emissão de 2005⁶. Porque a taxa de desmatamento da Amazônia brasileira de 2004-2005 foi muito expressiva, cerca de 27 mil km².

Hoje, três países respondem por 50% das emissões. Dez países, por 2% das emissões. E os cinco primeiros

países mais a União Europeia, por 80% das emissões.

A Figura 17 mostra as emissões de combustíveis fósseis acumuladas da Revolução Industrial até 2004. Os EUA são responsáveis por quase 28% das emissões e os países que compõem a União Europeia, mais ou menos a mesma coisa. Quando olhamos as emissões de combustíveis fósseis em 2004, não é a mesma que as emissões acumuladas porque as emissões dos países em desenvolvimento – por exemplo, a China – aumentaram consideravelmente recentemente.

6. Entre agosto de 2010 e julho de 2011, a Amazônia perdeu 6.238 quilômetros quadrados (km²) de floresta. É a menor taxa anual de desmate registrada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), desde o início do levantamento, em 1988. A taxa de 2011 é 11% menor que a devastação registrada pelo Inpe em 2010, de 7 mil km², ainda que este número para 2010-2011 seja preliminar e possa aumentar. A taxa de desmatamento nas áreas protegidas caiu de 94,7 mil hectares em 2003 para 13,3 mil hectares em 2010.

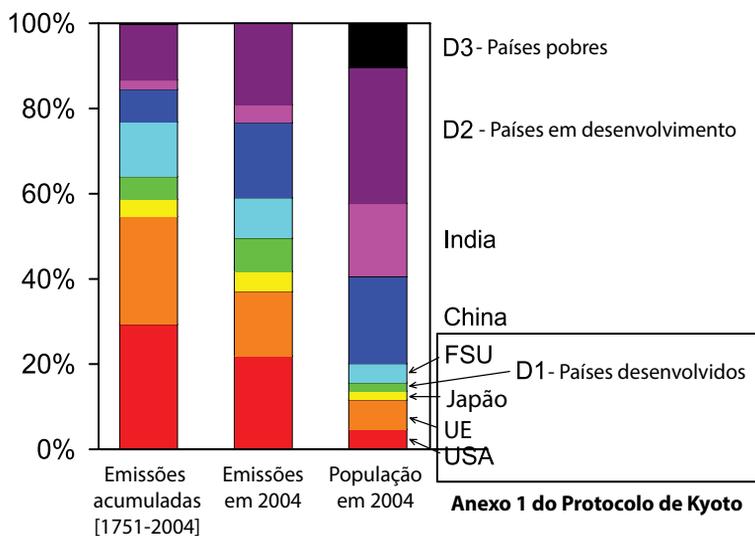


Figura 17. Emissões de CO₂ equivalente: passado e presente, RAUPACH et al, 2007.

Os países africanos, Haiti na América Latina, países do sul da Ásia – isto é, as nações mais pobres –, representam um valor desprezível em termos de emissões históricas. Eles não estão emitindo, sua emissão aumentou muito pouco. As mudanças climáticas trazem uma dimensão ética que às vezes não é muito mencionada. O mesmo ocorre, em menor escala, no caso do Brasil. Nossas emissões históricas foram pequenas em relação ao potencial de impactos negativos que poderemos sofrer com as mudanças climáticas. Um bilhão de pessoas não emitiram quase nada e a maior parte dos impactos ocorrerá onde mora a maior pobreza do mundo. Esse é o grande dilema ético que as mudanças climáticas nos trazem. Os

que menos emitiram vão sofrer, pelo menos no Século XXI, as maiores consequências. Esse dilema não pode ser esquecido. O Brasil está na posição daqueles países que sofrerão impactos intermediários, mas muito menos do que os países pobres.

Há duas maneiras de olhar as emissões. Em 1990, o percentual de emissões das nações desenvolvidas era maior. O das nações em desenvolvimento, somando todas, era menor. Em 2005, isso empatou. Hoje 55% das emissões são geradas localmente nas nações em desenvolvimento, 45% nos países desenvolvidos. Porém, a maneira mais justa, eticamente – e economicamente – de mensurar isso não é onde a emissão é gerada, mas onde o produto que gerou aquela

emissão é consumido, além de reiterar que historicamente os países desenvolvidos com 1/5 da população mundial emitiram 2/3 do total de emissões, e as nações em desenvolvimento com 4/5 da população mundial emitiram somente 1/3.

Quando fazemos essa correção vemos que as emissões dos países desenvolvidos continuam a crescer. Por que? A questão está relacionada com as exportações dos países emergentes. Economias como China, Índia, Brasil, África do Sul, México estão alimentando os mercados consumidores dos países desenvolvidos. Existe um enorme debate sobre como contabilizar as emissões, na origem ou no destino, ou pelo menos contabilizar parte das emissões no destino.

Quando colocamos dessa maneira, mesmo hoje – o contexto histórico é fundamental – os países desenvolvidos no seu conjunto foram responsáveis por 65% das emissões históricas. Eles têm responsabilidade muito maior, e mesmo quando colocamos para onde os produtos estão sendo exportados, os países desenvolvidos continuam a responder pela maior parte e também em taxas crescentes.

Para onde caminhamos?

O progresso dos países em direção ao desenvolvimento sustentável pode ser avaliado utilizando o índice de desenvolvimento humano (IDH) como um indicador de bem-estar, e a pegada ecológica⁷ como uma medida da demanda na biosfera. O IDH é calculado a partir de indicadores de educação, expectativa de vida e renda per capita. É considerado um valor de IDH de mais de 0,8 como “alto desenvolvimento humano”. Uma “pegada ecológica” inferior a 1,8 hectares globais por pessoa, a biocapacidade média disponível por pessoa no planeta, seria replicável em nível mundial?

O desenvolvimento sustentável bem sucedido requer que o mundo, em média, reúna no mínimo estes dois critérios, com países que se deslocam em direção ao quadrante azul mostrado na Figura 18. Cuba é um dos únicos países que apresentam uma combinação dos índices de desenvolvimento humano, escolaridade, renda per capita, expectativa de vida (bola vermelha dentro do quadrante de sustentabilidade na figura).

7. Métrica utilizada que permite calcular a pressão humana no planeta. Ela calcula qual a área de terra e água que uma população precisa para produzir os recursos que irá consumir e absorver o carbono das suas emissões. Por exemplo, se cada pessoa tivesse o estilo de vida da média da população dos Estados Unidos, precisaríamos de 5 planetas Terra para manter esses hábitos.

Country population (coloured by region):

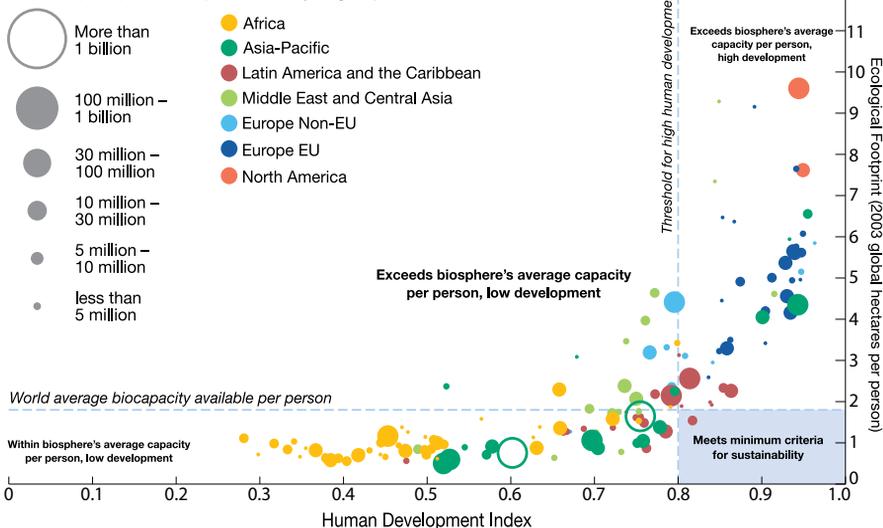


Figura 18. Índice de desenvolvimento humano e pegada ecológica em 2003. Fonte: Ecological Footprint and Human Wellbeing WWF, 2006.

Quando analisamos os onze anos depois da ECO-92, em especial os países emergentes, ao observarmos os índices, vemos que a China está dentro do limite da capacidade média disponível por pessoa no entanto com relativamente baixo IDH (dentro da linha pontilhada na horizontal). Entretanto, praticamente todas as economias emergentes – China, Índia, Brasil, África do Sul, México, Argentina, etc. – estão aumentando o IDH de suas populações, porém também aumentando a pegada ecológica *per capita*. Na verdade, o modelo do desenvolvimento socioeconômico tradicional sempre foi muito focado em aumentar a qualidade de vida e levar um país ao desenvolvimento social avançado, contando com

recursos naturais inesgotáveis e sem pensar nas externalidades ambientais deste modelo de crescimento econômico. Esse era o único paradigma levado em conta.

Pois reside em mudar tal paradigma de desenvolvimento o grande desafio. Fazer com que os países alcancem o desenvolvimento sem comprometer a sustentabilidade ambiental do planeta Terra e fazer com que os países desenvolvidos se mantenham com alto desenvolvimento humano, mas diminuindo brutalmente a pegada ecológica. Às vezes as pessoas têm certa inocência de acreditar que é possível para esses países chegar a algum ponto de desenvolvimento e continuar lá para sempre,

sem nenhuma mudança de comportamento de consumo. Não é. Os recursos naturais são finitos.

Na distribuição de ônus e bônus entre países em desenvolvimento e países desenvolvidos, precisamos inventar globalmente uma nova solução que realmente resulte em um movimento na direção horizontal para a direita dos países em desenvolvimento, isto é, aumentos rápidos de IDH, mas sem aumentar a pegada ecológica per capita de seus habitantes, e em um movimento na direção vertical, para baixo, dos países desenvolvidos, isto é, manutenção dos altos índices de IDH conquistados via desenvolvimento, mas diminuindo rapidamente a pegada ecológica *per capita*, de modo que todos nas próximas décadas convirjam para o quadrante da sustentabilidade com alta qualidade de vida e baixa pegada ecológica.

Estou otimista porque, de fato, o Brasil conseguiu reduzir os desmatamentos. Quão sustentáveis são essas reduções, ainda precisamos verificar, mas o que existe é uma vontade no Brasil de zerar o desmatamento, de encontrar um novo modelo de desenvolvimento agrícola. Portanto, nenhum país chegará ao desenvolvimento sustentável inclusivo só se baseando num modelo agronômico, num modelo

de potência agrícola.

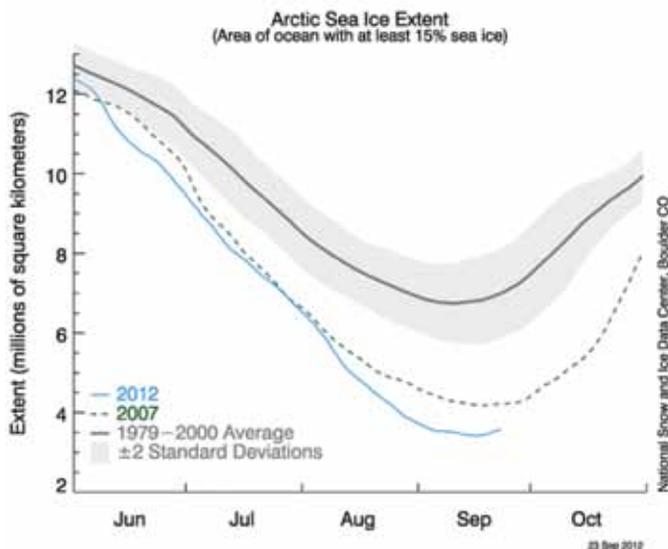
É um misto entre usar a potencialidade de um país tropical rico em biodiversidade, rico em energia renovável e rico em recursos naturais acoplando ao modelo industrial. Este é o grande desafio do Brasil, e sinto que começamos a discutir esse assunto com muita seriedade. Estamos mais próximos de atingir o caminho para a sustentabilidade.

Nota de esclarecimento

Gelo do Ártico alcança sua menor extensão na era dos satélites

Desde a data da palestra “Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas”, em 2010, houve alterações em relação aos dados sobre o derretimento das geleiras do Ártico. Em setembro de 2012, o US National Snow and Ice Data Center (NSIDC), dos Estados Unidos, anunciou que a área de derretimento alcançou a extensão mínima de 3,41 milhões de km² - a menor desde o início dos registros por imagens de satélite, em 1979. Esse novo dado reforça a tendência de longo prazo da diminuição da extensão do gelo do Ártico.

Fonte: US National Snow and Ice Data Center, 2012.



Referências bibliográficas

Aidar M.P.M., Martinez C. A., Costa A. C., Costa P. M. F., Dietrich S. M. C., Buckeridge M. S. (2002). **Effect of atmospheric CO₂ enrichment on the establishment of seedlings of jatobá, Hymenaeacourbaril L.** (Leguminosae, Caesalpinioideae) *Biota Neotropica*. 2(1):(http://www.biotaneotropica.org.br/v2n1/en/abstract?article+BN01602012002

Cook, J. **Skeptical Science, Comparing CO₂ emissions to CO₂ levels, 2011.** Disponível em [http://www.skepticalscience.com/CO₂-emissions-correlation-with-CO₂-concentration.htm](http://www.skepticalscience.com/CO2-emissions-correlation-with-CO2-concentration.htm). Acesso em 21/11/2011.

Global Carbon Project (2011) Carbon budget and trends 2010. Disponível em www.globalcarbonproject.org/carbonbudget. Acessado em 4 de Dezembro de 2011. Peters et al. 2011, *Nature* CC; Data: Boden, Marland, Andres-CDIAC 2011; Marland et al. 2009).

Global Footprint Network, National Footprint Accounts, 2006 Edition; UNDP. Human Development Report, 2003. **Ecological Footprint and Human Wellbeing WWF – Gland, Switzerland and Global Footprint Network (GFN)**, Oakland, California USA. ISBN 978-2-88085-290-0.

Gregg Marland and CDIAC, Carbon Dioxide Information Analysis Center 2009. Disponível em <http://www.kiss.caltech.edu/workshops/carbon2009/presentations/marland.pdf>. Acessado em 21/11/2011.

Hansen, J. E. & Sato, M. (in press). Paleoclimate implications for human-made climate change. in **Climate Change: Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects**. Berger A., Mesinger, F. & Sijacki, D. (Eds.), Springer, 270 pp.

Hansen, J., Nazarenko, L., Ruedy, R., Sato, M., Willis, J., Del Genio, A., Koch, D., Lacis, A., Lo, K., Menon S., Novakov, T., Perlwitz, J., Russell, G., Schmidt, G. A., Tausnev, N., 2005. **Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications**. DOI: 10.1126/science.1110252.

IPCC, 2007: **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

NCAR, The National Center for Atmospheric Research, ESSL LAR 2009. Disponível em <http://www.nar.ucar.edu/2009/ESSL/i1/>. Acessado em 21/11/2011.

Philander, S. G. (1998) **Is the temperature rising? The uncertain science of global warming**. Princeton, Princeton University Press.

Raupach M. R et al. (2007) **Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. Proceedings of the National Academy of Sciences 14:** 10288-10293. <http://www.pnas.org/content/104/24/10288>.

UNEP, United Nations Environment Programme. Disponível em <<http://www.unep.org/>> Acessado em 21/11/2011.

UNEP, United Nations Environment Programme / GRID-Arendal, Disponível em <http://www.inforse.org/europe/dieret/Climate/climate%20graphics/41.htm>. Acessado em 21/11/2011.

US National Snow and Ice Data Center, Arctic sea ice extent settles at record seasonal minimum, 2012. Disponível em <http://nsidc.org/arcticseaicenews/>. Acesso em 20/11/2012.

Anexo

Descrição dos cenários do IPCC

Fundamentalmente, os cenários se distinguem em duas dimensões. Uma dimensão básica é se o futuro estará mais centrado no desenvolvimento econômico ou ambiental.

Os quatro cenários centrados no desenvolvimento econômico são indicados por “A”, enquanto os outros dois cenários voltados para a sustentabilidade ambiental são indicados por “B”. A outra dimensão básica descreve o grau de orientação global ou regional.

Os quatro cenários globais recebem o número “1”, enquanto os dois cenários mais regionalmente motivados recebem o número “2”. Com estas duas dimensões, deveríamos ter apenas quatro cenários, mas o cenário econômico/global (“A1”) é subdividido em três cenários distintos. Um é intensivo em combustíveis fósseis (“A1F1”), outro equilibra os combustíveis fósseis e não-fósseis (“A1E”), e o terceiro acabará fazendo a transição para combustíveis não-fósseis (“A1T”). Embora nunca afirmado explicitamente, esse tratamento especial de um dos cenários parece indicar que “A1” é, de fato, o cenário mais conservador, embora essa vantagem se perca rapidamente devido à subdivisão adicional do cenário “A1”.

Cenário A1

O contexto e a família de cenários A1 descrevem um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, com a população global atingindo um pico em meados do Século XXI, e declinando em seguida, e a rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. As principais questões subjacentes são a melhoria no nível de formação em todo o planeta e o aumento das interações culturais, sociais e comerciais, redução substancial nas diferenças regionais e na renda *per capita*. Nesse cenário, ocorrem elevadas emissões.

A família de cenários A1 se desdobra em três grupos que descrevem direções alternativas da mudança tecnológica no sistema energético, ou seja, adoção de diferentes tecnologias de geração e uso de energia.

Os três grupos A1 distinguem-se por sua ênfase tecnológica: i) intensiva no uso de combustíveis fósseis; ii) fontes energéticas não-fósseis; ou iii) um equilíbrio entre todas as fontes.

Cenário A2

O contexto e a família de cenários A2 descrevem um mundo muito heterogêneo. O tema subjacente é a

auto-suficiência e a preservação das identidades locais. Os padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que acarreta um aumento crescente da população. O desenvolvimento econômico é orientado primeiramente para a região, e o crescimento econômico *per capita* e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos do que nos outros contextos. Nesse cenário, também ocorrem elevadas emissões.

Cenário B1

O contexto e a família de cenários B1 descrevem um mundo com o pensamento orientado no sentido de reduzir as emissões de GEE. A população atinge o pico em meados do Século XXI e declina em seguida, como no cenário A1, mas com uma mudança rápida nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informação, com reduções da intensidade material, ou seja, menos matéria-prima na produção de bens e serviços, e um maior uso de tecnologias limpas e eficientes. A ênfase está nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, considerando a responsabilidade de cada região econômica.

Nesse cenário, ocorrem baixas emissões.

Cenário B2

O contexto e a família de cenários B2 descrevem um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo em que a população global aumenta continuamente, a uma taxa inferior à do A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa do que nos contextos A1 e B1. O cenário também está orientado para a proteção ambiental e a equidade social, mas seu foco são os níveis local e regional.

Nesse cenário, também ocorrem baixas emissões.

Sobre os autores

Carlos Afonso Nobre

Engenheiro eletrônico pelo ITA, doutor em meteorologia pelo MIT e pós-doutorado na Universidade de Maryland, EUA, é pesquisador aposentado do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, onde foi chefe do Centro de Ciência do Sistema Terrestre. É atualmente Secretário da Secretaria Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (SEPED) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Tem dedicado sua carreira científica à Amazônia e desenvolveu pesquisas pioneiras sobre os impactos climáticos do desmatamento da Amazônia, formulando, em 1991, a hipótese da “savanização” da floresta tropical em resposta aos desmatamentos e ao aquecimento global, hipótese esta que vem sendo estudada em todo o mundo. É membro da Academia Brasileira de Ciências e da Academia de Ciências para Nações em Desenvolvimento (TWAS). É autor e co-autor de mais de 130 artigos científicos, livros e capítulos de livros.

Julia Reid

Possui bacharelado em Oceanografia pela Universidade do Vale do Itajaí,

no Brasil, e mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental na UNESCO-IHE, na Holanda. Tem se envolvido em abordagens multidisciplinares sobre processos nas zonas costeiras, gestão de águas urbanas e mudanças climáticas. Trabalhou como consultora técnica em meio ambiente e oceanografia na Applied Science Associates-ASA Latin America e atualmente trabalha como assistente científica do Dr. Carlos Nobre no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Seu trabalho consiste no desenvolvimento de atividades de disseminação do conhecimento científico sobre a mudança climática e seus impactos, adaptação, vulnerabilidades e mitigação.

Ana Paula Soares Veiga

Graduada em Comunicação Social – Jornalismo pela Universidade Metodista de São Paulo, com especialização em Jornalismo Científico pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente trabalha na área de Comunicação Institucional e Divulgação Científica da Rede CLIMA – Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais, sediada no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).





redeclima.ccst.inpe.br
inct.ccst.inpe.br



FAPESP
MUDANÇAS
CLIMÁTICAS



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação

